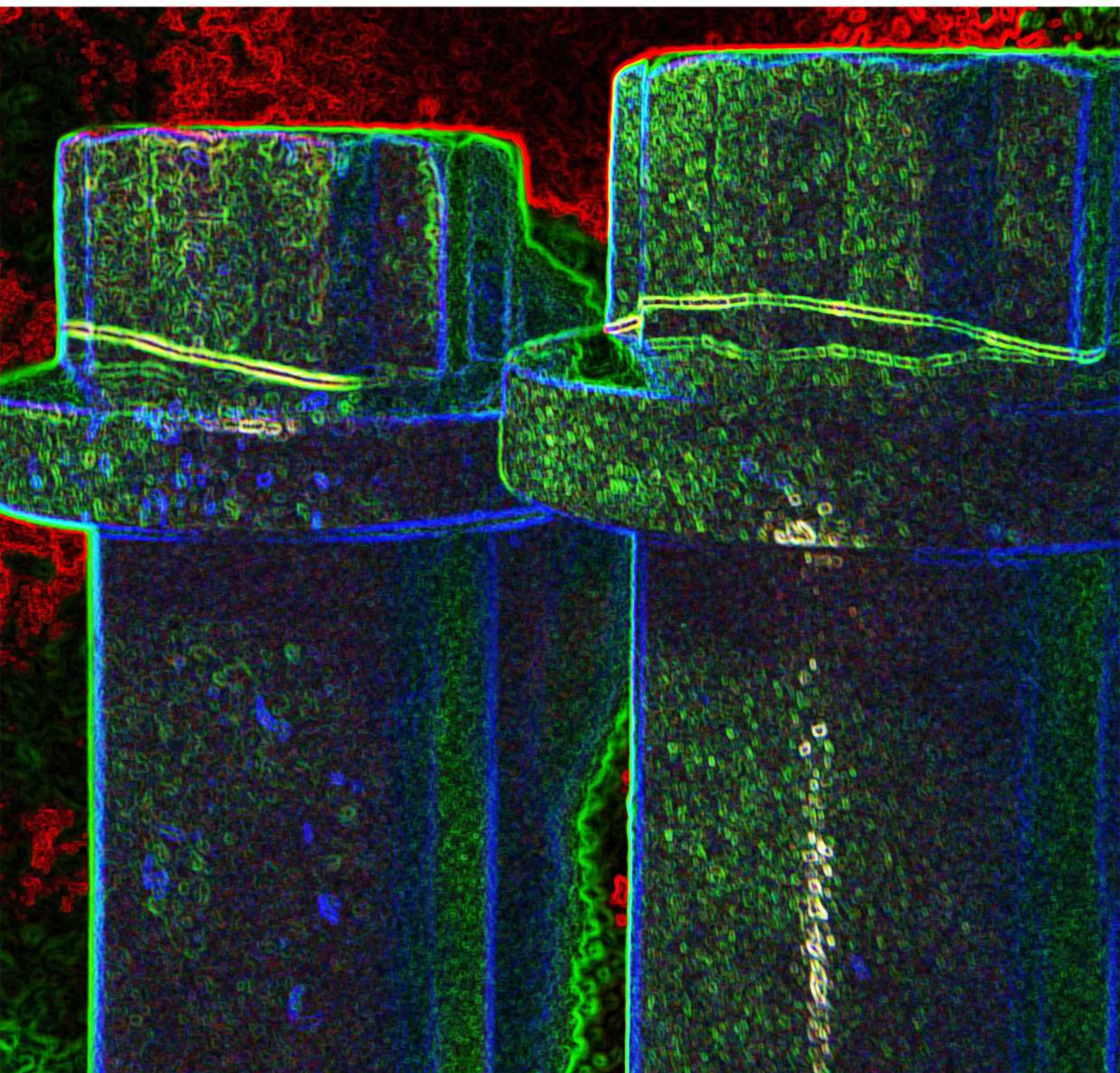
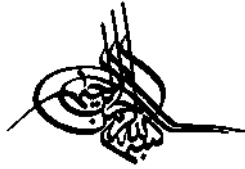


بوشکاری

فصلنامه انجمن جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب ایران
شماره ۱۰۷ - تابستان ۱۴۰۲



لوح سپاس بخش گرافیک نهمین مسابقه گرافیک و عکاسی صنعت جوش و بازرسی
سرکار خانم زهرا خادم شریعت



انجمن جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب ایران
موسسه مرجع ملی در زمینه تکنولوژی جوشکاری و
آزمایش‌های غیرمخرب در جمهوری اسلامی ایران

مدیر مسئول: مهندس عبدالوهاب ادب آوازه

زیر نظر شورای نویسندگان

مسئول اجرایی: کمیته انتشارات

مدیر اجرایی و گرافیک: دکتر نازیلا ادب آوازه

نشانی دبیرخانه انجمن:

اصفهان - خیابان شمس آبادی - ساختمان شمس -
طبقه 4- واحد 413

تلفن: 03132240325 فاکس: 03132231765

پست الکترونیک:

Email: info@iwnt.com

فصلنامه جوشکاری نشریه ای در زمینه موضوعات و
مسائل مرتبط با جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب
است.

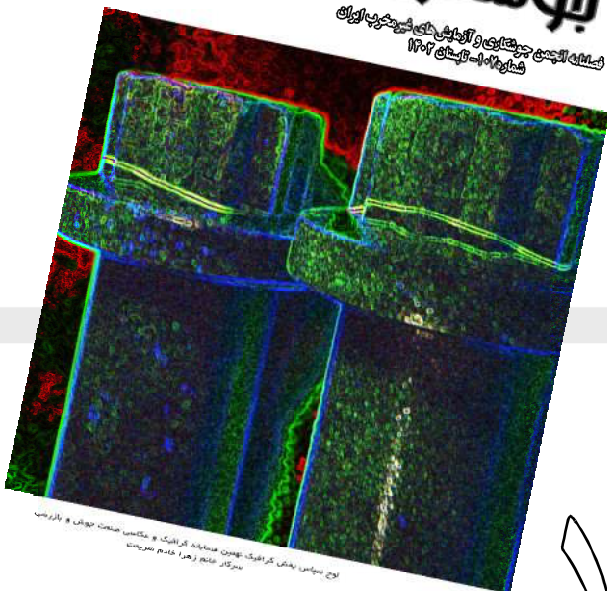
فصلنامه در ویرایش مقالات رسیده آزاد است

نقل نوشته ها با ذکر ماخذ بلامانع است.

- 1 ارزیابی رفتار مکانیکی و مشخصه های ریزساختاری روکش های
 $Al-Cr/Cr_2O_3$ تولید شده توسط فرآیند GTAW، محمد مهدی تقوایی - مهدی
رفیعی - حسین مستعان
- 8 پتانسی مرتب با جوشکاری و آزمایش های غیرمخرب، مهندس عبدالوهاب
ادب آوازه
- 13 تشریح الزامات استاندارد ISO 45001 - قسمت هشتم، مهندس افشین خیام
- 17 استفاده از توموگرافی اشعه ایکس برای کنترل کیفیت جوش حاصل از
فرآیند همزن اصطکاکی، قاسم عظیمی رونین
- 22 بررسی اثر پارامترهای جوشکاری بر روی خواص مکانیکی و میکرو ساختار
جوش مقاومتی نقطه ای در اتصال غیرمشابه فولاد St 37 و آلومینیوم
A16061-T8، هادی امانی نیا - امیر حسین میثمی - علی اصغر فروغی فر
- 27 بررسی جوش پذیری فولاد گالوانیزه جدید استحکام بالای پیشرفته دو
فازی (DP) بدنه خودرو به روش جوشکاری مقاومتی نقطه ای، ایمان حاجیان
نیا - اصغر اسماعیلی - بهمن چشفر - غلامرضا امینی
- 32 بررسی ریزساختار اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن دوفازی 2205 به
آستنییتی 316Ti با بکار بردن فلزات پرکننده مختلف و استفاده از فرآیند
GTAW، رضا دبیرزاده - رضا دهملایی - فریده طباطبایی
- 38 تاثیر پارامترهای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بر روی جوش های
فلزی همجنس و غیر همجنس (قسمت دوم)، کاظم بابائی
- 39 تاثیر حرارت ورودی بر خواص مکانیکی و ریز ساختار فولاد 70X در حالت
جوشکاری تک پاسه طی فرآیند جوشکاری زیرپودری، حسین حسینی
طیب - مصطفی صفاری - سید مهدی رفیعیانی
- 44 تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و کنترل ترک های اتصال جوش
نیمونیک 105، محمدجواد نامی - رضا دهملایی - خلیل رنجبر

جوشکاری

فصلنامه جوشکاری و آزمایش های غیرمخرب ایران
شماره 107 - تابستان 1402



لوح نیکاس بخشی گرافیک تهیون منبند کرانیک و میکروساختار جوش و پارامتر
سازگار خانم زهرا - 1402 - تابستان





ارزیابی رفتار مکانیکی و مشخصه های ریزساختاری روکش های Al-Cr/Cr₂O₃ تولید شده توسط فرایند GTAW

محمد مهدی تقوایی^۱، مهدی رفیعی^۲، حسین مستعان^۳

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز، فرایند روکش کاری با افزودن محصولات واکنش حاصل از ۲۰ ساعت آسیاب کاری پودرهای Al-Cr و Al-Cr₂O₃ درون شیارهای ایجاد شده روی سطح فلز پایه فولاد Ck45 انجام شد. پس از تولید روکش های سطحی AlCr₂-Al₂O₃ و AlCr₂-Al₂O₃ ارزیابی های ریزساختاری و ریزسختی روکش ها با میکروسکوپ های نوری، الکترونی روبشی و دستگاه ریزسختی سنجی انجام گرفت. به منظور بررسی مقاومت سایشی روکش ها از دستگاه سایش بین روی دیسک بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که محصول واکنش حاصل از ۲۰ ساعت آسیاب کاری پودر Al-Cr، محلول جامد (Cr)Al بود که بعد از روکش کاری به ترکیب بین فلزی AlCr₂ تبدیل شد. همچنین بعد از آسیاب کاری و عملیات حرارتی سیستم Al-Cr₂O₃ کامپوزیت AlCr₂-Al₂O₃ تشکیل شد. این فازها همچنین بعد از روکش کاری این سیستم پودری نیز مشاهده شدند. ریزسختی در نمونه روکش کاری شده AlCr₂-Al₂O₃ به حدود ۷۸۰ ویکرز رسید. همچنین مقدار ریزسختی روکش AlCr₂ حدود ۶۴۰ ویکرز اندازه گیری شد. مکانیزم سایش غالب در آزمون سایش نمونه ها در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد، مکانیزم سایش چسبان و در برخی نقاط سایش خراشان تشخیص داده شد. کاهش وزن بین این نمونه پس از انجام آزمون سایش در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد، ۰/۱ میلی گرم بدست آمد. ضریب اصطکاک نمونه روکش AlCr₂-Al₂O₃ تا حدود مسافت ۲۰۰ متر، تقریباً ۰/۱۵ بوده و از این مسافت به بعد عدد ۰/۳۵ رسید. این افزایش در ضریب اصطکاک با توجه به ثابت بودن دیگر پارامترها نسبت به نمونه AlCr₂، می تواند به درگیر شدن بیشتر ذرات Al₂O₃ با نزدیک شدن به لایه های پایینی تر روکش ربط داده شود.

کلمات کلیدی: فولاد ساده کربنی GTAW، Ck45، رفتار سایشی، کروم، روکش کاری، Al₂O₃، AlCr₂.

مقدمه

فولادهای کربنی کاربرد فراوانی در ساخت قطعات دارند زیرا خواص مکانیکی و قابلیت ماشین کاری مناسبی دارند. از مهمترین عیوب این دسته از فولادها مقاومت کم آن ها در برابر سایش و خوردگی است. برای این منظور، فولادهای ساده کربنی اغلب تحت عملیات سطحی قرار می گیرند. سخت کردن سطحی یکی از روش های اصلاح سطح است که برای بهبود خواص سطح بدون تغییر در خواص زمینه مورد استفاده قرار می گیرد. سخت کاری، روشی برای محافظت از ابزارهای فلزی یا قطعات مهم به منظور جلوگیری از فرسایش، تنش و سایش است. برای این منظور، توسط روش های

جوشکاری، یک لایه نازک از ماده ای مستحکم و مقاوم به سایش، به سطح قطعه کار (فلز ضعیف) اضافه می شود. این فرایند برای بهبود مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی کاربرد فراوان دارد [۱].

روکش کاری از روش های متداول برای دست یابی به خواص ترکیبی تعدادی از مواد در یک مجموعه به شمار می رود. روکش کاری با هدف سخت کاری سطح را اصطلاحاً **Hardfacing** می نامند. در این روش با ایجاد لایه ای سخت و مقاوم به سایش در سطح قطعه، عمر کاری قطعه افزایش داده می شود. از این فرایند به عنوان مثال در میله کمپرسورها، شیرهای بخار، تجهیزات ترکیب کردن، پیچ های ساترفیوژ، تجهیزات آب بندی کردن، تیغه های فن، قالب ها و

تجهیزات معدنی استفاده می شود. در بحث سخت کاری سطحی، رقت نیز مطرح است. به طوری که در فرایند سخت کردن سطحی مقدار رقت باید تا حد ممکن کم باشد تا با تعداد لایه های کمتری بتوان به سختی مورد نظر دست یافت. رقت به آمیخته شدن فلز پایه و فلز جوش در اثر فرایند جوشکاری اطلاق می گردد. بحث رقت با توجه به تغییر خواص مواد در اثر مخلوط شدن اهمیت پیدا می کند. میزان رقت مطلوب در جوشکاری با توجه به نوع مواد و هدف جوشکاری تعیین می گردد.

یکی از مهم ترین آلیاژهای سخت کردن سطحی ترکیبات بین فلزی **Al-Cr** و کامپوزیت های آن می باشد. مواد مختلفی برای آلیاژ سازی سطحی به حوضچه مذاب اضافه می شود، انتخاب این مواد آلیاژی به کاربرد آنها بستگی دارد. عناصر آلیاژی همچون کروم، آلومینیوم و اکسید کروم از جمله این عناصر هستند. عناصر ذکر شده باعث افزایش سختی و مقاومت در برابر سایش می شوند.

عملیات جوشکاری به علت صرفه اقتصادی و ایجاد لایه های ضخیم و مقاوم، نسبت به عملیات حرارتی و آبکاری ارجحیت دارد. یکی از روش هایی که در سال های اخیر برای ایجاد لایه های سطحی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از روش جوشکاری **TIG** است. البته لایه های ایجاد شده در این فرایند دارای ضخامتی حدود دو برابر ضخامت لایه ایجاد شده بوسیله پرتو الکترونی و لیزر می باشند. روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز برای روکش کاری جوشی مورد استفاده قرار گرفته است که پوشش به دست آمده با این روش دارای استحکام و چسبندگی به روکش سخت سطح نسبت به روش های دیگر است [۲].

ویژگی های تریبولوژیکی، تابعی از ترکیب شیمیایی، شرایط انجماد، سرعت سرد شدن پس از انجماد، ریز ساختار، شکل و توزیع فازها است. بر این اساس، لایه های سخت پایه آهنی بر اساس نوع سیستم به کار برده شده و یا ریزساختار تقسیم بندی می شوند.

آلیاژهای **Fe-Cr-C** متداول ترین گروه از آلیاژهای روکش سخت به شمار می روند که تحقیقات گسترده ای در زمینه افزودن عناصر مختلف به این سیستم و بررسی ریز ساختار و خواص مکانیکی آن انجام گرفته است. سیستم **Al-Cr** و **Al-Cr₂O₃** که در آن **Al** به جای **Fe** و **Cr₂O₃** به جای **C** قرار داده شده است. اثرات عناصر مختلف به طور جداگانه در مقالات مختلف مورد تحقیق قرار گرفته است. مطالعاتی بر روی دو سیستم **Al-Cr** و **Al-Cr₂O₃** در زیر لایه **CK45** انجام نگرفته است. از این رو در این تحقیق، اثر افزودن عناصر آلیاژی **Al** و **Cr₂O₃** با مقادیر ۳۵ و ۶۵ درصد وزنی و عناصر آلیاژی **Al** و **Cr** با مقادیر ۲۰ و ۸۰ درصد وزنی در زیر لایه **CK45** مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی این آلیاژ، سختی و مقاومت به سایش نمونه ها هدف اصلی این تحقیق است.

در این تحقیق از زیر لایه هایی از جنس فولاد ساده کربنی **CK45** استفاده شد. ابعاد مورد استفاده زیر لایه ۱۰×۱۰×۶۰ میلی متر مکعب در نظر گرفته شد. همچنین سختی فولاد ساده کربنی، ۱۷۷ ویکرز اندازه گیری گردید.

قبل از انجام جوشکاری، سطح فلز پایه با دستگاه فرز **HAKRET 315** آلمان شرقی صاف شده و شیاری به ابعاد ۱/۵×۱۰×۶۰ میلی

متر مکعب در وسط قطعه ایجاد شد. سپس توسط الکل چربی زدایی سطح نمونه و داخل شیارها انجام گرفت. جهت ایجاد لایه روکش از پودرهای آلومینیوم، کروم و اکسید کروم با درصد خلوص بالای ۹۹٪ و اندازه دانه زیر ۱۰۰ میکرون استفاده شد. این پودرها با یکدیگر مخلوط و به مدت ۲۰ ساعت آسیاب کاری شده اند. پودر **Al-Cr₂O₃** بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری مورد عملیات حرارتی قرار گرفت است. عملیات حرارتی در زمان ۲ ساعت و در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد صورت گرفت. پودر **Al-Cr** بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری آماده شد و نیازی به عملیات حرارتی نداشت. سپس پودرها در درون شیارهای ایجاد شده روی قطعه **CK45** قرار داده شد.

جهت انجام جوشکاری قوسی گاز - تنگستن از یک دستگاه جوشکاری مدل **WS TIG 200S** به عنوان منبع تأمین انرژی استفاده شد. گاز مورد استفاده جهت محافظت از حوضچه مذاب، آرگون با خلوص ۹۹٫۹۹٪ در نظر گرفته شد. دبی گاز محافظ ۱۴ لیتر بر دقیقه، زاویه مشعل با سطح افق ۷۵ درجه، سرعت پیشروی ۳۰ و ولتاژ ۱۵ ولت برای محافظت از حوضچه جوش مورد استفاده قرار گرفت. شدت جریان مورد استفاده در نمونه **Al-Cr₂O₃** ۲۰۰ آمپر و برای نمونه **Al-Cr 185** ۱۸/۵ آمپر است. الکتروده به کار رفته از جنس تنگستن با ۲ درصد توریم و قطر ۳/۲ میلی متر بود. پروفیل نوک الکتروده تنگستنی به صورت مخروطی انتخاب شد و جریان مورد استفاده در فرایند نیز جریان مستقیم با الکتروده قطب منفی (**DCEN**) در نظر گرفته شد. همچنین بعد از هر مرحله از جوشکاری به اندازه کافی زمان برای خنک شدن تا دمای محیط برای قطعه ها داده شد تا شرایط اعمالی هر پاس جوشکاری دقیقاً مانند سایر پاس ها باشد. شیار نمونه ها توسط مواد چربی زدا، تمیز کاری شد و محصولات واکنش پس از انجام آسیاب کاری و عملیات حرارتی، درون شیارها افزوده شد. سپس، با دستگاه پرس ۶۰ تنی، پودرها در درون شیارها پرس شد. از هر نمونه به تعداد ۲ عدد تهیه گردید. در نهایت جوشکاری قوسی گاز-تنگستن بر روی نمونه ها در دو پاس انجام شد.

آزمون تفرق اشعه ایکس

به منظور شناسایی فازهای ایجاد شده در لایه های آلیاژی و ساختمان های بلوری ایجاد شده در سطح نمونه ها، از یک دستگاه پراش سنخ پرتو ایکس از نوع **Philips pw 3040** مجهز به واحد تولید کننده پرتو **Cu-K α** و نرم افزار **X Pert High Score** استفاده شده است. در این آزمون جهت روبش نمونه از زاویه ۱۰ تا ۱۰۰ درجه با اندازه پله های ۰/۰۵ درجه استفاده شد. زمان توقف ۷ ثانیه برای هر بازه در نظر گرفته شد.

آزمون ریز سختی سنجی

در این مطالعه، جهت تعیین ریزسختی نمونه جوشکاری شده، تعیین سختی فازها در لایه روکش کاری شده، از دستگاه ریزسختی مدل **MHI** با بار اعمالی ۲۰۰ گرم و زمان ۱۰ ثانیه استفاده شد.

آزمون سختی سنجی آزمایش سختی سنجی با کمک دستگاه سختی سنج KOOPA یونیورسال مدل UVI در مقیاس راکول سی و با وزن ۱۵۰ کیلوگرم در زمان ۱۰ ثانیه انجام شد. حداقل سختی سه نقطه مختلف تعیین شد که متوسط نتایج آن ها به عنوان معیار سختی سنجی در نظر گرفته شد.

آزمون سایش

برای انجام آزمون سایش از دستگاه سایش پین روی دیسک استفاده شد. آزمون مذکور در شرایط اتمسفر محیط و دمای ۲۰۰ درجه انجام پذیرفت. بین‌های موردنیاز آزمون سایش از مرکز منطقه روکش شده کلیه نمونه‌ها ساخته شد. همچنین فیکسچری برای نگهداری پین و بستن آنها روی گیره دستگاه سایش، طراحی و ساخته شد. پین‌های تهیه شده از قسمت روکش شده نمونه‌ها و زیرلایه با قطر ۵ میلی‌متر با فرایند واترکات تهیه شده‌اند. سپس پین‌ها با سمباده‌های ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰ سطح آن‌ها صیقلی شد. قبل از انجام آزمون سایش، برای تعیین بار بحرانی، از پین نمونه روکش شده با **Al-Cr** استفاده شد و آزمون بارپذیری انجام شد. جنس دیسک مورد استفاده در آزمون سایش از فسفر برنز **C94300** انتخاب گردید. دلیل انتخاب این نوع دیسک کاربرد آن در بوش‌های سرعت بالا تحت فشارهای کم تا متوسط و ضریب اصطکاک کم و مقاومت به سایش می‌باشد. دیسک‌های مورد نظر به ضخامت ۵ میلی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر انتخاب شد که با سمباده‌های ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ سطح آن‌ها سنباده زده شد و سپس روی نمد پولیش گردید.

بین‌های تهیه شده از قسمت روکش شده نمونه‌ها، با قطر ۵ میلی‌متر ساخته شد. سرعت چرخش پین روی دیسک ۱۲۰ دور بر دقیقه و نیروی عمودی ۲۰ نیوتن با مسافت لغزش ۵۰۰ متر برای انجام آزمون سایش انتخاب گردید.

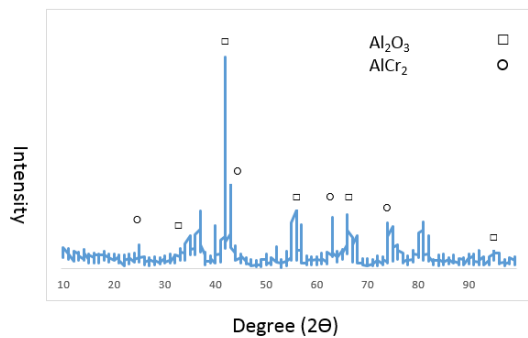
به منظور تعیین بار بحرانی و نیروی اعمالی برای انجام آزمون سایش روی کلیه نمونه‌ها، پین نمونه روکش شده با محصول واکنش **AlCr₂** انتخاب و بارهای اعمال شده ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ نیوتن در نظر گرفته شد. مسافت طی شده در هر بار ۵۰ متر انتخاب گردید. پس از انجام هر آزمون بارپذیری، نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت به دست آمد. با توجه به مطالعات و مشاهدات انجام شده بار بحرانی ۲۰ نیوتن به عنوان بار اعمالی در آزمون سایش نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

نتیجه و جمع بندی

نتایج آزمون پراش اشعه ایکس روکش‌ها

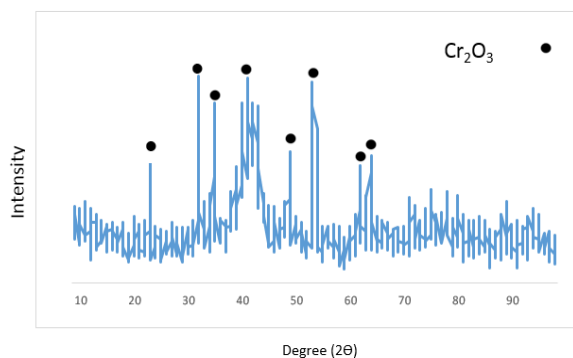
همانگونه که در متن شرح داده شد پودرهای **Al** و **Cr** به میزان ۲۰ ساعت آسیاب کاری شدند که هدف از این کار تولید ترکیب بین فلزی **AlCr₂** بود. نسبت پودر به گلوله‌ها در عملیات آسیاب کاری ۱ به ۱۰ در نظر گرفته شد که کل وزن پودرها ۱۳ گرم بود و مجموعاً ۵ گلوله به وزن ۱۳۰ گرم انتخاب شد. پس از اتمام عملیات آسیاب کاری آزمون پراش اشعه ایکس انجام گرفت که شکل (۲) الگوی پراش اشعه ایکس پودر **Al-Cr** را بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری

نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱) ملاحظه گردید که تمامی پیک‌ها در الگوی پراش اشعه ایکس پودر **Al-Cr** تشکیل محلول جامد **Al(Cr)** را نشان می‌دهد. در این الگو پیک‌های کروم به صورت جزئی به سمت زوایای بیشتر شیفت پیدا کرده‌اند که دلیل آن انحلال **Al** در شبکه کروم و تشکیل محلول جامد **Al(Cr)** می‌باشد.



شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس پودر **Al-Cr** را بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری.

قدم بعدی که انجام شد و شرح آن در فصل سوم نیز می‌باشد آسیاب کاری پودرهای **Al** و **Cr₂O₃** به مدت ۲۰ ساعت براساس واکنش زیر به منظور تشکیل کامپوزیت **AlCr₂-Al₂O₃** بود. پس از عملیات آسیاب کاری آزمون پراش اشعه ایکس انجام گرفت که شکل (۲) الگوی پراش اشعه ایکس پودر **Al-Cr₂O₃** بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری را نشان می‌دهد.

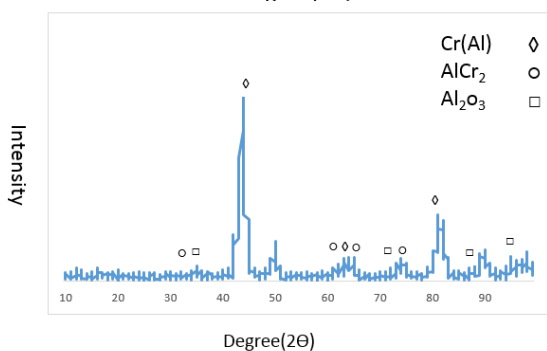
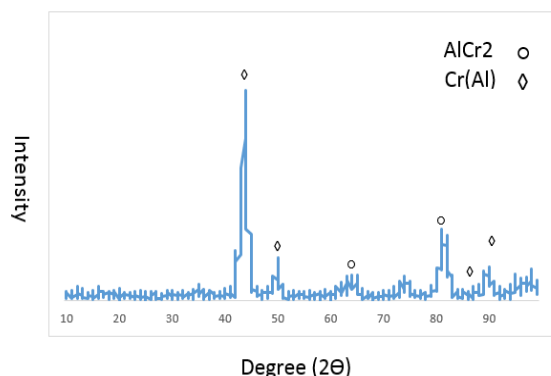


شکل ۲- الگوی پراش اشعه ایکس پودر **Al-Cr₂O₃** بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری

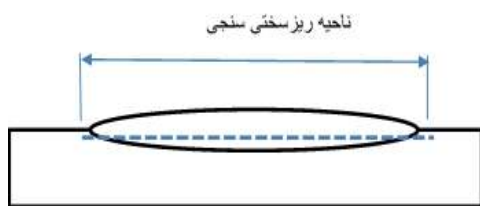
پس از اتمام آزمون پراش اشعه ایکس و مشاهده پیک‌ها ملاحظه گردید که تمامی پیک‌ها مربوط به **Cr₂O₃** می‌باشد. ساختار منظم **Al** در آسیاب کاری به آمورف تبدیل شده است، **Al** با اکسید کروم واکنش نداده است و هیچ پیکی از **Al** مشاهده نشد. بدین منظور پودر آسیاب کاری شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد داخل کوره، عملیات حرارتی شد.

شکل (۳) الگوی پراش اشعه ایکس بعد از اتمام عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. عملیات حرارتی در این دما منجر به انجام واکنش میان **Al** و **Cr₂O₃** می‌شود که این موضوع باعث شکل‌گیری فازهای **AlCr₂** و **Al₂O₃** می‌گردد.

مشابهی از توزیع ریزسختی فلز فولاد کربنی Ck45 را نشان می دهد که در تحقیقات گذشته گزارش شده است [۴۰].

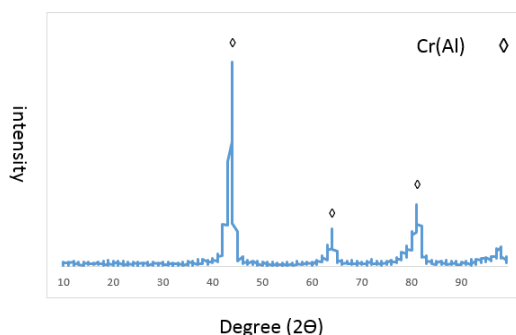


شکل ۴- الگوی پراش اشعه ایکس از سطح روکش نمونه الف - Al-Cr - ب - Al_2O_3 - $AlCr_2$ پس از دو پاس روکش کاری



شکل ۵- شماتیک نواحی ریزسختی سنجی شده نمونه ها.

ریزسختی در منطقه متأثر از حرارت برای هر دو نمونه روکش کاری شده افزایش می یابد. این افزایش در نمونه $Al-Cr$ بصورت یکنواخت تر افزایش یافته ولی در نمونه $Al-Cr_2O_3$ افزایش ریزسختی بصورت یکباره مشاهده می شود. ریزسختی در منطقه متأثر از حرارت در نمونه $Al-Cr_2O_3$ حدوداً به ۷۰۰ ویکرز می رسد و در نمونه $Al-Cr$ ابتدادر حدود ۴۰۰ ویکرز می باشد که با نزدیک شدن به فلز جوش به ۶۰۰ ویکرز می رسد. با توجه ریزساختار منطقه متأثر از حرارت ارایه شده در شکل (۶) مشاهده می شود که ریزساختار بصورت فریت ویدمن اشتاتن رشد کرده که افزایش ریزسختی در این ناحیه را نسبت به فلز زیرلایه توجیه می کند.



شکل ۳- الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری ۲۳- بعد از ۲۰ ساعت آسیاب کاری و عملیات حرارتی در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت.

شکل (۴) الگوی پراش اشعه ایکس از سطح روکش نمونه های $AlCr_2$ و $Al_2O_3 - AlCr_2$ در دو پاس را نشان می دهد. ملاحظه گردید در نمونه $Al_2O_3 - AlCr_2$ پیک های $AlCr_2$ و Al_2O_3 در الگوی پراش اشعه ایکس دیده می شوند. شکل (الف) الگوی پراش اشعه ایکس از سطح نمونه $AlCr_2$ را در دو پاس نشان می دهد. نتایج پراش پرتو ایکس نشان می دهد که علاوه بر محلول جامد $Al(Cr)$ ترکیب بین فلزی $AlCr_2$ نیز وجود دارد. این در حالی است که در پودر ۲۰ ساعت آسیاب کاری شده فقط پیک های محلول جامد $Al(Cr)$ در نتایج پراش پرتو ایکس مشخص بود. این موضوع مشخص کننده این است که در حین فرایند روکش کاری مقداری از محلول جامد $Al(Cr)$ در اثر حرارت بالای روکش کاری به ترکیب بین فلزی $AlCr_2$ تبدیل شده است. در واقع در حرارت بالا باعث می شود که ساختار محلول جامد $Al(Cr)$ منظم گردد و بدین ترتیب ترکیب بین فلزی منظم $AlCr_2$ تشکیل گردد.

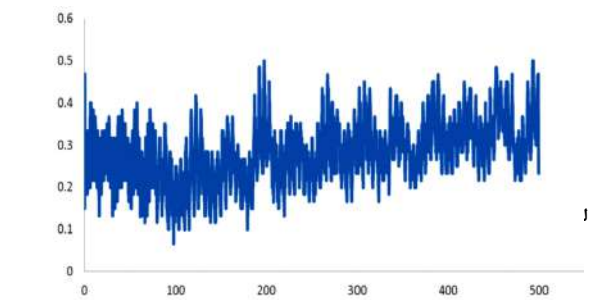
شکل (ب-۴) الگوی پراش اشعه ایکس از سطح روکش نمونه $AlCr_2 - Al_2O_3$ را در دو پاس نشان می دهد. نتایج پراش پرتو ایکس نشان دهنده تشکیل سه فاز است که این سه فاز عبارتند از محلول جامد $Al(Cr)$ و ترکیب بین فلزی $AlCr_2$ و پیک های Al_2O_3 .

نتایج آزمون ریزسختی سنجی

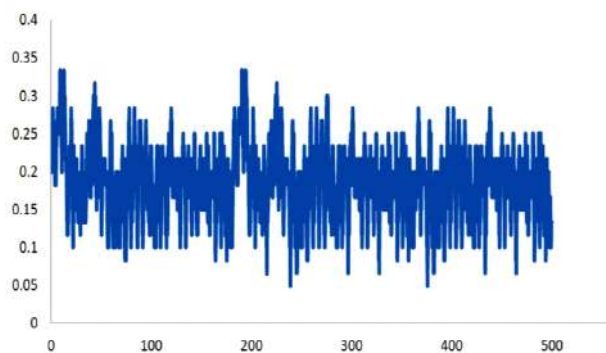
شکل (۵) شماتیک محل انجام آزمون ریزسختی سنجی را نشان می دهد. این آزمون مطابق شکل و از مناطق عرضی نمونه ها و فاصله یک میلیمتری پایین تر از سطح جوش انجام گرفته است.

در حالت کلی، سختی هر فلز با مقاومت آن در مقابل تغییر شکل تعریف می شود. ریزسختی یک نوع سختی سنج مقطعی است که نسبت به فازهای فلزی، کارسختی و محل اندازه گیری سختی حساس است و با تغییر هریک از آنها، تغییر می کند [۳]. بر همین اساس این نوع سختی سنجی را می توان به طور ذاتی به عواملی زیادی وابسته دانست. در این قسمت ریزسختی فلزهای زیرلایه، منطقه HAZ و فلز جوش به صورت افقی مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در این مشاهده می شود، ریزسختی زیرلایه فولاد کربنی Ck45 تقریباً برابر ۲۱۰ ویکرز می باشد. این نتایج، نتایج

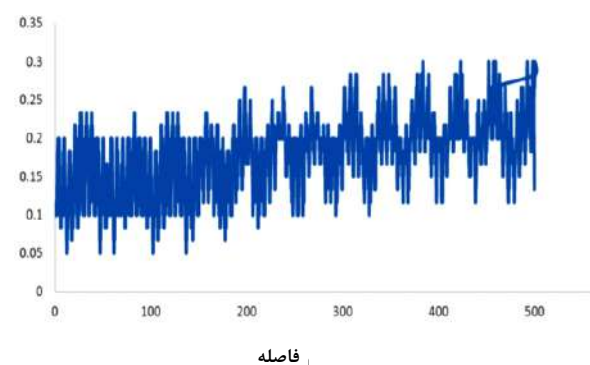
اصطکاک در این نمونه در ۲۰۰ متر ابتدایی آزمون سایش همانند رفتار سایشی این نمونه در دمای پایین تقریباً برابر ۰/۱۵ است و پس از آن مقدار ضریب اصطکاک افزایش پیدا کرده و به مقدار ۰/۲۰ می‌رسد. به عبارت دیگر میزان نوسان‌های ضریب اصطکاک در آزمون سایش در بین نمونه روکش کاری شده با آلیاژ $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ بعد از مسافت ۲۰۰ متر اول به میزان ۲۵٪ افزایش پیدا کرده است.



فاصله



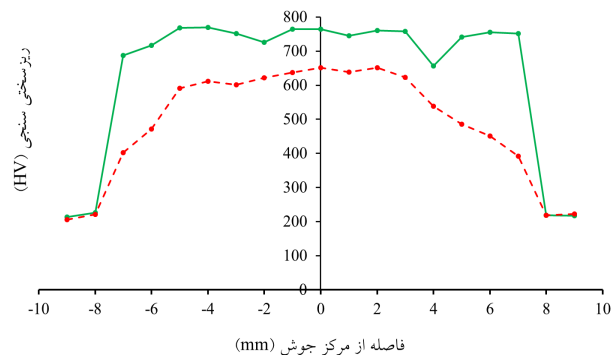
فاصله



فاصله

شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت برای نمونه‌های (الف) CK45، (ب) Al-Cr و (ج) $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد.

با توجه به شکل (۶) ریزسختی در فلز جوش نمونه‌های Al-Cr و $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ از ثبات قابل ملاحظه‌ای برخوردار است و نوسانات بسیار کمی در نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود. ریزسختی در فلز جوش نمونه Al-Cr تقریباً برابر ۶۴۰ ویکرز است در حالیکه ریزسختی فلز جوش نمونه $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ تقریباً برابر ۷۸۰ ویکرز می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان به ریزساختار و فازهای موجود در فلز جوش نسبت داد. در نمونه Al-Cr ساختار بصورت دندریتی که در بیشتر مناطق فلز جوش از نوع دندریتی هم محور بوده است. فاز AlCr_2 تنها فاز سختی است در کنار محلول جامد کروم آلومینیوم در سطح جوش نمونه Al-Cr مشاهده شد. اما در فلز جوش نمونه $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ ریزساختار بصورت دندریتی ستونی است. در نمونه $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ علاوه بر حضور فاز AlCr_2 و محلول جامد کروم آلومینیوم فاز سخت Al_2O_3 نیز حضور دارد که توزیع یکنواخت فاز سخت Al_2O_3 در کل سطح روکش کاری شده باعث افزایش ریزسختی این نمونه نسبت به نمونه Al-Cr شده است.

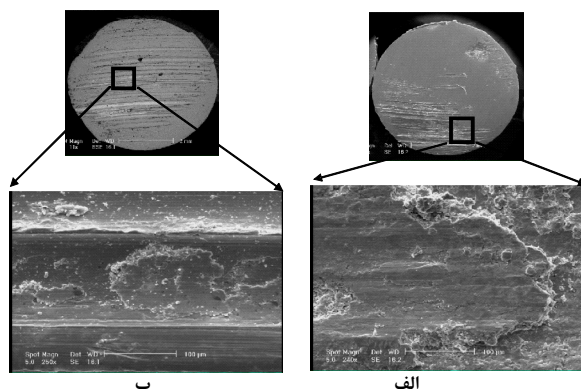


شکل ۶- نمودار ریزسختی نمونه‌های روکش کاری شده.

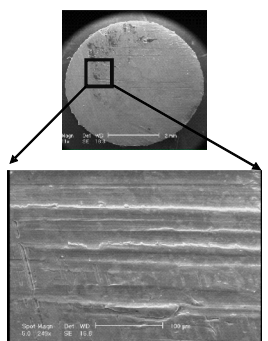
نتایج آزمون سایش دما بالا

نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت برای هر سه نمونه Al-Cr ، CK45 و $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ در مقابل دیسک فسفر برنز C94300 در دمای بالا (۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) در شکل (۴-۱۵) ارائه شده است. در این بخش نیز نوسان‌هایی وجود دارد که این نوسانات در ضریب اصطکاک نشانگر پدیده چسبیدن-لغزش است که چسبندگی و جدایش در نقاط تماس بین دو سطح را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷) ضریب اصطکاک در نمونه فولاد کربنی CK45 تقریباً برابر ۰/۳ است که با توجه به نوسان‌های زیاد در طی ۵۰۰ متر مسافت طی شده، تقریباً یکسان است. ضریب اصطکاک برای دو نمونه روکش کاری شده نسبت به نمونه فولاد کربنی CK45 کاهش پیدا کرده است. ضریب اصطکاک در نمونه روکش کاری شده با آلیاژ Al-Cr در طول ۵۰۰ متر بر نوسان بوده ولی تقریباً یک روند ثابتی رو طی می‌کند. مقدار ضریب اصطکاک برای این نمونه در آزمون سایش تقریباً برابر ۰/۱۷ است. همانطور که در شکل (۷-ج) مشاهده می‌شود، ضریب اصطکاک نمونه روکش کاری شده با آلیاژ $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3$ در ۲۰۰ متر ابتدایی آزمون سایش رفتاری متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ضریب

می دهد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، افت وزنی در نمونه فولاد CK45 برابر ۲/۶ میلی گرم، نمونه روکش کاری شده Al-Cr برابر ۰/۲ می باشد. اما نکته قابل توجه در اینجا افزایش وزن دیسک فسفر برنزی است که در برابر نمونه روکش کاری شده $Al-Cr_2O_3$ مورد سایش قرار گرفته است، در این نمونه بر عکس نمونه های دیگر دیسک فسفر برنز با افزایش وزن مواجه شده است.

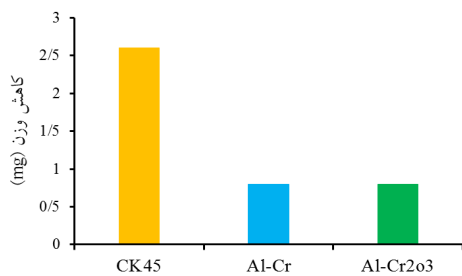


الف ب



ج

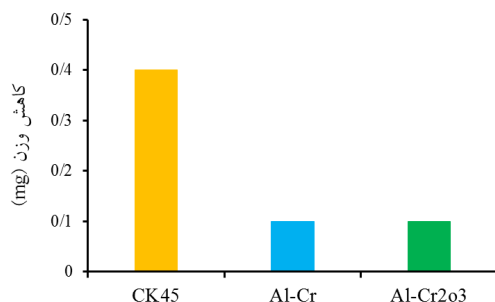
شکل ۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پین برای نمونه های: الف- Al-Cr، ب- CK45 و ج- $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد.



شکل ۱۰- نمودار افت وزنی دیسک فسفر برنز در برابر نمونه های CK45، Al-Cr و $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد.

دلیل این امر این است که پس از انجام فرایند سایش ذراتی از پین بر روی دیسک باقی مانده و با توجه به نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل (۱۱)، سایش در این دیسک از نوع چسبان است که این افزایش وزن را توجیه می نماید. نتایج نشان می دهد که دیسک فسفر برنزی که در برابر نمونه بدون روکش فولاد کربنی

شکل (۸) نمودار افت وزنی پین نمونه های CK45، Al-Cr و $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، افت وزنی در نمونه فولاد CK45 برابر ۰/۴ میلی گرم، نمونه روکش کاری شده Al-Cr برابر ۰/۱ و نمونه روکش کاری شده $Al-Cr_2O_3$ برابر ۰/۱ است. نتایج نشان می دهد که نمونه فولاد کربنی CK45 بدون روکش نسبت به دو نمونه دیگر افت وزنی بیشتری دارد.



شکل ۸- نمودار افت وزنی پین نمونه های CK45، Al-Cr و $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پین ها، پس از انجام آزمون سایش برای هر سه نمونه CK45، Al-Cr و $Al-Cr_2O_3$ در دمای بالا (۲۰۰ درجه سانتی گراد) در شکل (۹) ارایه شده است. همانطور در این قسمت (ب) این شکل مشاهده می شود، تقریباً تمام سطح تماس پین نمونه فولاد کربنی CK45 دچار تخریب شده است و سایش از نوع خراشان و بصورت خیش ریز بوده است. همچنین در برخی نقاط بر روی سطح پین ذرات سایش به سطح پین چسبیده است.

با توجه به شکل (۹- الف) و (۹- ج) مشاهده می شود که تخریب سطح سایش پین در نمونه های روکش کاری بسیار کمتر از نمونه بدون روکش است. سطح پین نمونه Al-Cr دو نوع سایش خراشان و چسبان و از نوع خیش ریز را نشان می دهد. همچنین سطح پین نمونه $Al-Cr_2O_3$ نسبت به دو نمونه دیگر تخریب کمتری را نشان می دهد و خراش های ایجاد شده روی این سطح از عمیق کمتری برخوردار می باشد. در این نمونه نیز در برخی از نقاط سایش چسبان به چشم می خورد.

سایش چسبان هنگام لغزش یک سطح جامد روی سطح دیگر تحت اعمال بار رخ می دهد همانطور که در شکل مشاهده می شود برآمدگی و زبری های روی سطح تغییر شکل پلاستیک یافته وجود دارد که حاکی از انتقال جرم از دیسک به پین است و سایش چسبان در این نمونه را نشان می دهد.

شکل (۱۰) نمودار افت وزنی دیسک های فسفر برنزی در برابر نمونه های CK45، Al-Cr و $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد. علامت (-) بالای سر نمودارها نشان از افت وزنی و کاهش وزن دیسک و علامت (+) افزایش وزن دیسک پس از انجام آزمون سایش نسبت به دیسک قبل از آزمون سایش را نشان

نتیجه گیری

در این پژوهش، با اضافه کردن پودرهای $Al-Cr$ و $Al-Cr_2O_3$ به شیارهای ایجاد شده بر روی فلز پایه Ck45 و انجام جوشکاری قوسی تنگستن - گاز (GTAW) بر روی نمونه ها، روکش های سطحی تولید شده مورد ارزیابی های ریزسختی و مقاومت سایشی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

-الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $Al-Cr$ بعد از ۲۰ ساعت آلیاژسازی نشان داد که محلول جامد $(Cr)Al$ تشکیل شده است.

-الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $Al-Cr_2O_3$ پس از ۲۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی نشان داد که هیچ واکنشی بین Al و Cr_2O_3 اتفاق نیفتاده است. همچنین این الگو نشان دهنده آمورف شدن ساختار آلومینیوم پس از ۲۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی بود. الگوی پراش این مخلوط پودری بعد از عملیات حرارتی در ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت نشان دهنده تشکیل کامل کامپوزیت $Al_2O_3 - AlCr_2$ بود.

-نتایج آزمون پراش پرتو ایکس از روکش های ایجاد شده نشان داد که در روکش $AlCr_2$ علاوه بر فاز $AlCr_2$ محلول جامد $(Cr)Al$ نیز حضور دارد و در سیستم $Al_2O_3 - AlCr_2$ فازهای $AlCr_2$ ، محلول جامد $Al(Cr)$ و Al_2O_3 تشکیل شده است.

-آزمون ریزسختی سنجی نشان داد که روکش $Al_2O_3 - AlCr_2$ سختی بالایی در حدود ۷۵۰ ویکرز از خود نشان داد که در مقایسه با روکش $AlCr_2$ بالاتر می باشد که علت آن تشکیل ترکیب بین فلزی $AlCr_2$ و ذرات تقویت کننده Al_2O_3 می باشد.

-بررسی سایش در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد نشان دهنده مقاومت سایشی بالاتر روکش $Al_2O_3 - AlCr_2$ نسبت به دو نمونه دیگر به خاطر سختی بالاتر این روکش می باشد.

-آزمون سایش در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد نشان دهنده سایش چسبان و سایش خراشان در بین های روکش کاری شده بود.

منابع

1- کوبی، ا، ح، محمودی غزنوی، م، تکنولوژی جوشکاری، چاپ اول، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۷۴.

2- صالحی، م، اشرفی زاده، ف، "متالورژی سطح و تریبولوژی"

انجمن علوم و تکنولوژی سطوح ایران، تابستان ۱۳۷۴، ص ۵۵-۱۰۶.

3-Pouraliakbar1, H., Hamedia, M., Kokabia, A. H. Nazarib, A., "Designing of CK45 Carbon Steel and AISI 304 Stainless Steel Dissimilar Welds", Materials Research., Vol 17(1), pp. 106-114,2014.

4-Friction, Lubrication and wear Technology, ASM Handbook, Vol. 18, 1992.

پی نوشت

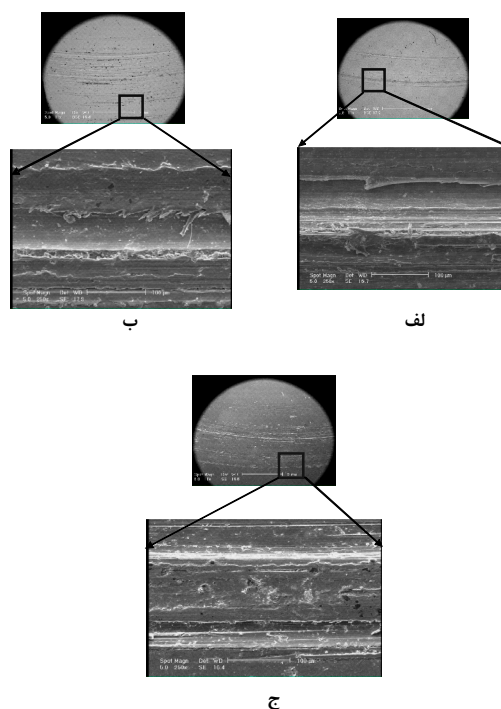
1- دانشجوی مقطع کارشناسی، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک

2-استادیار، دانشکده مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

3-استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک

CK45 مورد سایش قرار گرفته بیشترین افت وزنی را نسبت به دو نمونه دیگر داشته است. با توجه به بیشتر بودن ضریب اصطکاک بین دیسک فسفر برنز و نمونه بدون روکش فولاد کربنی **CK45** نسبت به دو نمونه دیگر، تماس بین پین و دیسک افزایش پیدا کرده است و در نتیجه باعث افزایش سایش در این نمونه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود افت وزنی دو دیسک قرار گرفته در برابر نمونه های روکش -کاری شده یکسان است. در صورتی انتظار می رفت افت وزنی این دو نمونه نسبت به نمونه بدون روکش بیشتر باشد. دلیل این امر را می توان به چسبیدن ذرات سایش کنده شده از سطح پین و سایش چسبان در این نمونه ها با توجه به تصاویر میکروسکوپ روبشی ارایه شده در شکل (۱۱) نسبت داد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دیسک ها، پس از انجام آزمون سایش برای هر سه نمونه **CK45**، **Al-Cr** و **Al-Cr₂O₃** در دمای بالا (۲۰۰ درجه سانتی گراد) در شکل (۱۱) آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، سایش در دیسکی که در برابر پین فولاد کربنی **CK45** تحت سایش قرار گرفته از نوع خراشان برش ریز می باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی بدست آمده، سایش در دو دیسک دیگر روندی تقریباً یکسان را نشان می دهد. با توجه به شکل (۱۱-الف) در نمونه روکش کاری شده **Al-Cr** و جدا شدن مواد از سطح و ورقه ای شدن آن می توان گفت سایش از نوع خراشان برش ریز است. در تصویر شکل (۱۱-ج) سایش در نمونه روکش کاری شده **Al-Cr₂O₃** را نشان می دهد که از نوع خراشان خیش ریز به همراه سایش چسبان است.



شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دیسک های نمونه های الف - $Al-Cr$ ، ب - $CK45$ و ج - $Al-Cr_2O_3$ در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد.

PROGRESSIVE WELD SAMPLING



پنالتی مرتبط با جوشکاری و آزمایش های غیر مخرب

مهندس عبدالوهاب ادب آوازه^۱

رادیوگرافی به همان روال اولیه باقی می ماند و فقط سر جوش های تعمیراتی قبلی، تعمیر می شوند و مجدداً رادیوگرافی می شوند تا اطمینان حاصل شود که عیب برطرف شده است. -چنانچه هر یک از سر جوش های بند ۳ تعمیراتی باشند، مابقی جوش های آن مجموعه باید به صورت صد در صد رادیوگرافی شوند.

پنالتی مرتبط با جوشکاری ساخت و نصب مخزن ذخیره
طبق **API 650** و **BS 2654**، وقتی بخشی از جوش به وسیله فیلم رادیوگرافی نشان داد که قابل قبول نیست، دو فیلم مجاور آن بخش رادیوگرافی می شود.

وقتی فیلم اصلی در یک طرف عیب تا لبه فیلم به اندازه ۷۵ میلیمتر جوش سالم نشان دهد، گرفتن فیلم اضافی در آن طرف لازم نیست. اگر جوش های بخش های مجاور مردود شوند، فیلم های اضافی دیگر باید گرفته شود تا اینکه محدوده جوشکاری غیر قابل قبول تعیین شود یا نصاب می تواند تمام جوشکاری انجام شده توسط آن جوشکار یا اپراتور جوشکاری در آن اتصال را تعویض نماید. اگر جوشکار تعویض شود، بازرس اختیار دارد یک فیلم از موقعیت انتخابی در هر اتصال دیگری که بوسیله همان جوشکار یا اپراتور جوشکاری انجام شده است، بخواهد. اگر هر یک از فیلم های اضافی مردود شوند، محدوده جوشکاری غیر قابل قبول مطابق بخش اول تعیین می شود (شکل ۱).

تعمیر جوش های معیوب

عیوب جوش ها باید با براده برداری، سنگ زنی یا شیار زنی از یک طرف یا از دوطرف اتصال بر حسب لزوم برطرف شده و دوباره جوشکاری شود.

مقدمه

در بررسی های کیفیت جوشکاری در صنایع و پروژه های صنعتی، از آزمایش های مخرب و غیر مخرب استفاده می شود. در برخورد با کاستی در کیفیت (برای جوش ها) و توانایی ها، از پنالتی استفاده می شود. با توجه به استانداردها، اعمال پنالتی از چهار جنبه بررسی شده است:

- کیفیت جوشکاری ساخت و نصب
- تایید صلاحیت
- عملکرد اجرایی
- انجام آزمایش ها (مخرب و غیر مخرب)

پنالتی مرتبط با کیفیت جوشکاری ساخت و نصب

پنالتی لوله کشی

طبق استاندارد **ASME B31.3** برای جوشکاری لوله، وقتی درصد رادیوگرافی کمتر از صد در صد یا موردی است، مقررات زیر حاکم می باشد:

- اگر فیلم رادیوگرافی یک سر جوش عیب غیر قابل قبول نشان دهد و تعمیراتی باشد، به عنوان جریمه باید دوسر جوش اضافی از همان نوع جوش رادیوگرافی شود (این سر جوش های اضافی **P1** و **P2** نامیده می شود).
- اگر رادیوگرافی سر جوش های اضافی قبول باشند، تعمیر اولیه انجام می شود و جریمه جدید تعلق نمی گیرد.
- اگر رادیوگرافی هر یک از دو سر جوش جریمه (**P1** یا **P2**) مردود شود، برای هر موردی نیز دو سر جوش اضافه منظور خواهد شد (**P3** و **P4**).
- چنانچه همه موارد بند اخیر از نظر رادیوگرافی قبول شوند، درصد

رادیوگرافی شود و عیب غیرصفحه ای داشته باشد، به عنوان پینالتی باید دو ناحیه اضافی (دوفیلیم اضافی) از همان جوش رادیوگرافی شود. چنانچه هر یک از دو ناحیه اضافی، عیب غیرصفحه ای داشته باشد، تمام طول باقیمانده آن جوش باید به طور صد در صد رادیوگرافی شود (جدول ۱).

پینالتی در بازرسی دیگ های بخار

طبق استاندارد ملی **INSO 22156-5** (معادل **EN 12953-5**) در بازرسی حین ساخت دیگ های بخار، اگر در جوشی که تحت آزمایش قرار گرفته، عیبی آشکار شود باید قبل از هر گونه تعمیر، بازرسی های تکمیلی زیر انجام شود.

الف - جوش های متقاطع

در صورتی که عیب در منطقه جوش متقاطع اتفاق افتد، یک بررسی باید در هر طرف جوش متقاطع طولی و محیطی انجام شود.

ب - جوش های محیطی و طولی

در مورد عیوب در درز جوش های محیطی و طولی باید یک بررسی در هر طرف عیب انجام شود.

در صورت رضایتبخش بودن نتایج در الف و ب، اقدام بیشتری نیاز نیست و جوش باید تعمیر شود. اگر عیب بیشتری آشکار شود، درز مورد نظر باید به صورت ۱۰۰ درصد همراه با تمام جوش های دیگری که توسط همان جوشکار و با همان دستورالعمل انجام شده است، تحت آزمایش قرار گیرد.

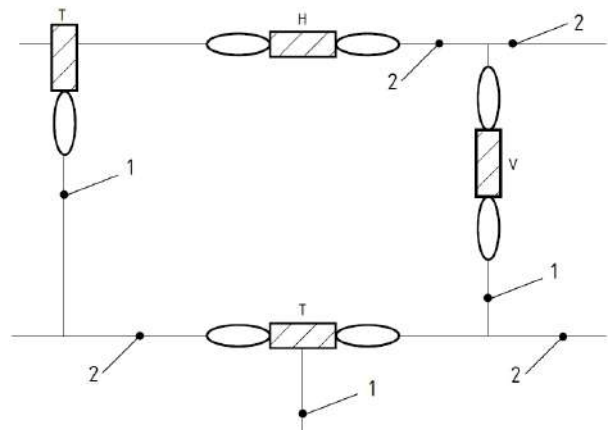
هر گونه تعمیری که روی جوش انجام می شود باید مستند شود. در صورتی که تعمیر انجام شده پیامد آزمایش پرتونگاری باشد، فیلم های عیوب اصلی باید قابل دسترس باشد.

پینالتی مرتبط با تایید صلاحیت ASME-IX

-آزمون مجدد تایید صلاحیت جوشکار یا اپراتور جوشکاری

طبق ASME-IX

جوشکار یا اپراتور جوشکاری که در یک یا چند آزمون تایید صلاحیت مردود شود، ممکن است تحت شرایط زیر آزمون مجدد بدهد.



شکل ۱- پینالتی جوش مخزن ذخیره
۱- درز جوش عمودی ۲- درز جوش افقی V- فیلم عمودی H- فیلم افقی
T- محل برخورد جوش عمودی و افقی

سابقه پرتونگاری

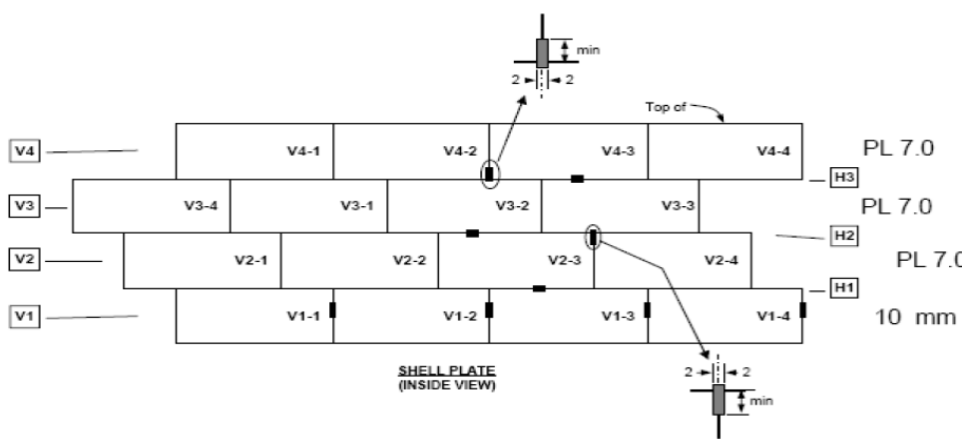
سازنده باید نقشه پرتونگاری انجام شده را با درج شماره شناسایی و محل پرتونگاری ارائه دهد. بعد از تکمیل ساخت، فیلم ها متعلق به خریدار است مگر آن که بین خریدار و سازنده جور دیگری توافق شده باشد (شکل ۲).

- پینالتی مرتبط با جوشکاری و ساخت مخازن تحت فشار

استاندارد مخازن تحت فشار غیر آتشیخانه ای **PD5500** برای عیوب جوش مخزن تحت فشار که با رادیوگرافی آشکار می شوند، معیار پذیرش طبق جدول های زیر ارائه کرده است.

اگر جوشی که قرار است ده درصد رادیوگرافی شود، پس از رادیوگرافی طول ده درصد، اگر نمونه عیب نداشت، قبول می شود و نود درصد باقیمانده قبول است.

اگر جوش بطول ده درصد رادیوگرافی شود و عیب صفحه ای (مانند ترک، ذوب ناقص) داشته باشد، مردود است و نود درصد طول جوش باقیمانده باید صد در صد رادیوگرافی شود. اگر جوش بطول ده درصد



شکل ۲- نقشه محل پرتونگاری مخزن ذخیره

سطوح پذیرش جوش برای مخازن تحت فشار (BS 5500)PD5500

علائم اختصاری مورد استفاده: e = ضخامت زوج فلز، در صورت ضخامت غیرمشابه، e ضخامت قطعه نازکتر، l = طول عیب، h = ارتفاع عیب، o = قطر عیب، c = طول میانگین جوش محیطی، w = پهناي عیب

نوع عیب		حداکثر مجاز		
عیوب صفحه ای	ترکها و پارگیهای لایه ای	غیرمجاز		
	عدم ذوب ریشه	غیرمجاز		
	عدم ذوب کناره	غیرمجاز		
	عدم ذوب بین پاسی	غیرمجاز		
حفره ها	عدم نفوذ ریشه	غیرمجاز		
	الف - منفذهای مجزا (یا منفذهای انفرادی در یک گروه)	قطر کوچکتر یا مساوی یک چهارم ضخامت و قطر ۳ میلیمتر برای ضخامت تا خود ۵۰ میلیمتر قطر ۴/۵ میلیمتر برای ضخامت بیش از ۵۰ میلیمتر تا خود ۷۵ میلیمتر قطر ۶ میلیمتر برای ضخامت بیش از ۷۵ میلیمتر		
	ب - تخلخل با توزیع یکنواخت یا موضعی	۲درصد* مساحت برای ضخامت کوچکتر یا مساوی ۵۰ میلیمتر و متناسباً برای ضخامت بیشتر		
	ج - تخلخل خطی	باید مثل منفذهای انفرادی در یک گروه عمل شود مگر آنکه نشان داده شود که ذوب ناقص یا نفوذ ناقص با این عیب همراه است (که در آن صورت مجاز نیست)		
	د - حفره های کرمی شکل مجزا	طول کوچکتر یا مساوی ۶ میلیمتر عرض کوچکتر یا مساوی ۱/۵ میلیمتر		
	ه - حفره های کرمی شکل ردیف شده	مثل تخلخل خطی		
	و - مکهای لوله ای چاله جوش	مثل حفره های کرمی شکل مجزا		
آخال های سرپاره	الف - انفرادی و موازی با محور اصلی جوش	جوشهای لب بلب اصلی	طول = ضخامت کوچکتر یا مساوی ۱۰۰ میلیمتر پهنا یا ارتفاع = یکدهم ضخامت کوچکتر یا مساوی ۴ میلیمتر	
	تبصره: آخال ها روی محور اصلی جوش به فاصله مساوی یا بزرگتر از آخال بلندتر جدا شود و مجموع طولهای آخال ها نباید از طول کل جوش بیشتر باشد.	جوشهای نازل و متعلقات	ربع های بیرونی مقطع عرضی	نیمه میانی مقطع عرضی
		انشعاب	w یا $h=e/4 < 4mm$ $l < 100 mm$	w یا $h=e/8 < 4mm$ $l < 100 mm$
	ب - انفرادی و در جهت تصادفی (غیرموازی با محور جوش)	مثل منفذهای مجزا		
	ج - گروهی غیرخطی	مثل تخلخل موضعی		
آخال های جامد	آخال های تنگستن	مثل منفذهای مجزا		
	الف - مجزا	مثل تخلخل با توزیع یکنواخت یا موضعی		
	ب - گروهی	مثل تخلخل با توزیع یکنواخت یا موضعی		
آخال های مس	غیرمجاز			

* مساحت مورد ملاحظه باید طول جوش تخلخل دار ضربدر حداکثر پهناي جوش در همان محل باشد.

ادامه جدول ۱- سطح پذیرش

		نوع عیب	حداکثر مجاز
عیوب نیمرخ		بریدگی کناره	مختصری بریدگی کناره منقطع مجاز است، عمق نباید از تقریباً ۰/۵ میلیمتر بیشتر باشد.
		شیارهای انقباضی و تقعر ریشه	مثل بریدگی کناره، عمق نباید از ۱/۵ میلیمتر بیشتر باشد.
		نفوذ اضافی	ارتفاع کمتر یا مساوی ۳ میلیمتر مختصری نفوذ اضافی موضعی اتفاقی مجاز است.
		شکل گرده	گرده باید بطور هموار با زوج فلز آمیخته شود و معمولاً آرایش لازم ندارد. بشرطی که شکل گرده جوش مزاحم تکنیک های آزمایش غیرمخرب معین شده نشود.
		رویهم افتادگی	غیرمجاز
		عدم هم راستایی خطی	بند ۳ - ۲ - ۴ ملاحظه شود

تبصره ۱: حضور همزمان بیش از یک نوع عیب مجاز در بین طول معلومی از جوش مجاز است و هر نوع عیب باید بطور انفرادی ارزیابی شود.

تبصره ۲: اندازه مهم یک عیب از نظر تأثیرش بر اجرا در بهره برداری ارتفاع یا اندازه عیب در جهت ضخامت قطعه است. اگر عیب یابی التراسونیک بکاربرده شود، علائم عیب با مقطع عرضی خیلی جزئی تر بدست خواهد آمد. در تفسیر خواسته های این جدول، چنین علائمی با اندازه ارتفاع ۱/۵ میلیمتر یا کمتر باید اغماض شود مگر آنکه بین سازنده، خریدار و بازرسی فنی جور دیگری توافق شده باشد.

تبصره ۳ - نیمه میانی مقطع عرضی به منطقه میانی گفته می شود یعنی از هر طرف یک ربع بیرون باقی بماند.

جدول ۲

تبصره: علائم همانند شرح جدول ۱ می باشند.

		نوع عیب	حداکثر مجاز
آخالهای جامد	آخالهای سرباره	الف - منفذهای مجزا (یا منفذهای انفرادی در یک گروه)	قطر کوچکتر یا مساوی یک چهارم ضخامت، کوچکتر یا مساوی ۶ میلیمتر
		ب - تخلخل با توزیع یکنواخت یا موضعی	* ۲ درصد مساحت
		الف - آخال سرباره، انفرادی و موازی با محور اصلی جوش	$L = 2e$ w یا $h = e/4 < 4mm$
		تبصره: آخالها روی محور اصلی جوش به فاصله مساوی یا بزرگتر از آخال بلندتر جدا شود و طول مجموع از طول کل بیشتر نشود.	ربع های بیرونی مقطع عرضی مقطع عرضی متعلقات انشعاب w یا $h = e/2 < 4mm$ $l < c/2 < 100 mm$ $l < c/4 < 100mm$
		ب - سرباره یا تنگستن، گروهی غیرخطی	* ۴ درصد مساحت

* مساحت مورد ملاحظه باید طول جوش تخلخل دار ضریب حداکثر پهنای جوش در همان محل باشد.

آزمون بعد از آموزش و تمرین کافی، همانند آزمون اولیه انجام می شود.

آزمون مجدد فوری (بدون آموزش و تمرین) شامل پناستی می شود. اگر جوشکار یا اپراتور جوشکاری در آزمون مکانیکی مردود شده باشد، آزمون مجدد فوری آزمون مکانیکی خواهد بود یعنی جوشکار و یا اپراتور جوشکاری در هر حالتی که مردود شده است دو نمونه پیاپی جوش می دهد. تمام نمونه های آزمون مجدد باید خواسته های قبولی را بر آورده سازند. وقتی نمونه تایید صلاحیت در آزمون رادیوگرافی مردود شده باشد،

آزمون مجدد فوری (بدون آموزش و تمرین) شامل پناستی می شود. اگر جوشکار یا اپراتور جوشکاری در آزمون مکانیکی مردود شده باشد، آزمون مجدد فوری آزمون مکانیکی خواهد بود یعنی جوشکار و یا اپراتور جوشکاری در هر حالتی که مردود شده است دو نمونه پیاپی جوش می دهد. تمام نمونه های آزمون مجدد باید خواسته های قبولی را بر آورده سازند. وقتی نمونه تایید صلاحیت در آزمون رادیوگرافی مردود شده باشد،

آزمون بعد از آموزش و تمرین کافی، همانند آزمون اولیه انجام می شود. اگر جوشکار یا اپراتور جوشکاری در آزمون مکانیکی مردود شده باشد، آزمون مجدد فوری آزمون مکانیکی خواهد بود یعنی جوشکار و یا اپراتور جوشکاری در هر حالتی که مردود شده است دو نمونه پیاپی جوش می دهد. تمام نمونه های آزمون مجدد باید خواسته های قبولی را بر آورده سازند. وقتی نمونه تایید صلاحیت در آزمون رادیوگرافی مردود شده باشد،

در این صورت جوش آزمون مجدد و تمام جوش های تولیدی انجام شده توسط این جوشکار باید بطور کامل پرتونگاری شود و توسط جوشکار یا اپراتور جوشکاری تایید شده دیگری، تعمیر شود.

پنالتی مرتبط با تایید صلاحیت AWS D1.1

- آزمون مجدد کارکنان جوشکاری طبق AWS D1.1

طبق AWS D1.1 جوشکار شخصی است که فرایندهای جوشکاری ذوبی دستی (مثل SMAW و GTAW) و نیمه اتوماتیک (مثل GMAW, FCAW) را اجرا می کند، اپراتور جوشکاری، شخصی است که فرایندهای جوشکاری ذوبی تمام ماشینی و اتوماتیک (مثل SAW) را اجرا می کند.

خالجوش زن، شخصی است که تحت راهنمایی مونتاژ کار، قطعات را قبل از انجام جوش نهایی، برای نگهداری درست طبق نقشه، خالجوش می زند. وقتی جوشکار، اپراتور جوشکاری یا خالجوش زن در آزمون تایید صلاحیت مردود شوند، آزمون مجدد لازم است. آزمون مجدد فوری (شامل پنالتی می شود) روی دو جوش از هر نوع و حالتی که جوشکار یا اپراتور جوشکاری در آن نوع یا حالت مردود شده است، انجام می شود. تمام نمونه های آزمون مجدد باید الزامات مشخص شده را برآورد نمایند. به شرطی که شاهدهی مبنی بر اینکه جوشکار یا اپراتور جوشکاری، آموزش یا تمرین بیشتری داشته است در دست باشد، آزمون مجدد ممکن است انجام شود. این آزمون مجدد بطور کامل تمام انواع و حالت های مردودی را شامل می شود. اگر نمونه آزمایش مجدد تایید صلاحیت مردود شود، هیچ آزمون مجدد فوری دیگر مجاز نیست، بلکه فقط بعد از آموزش و تمرین بیشتر می توان نسبت به آزمون مجدد اقدام نمود.

در حالت عادی اگر نمونه های خالجوش زن، الزامات آزمون را برآورده نکند، به شرطی که آموزش دیده باشد یا تمرین کافی داشته باشد، (شامل پنالتی نمی شود) و یک آزمون مجدد کامل انجام می شود.

پنالتی مرتبط با عملکرد جوشکاران لوله

- عملکرد جوشکاران لوله

بسته به فشار کاری، درجه حرارت کاری، جنس لوله، درجه خوردگی سیال داخل لوله، درصد رادیوگرافی سر جوش های لوله تعیین می شود.

سر جوش های آماده با درصد های مشخص شده، رادیوگرافی می شوند. برای پوشش دادن رادیوگرافی، سه روش متداول است:

- پوشش دادن درصد رادیوگرافی به روال جوشکار

- پوشش دادن درصد رادیوگرافی به روال خط

- پوشش دادن درصد رادیوگرافی به روال هیدروتست

در بعضی از پروژه ها درصد رادیوگرافی را به روال جوشکار انجام می دهند تا از جوش های هر جوشکار همان درصد رادیوگرافی اجرا شود و سهم هیچ جوشکاری از قلم نیفتد.

گزارش جوش های انجام شده و وضعیت جوشکاران در فواصل معینی

(هفتگی، دوهفتگی،...) گزارش داده می شود.

درصد تعمیرات جوشکار اگر از حد معینی بیشتر باشد به او اخطار داده می شود. بعد از اخطار اول، در صورتی که در گزارش بعدی، درصد تعمیری بهبود نیافته باشد بلکه درصد تعمیر بیشتر شده باشد به جوشکار اخطار دوم داده می شود و چنانچه موثر نیفتاد، با تعمیر آوردن در رادیوگرافی اولین جوش بعدی او، تایید صلاحیت جوشکار لغو می شود.

پنالتی مرتبط با آزمایش مخرب و غیر مخرب

در آزمایش کشش تایید صلاحیت WPS با جوش شیاری، چنانچه نمونه کشش از محل جوش، از محل منطقه تاثیر حرارت یا از محل فلز پایه پاره شود اما حداقل استحکام کششی مشخص شده فلز پایه را برآورده کند، آزمایش کشش قبول است.

در صورتی که نمونه خارج از جوش یا خط ذوب پاره شود ولی استحکام کششی نمونه با آنچه که برای فلز پایه مشخص شده بیش از پنج درصد کاهش نشان دهد، آزمایش کشش قابل قبول نیست و باید تکرار شود.

در آزمایش ذره مغناطیسی، نشانه نقص موجود در قطعه مورد آزمایش به شکل تجمع ذرات مغناطیسی بر روی قطعه کار دیده می شوند. همانطور که تمام نشستی فلوی مغناطیسی قابل رویت، نشان دهنده نقص نیستند، همه نشانه های نقص که در بازرسی دیده می شوند، نشستی فلوی مغناطیسی نیستند.

اپراتور آموزش دیده به راحتی، نشانه نامرتبط را از نشانه واقعی تشخیص می دهد و اما اگر در تشخیص نشانه نامرتبط و نشانه مرتبط، ابهام وجود داشته باشد، پنالتی این ابهام، آزمایش دوباره است.

برای چند روش از آزمایش های غیرمخرب این موضوع کاربرد دارد.

منابع

- Rules for construction of pressure vessels ASME Section VIII-Division 1.

- Process Piping - ASME B31.3-2022

- Qualification standard for welding, Brazing, and Fusing Procedures, Welders, Brazers, and Welding, Brazing, and Fusing Operators-ASME Section IX-2023.

- Structural Welding Code- Steel AWS D1.1:2020.

- Welded Tanks for Oil Storage - API 650:2020.

- Specification for unfired Pressure Vessels-PD 5500:2018.

- Projects Specifications

- دیگ های بخار و آب داغ از نوع پوسته ای - قسمت ۵: بازرسی حین ساخت - مستندسازی و نشانه گذاری اجزای تحت فشار دیگ، استاندارد ملی ایران ۵-۲۲۱۵۶

پی نوشت

1- انجمن جوشکاری و آزمایش های غیرمخرب ایران

ISO 45001



تشریح الزامات استاندارد ISO 45001 - قسمت هشتم

مهندس افشین خیام

• **تایید / استفاده از مواد شیمیایی جدید**: بحث نحوه استفاده از مواد شیمیایی بخصوص وقتی ماده شیمیایی جدیدی در سازمان می‌آید.

• **انبارش و جایجایی مواد اولیه و مواد شیمیایی**: بحث انبارش مواد اولیه و یا مواد شیمیایی که در این مقاله بیشتر تمرکز ما بر روی مواد شیمیایی است. هر نوع مواد شیمیایی هر نوع چیدمانی که می‌توانند به افراد آسیب بزند، نحوه چیدمانش باید مشخص شود. وقتی صحبت از مواد شیمیایی می‌شود، الزامات و قوانین خاص خودش را دارد. اینکه حتما در محیطی که مطابق با استانداردهای آن ماده شیمیایی است قرار بگیرد. حتما در کمدی باشد اگر ماده خیلی خطرناک باشد دسترسی‌ها باید مشخص باشد. کلید آن کمد فقط دست افرادی باشد که می‌توانند با این ماده کار بکنند.

• **تعمیرات تجهیزات و ایمن سازی آن‌ها**: باید روش‌ها، استانداردها، چک لیست‌ها برای تعمیرات ماشین آلات مشخص باشد. اینکه چه کسی، کار تعمیر را باید انجام بدهد؟ چه نکات ایمنی را باید برای تعمیرات تجهیزات و ابزارها باید استفاده کند.

• **خرید**: در بحث خرید باید کنترل وجود داشته باشد. زمانی که خرید انجام می‌دهیم باید نکات ایمنی را در خریدمان مدنظر قرار بدهیم. باید نکات ایمنی که در زمان خرید باید رعایت شود را باید بدانیم و آن‌ها را لیست کنیم و آن فردی که کار خرید را انجام می‌دهد موظف است که مطمئن شود که خریده‌ها مطابق موارد ایمنی هستند.

• **تامین، کنترل و نگهداری وسایل حفاظت فردی**
باید مطمئن شویم از وسایلی دارد استفاده می‌شود که می‌تواند خطر را مهار کند.

• **بازرسی ایمنی**: بحث بازرسی ایمنی هم موضوع بعدی است که ما در کنترل عملیات می‌توانیم داشته باشیم.
این موارد نمونه‌هایی از کنترل عملیات‌هایی هستند که ما باید در

بند ۸ - عملیات

در این بند از استاندارد در خصوص بحث عملیات قرار است صحبت شود. بحث اجرا و کنترل فرایندها در استاندارد ۴۵۰۰۱ به چه صورتی است.

8-1- طرح ریزی و کنترل عملیات

8-1-1- کلیات

سازمان باید با انجام موارد زیر فرایندهای مورد نیاز جهت برآورده سازی الزامات و پیاده‌سازی اقدامات بند ۶ را طرح ریزی، پیاده سازی، کنترل و نگهداری نماید:

- **تعیین معیارهایی برای فرایندها**: استاندارد می‌گوید یکسری معیارهایی را برای فرایندها، سازمان باید مشخص کند. همان مواردی که در بند ۶ استاندارد صحبت کردیم را سازمان باید به عنوان معیار مشخص کند. از قبیل: ریسک‌ها، خطرها وجود داشت. معیارها باید تعیین شود.

- **پیاده سازی کنترل روی فرایندها با توجه به معیارها**
- **نگهداری و حفظ اطلاعات مستند به میزان ضروری**: اطلاعات مستند، باید توسط سازمان نگهداری شود.

- **متناسب سازی کار با کارکنان**: اینکه کار سازمان را متناسب با کارکنان سازمان، متناسب با جایگاه‌شان، متناسب با برنامه آموزشی‌شان، متناسب با نوع شغلشان، بیاییم این کار را انجام دهیم.

- **چه عملیاتی باید تحت کنترل باشد؟** نمونه‌هایی از عملیاتی که اعمال کنترل‌های لازم بر آن‌ها مورد نظر است عبارتند از:

• **در دسترس بودن مدارک لازم برای حمل ایمن مواد**
از قبیل مواد سنگین، مواد شیمیایی، برای هر موردی دستورالعمل‌هایی باید تهیه شود که نحوه جایجایی و حمل مواد و نحوه کنترل در آن توضیح داده شود.

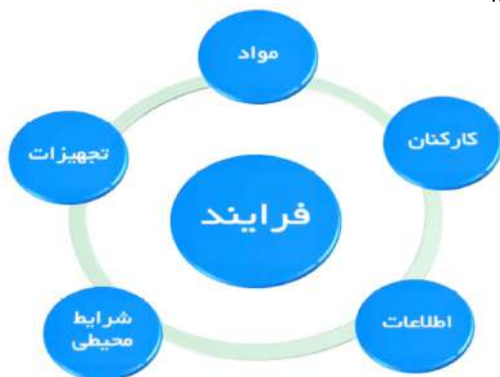
سازمان انجام دهیم.

جدول ۱- نمونه‌ای از چک لیست برای بحث کنترل عملیات

ردیف	شرح مورد	چک لیست بازدید از ابزارها		کد مدرک:
		مطلوب	نامطلوب	
۱.	آیا دستورالعمل ایمنی ابزارها در دسترس می‌باشد؟			
۲.	آیا از وسایل حفاظت فردی شامل: دستکش، لباس کار، ماسک و کفش کار استفاده می‌شود؟			
۳.	آیا هنگام جابجایی قطعات تیز و برنده و مواد شیمیایی از دستکش چرمی و یا برزنی استفاده می‌شود؟			
۴.	آیا برای بلند کردن قطعات سنگین از لیفتراک یا جرچ دستی استفاده می‌شود؟			
۵.	آیا از استعمال دخانیات جلوگیری می‌شود؟			
۶.	آیا لامپ‌های ابزار سالم هستند؟			
۷.	آیا نظم و جداسازی اقلام در چیدمان ابزار رعایت می‌شود؟			

عوامل مهم در تحت کنترل بودن فرایندها

در شکل (۱) پنج عامل مهم در تحت کنترل بودن فرایندها آورده شده است.



شکل ۱- پنج عامل مهم در تحت کنترل بودن فرایندها

۱- **مواد:** از موادی استفاده شود که کمترین آسیب را به کارکنان می‌زند. پتانسیل آسیب رساندن آن پایین باشد. اگر می‌توانید مواد را جابجا کنید از موادی استفاده کنید که همان خاصیت را دارد اما آسیب پذیری کمتری می‌تواند داشته باشد. باید اینکار را انجام بدهید.

۲- **کارکنان:** از کارکنانی باید استفاده شود که آموزش دیده باشند به کارکنان آموزش بدهید تا این کارکنان با توجه به آن آموزش‌هایی که دیده‌اند و با توجه به حرفه‌ای بودنشان یک محیط ایمن را ایجاد کنند.

۳- **اطلاعات:** چقدر اطلاعات را در اختیار کارکنان قرار می‌دهید اطلاعاتی که قرار می‌دهید تا کمک کند که حوزه ایمنی و بهداشت شغلی حوزه مطلوبی باشد.

۴- **شرایط محیطی:** شرایط محیطی را ایجاد کنید که تحت کنترل باشد که کمترین آسیب را به کارکنان بزند.

۵- **تجهیزات:** از چه تجهیزاتی استفاده می‌کنید؟ از تجهیزاتی

مثال - در ارتباط با مواد شیمیایی خطرناک

- شناسایی مواد خطرناک و تهیه فهرستی از آن‌ها،
- تعیین محل‌های مناسب برای انبارش آن‌ها (رعایت فاصله بین مواد اکسید کننده و احیاکننده)،

- تدارک شرایط لازم برای انبارش بی‌خطر و ایمن این مواد (مثل: کنترل دما - رطوبت - نور)،

- کنترل دسترسی به مواد شیمیایی خطرناک باید مشخص شود،
- چه افرادی دسترسی دارند؟ آیا درب آن کمندی که این مواد داخل آن است قفل می‌باشد یا خیر؟

- نشانه‌گذاری (Labeling) مناسب (روی مواد و در محل‌های انبارش آن‌ها)،

- تهیه دستورالعمل‌های لازم برای جابجایی و انبارش این مواد،
اینکه ما چطوری آنرا جابجا کنیم، چه آسیب‌ها و خطراتی حین جابجایی وجود دارد،

- نحوه دسترسی به برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS).

برای مواد شیمیایی باید برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS) تهیه شود و این برگه باید در دسترس افرادی که دارند با آن ماده کاری کنند قرار بگیرد معمولاً کنار محصولات و یا روی دیواری که محصولات قرار گرفته‌اند این برگه‌های (MSDS) نصب می‌شود.

MSDS چیست؟ برگه اطلاعات ایمنی مواد و مخفف این کلمات (Material Safety Data Sheet) می‌باشد.

حاوی اطلاعات مهم در خصوص ماده شیمیایی مورد استفاده می‌باشد. هدف از تهیه MSDS را می‌توان موارد زیر دانست:

۱- آشنایی با مخاطرات حاد و یا مزمن ماده شیمیایی در صورت مواجهه،

۲- نحوه کاربرد ایمن و بهداشتی ماده شیمیایی،

۳- روش‌های ایمنی و بهداشتی در خصوص پیشگیری از مواجهه با ماده شیمیایی،

۴- اقدامات فوری هنگام مواجهه، حریق، پاشش و پراکندگی در محیط.

تمامی مواد شیمیایی دارای MSDS مخصوص به خود می‌باشند. زیرا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد متفاوت است.

به عنوان مثال شرکت ملی نفت ایران MSDS خیلی از محصولات را تهیه و لیست کرده است شما می‌توانید از سایت شرکت ملی نفت ایران آن‌ها را دانلود کنید.

تقریباً می‌توان گفت برای تمامی محصولات شیمیایی، MSDS داریم و نیازی نیست که بگردیم و خودمان MSDS بنویسیم.

نمونه‌ای از چک لیست برای بحث کنترل عملیات طبق جدول (۱) و اینکه ما مطمئن شویم این اصول رعایت شده است مورد استفاده قرار می‌گیرد:

استفاده کنید که ایمنی آن‌ها، ایمنی مطلوب باشد.

- نظارت بر استفاده از وسایل حفاظت فردی،
- کنترل‌های محیطی جهت کم کردن عوامل حادثه،
- ...

8-1-2- حذف خطرات و کاهش ریسک‌ها

سازمان باید فرایندهایی به منظور حذف خطرات و کاهش ریسک‌ها با توجه به سلسله مراتب زیر ایجاد، پیاده سازی و نگهداری نماید:
- **حذف خطر**: اولین کاری که سازمان‌ها باید انجام دهند حذف خطر است.

- **جایگزین کردن فرایندها، عملیات‌ها، مواد و یا تجهیزات دارای خطر کمتر**: مثلاً: در سازمانی که با تجهیزاتی که با برق ۲۲۰ ولت کار می‌کند، اگر این ولتاژ برق پایین آورده شود و از تجهیزاتی استفاده شود که ولتاژ برق پایین‌تری دارد احتمال آسیب رساندن کمتری پیدا می‌کند و این جایگزین کردن خطر با تجهیزات کم خطرتر می‌شود.

- **استفاده از کنترل‌های مهندسی و سازماندهی مجدد کار**: یعنی خطر را ایزوله کنید به عنوان مثال خطر وجود دارد. مثلاً: دستگاه فرزی دارید که ممکن است خرده‌های محصول (آن بحث تراشی که انجام می‌دهد) را پرتاب کند. یک شیء را پرتاب کند باید این محیط را ایزوله کنید دور آنجایی که محصول دارد روی آن کار می‌شود را یک محافظی بکشید که این محافظ باعث شود این خرده‌ریزها و تکه‌ها به سمت اپراتور پرتاب نشود. و یا وقتی در ارتفاع کار می‌کنید بیابید مقداری پایین‌تر توری نصب کنید که اگر کسی یا اجسامی از بالا سقوط کردند این توری بتواند آن‌ها را نگه دارد.

- **استفاده از کنترل‌های اداری شامل آموزش**: ما می‌توانیم به کارکنان آموزش بدهیم و میزان مهارتشان را بالا ببریم تا آن‌ها بتوانند خودشان را در برابر خطرات محافظت بکنند. می‌توانیم کنترل‌های اداری دیگری هم داشته باشیم به عنوان مثال: جاهایی که کار پرخطر است بیابیم ساعت کاری را کم کنیم.

- **استفاده از تجهیزات حفاظت فردی**: آخرین گزینه استفاده از تجهیزات حفاظت فردی است. این سلسله مراتب باید رعایت شود. تجهیزات فردی باید مورد استفاده قرار بگیرد اما تجهیزات فردی در گزینه آخر استاندارد است.

گزینه آخری است که ارائه می‌کنیم یعنی سازمان تجهیزات حفاظت فردی را باید داشته باشد اما تمرکز اصلی آن باید در درجه اول روی حذف خطرات باشد.

متأسفانه اکثر سازمان‌ها ۴ گزینه قبلی را کنار می‌گذارند و صرفاً در حوزه ایمنی و بهداشت شغلی، سراغ تجهیزات حفاظت فردی می‌روند. در خیلی از کشورها این تجهیزات الزام است و به صورت رایگان در اختیار کارکنان سازمان‌شان قرار می‌دهند.

حذف خطرات و کنترل ریسک‌ها

- تا حد امکان حذف خطرات (مثلاً استفاده از وسایل دیگر جهت جابجایی، قراردادن محافظ روی دستگاه فرز و ...)،
- تلاش برای کاهش ریسک‌ها (مثلاً استفاده از وسایل برقی با ولتاژ پایین‌تر)،

- آموزش کارکنان جهت انجام صحیح کارها.

این نکته را فراموش نکنید تلاش می‌کنیم خطرات را حذف کنیم. اما همواره ممکن است با حذف یک خطر، خطرهای دیگری به وجود بیاید باید مراقب آن‌ها هم باشیم. خیلی اوقات خطرها باید با کار تیمی و همفکری حذف و یا ایزوله شوند.

8-1-3- مدیریت تغییر

- محصول، خدمات و فرایندهای جدید یا تغییرات در محصولات، خدمات یا فرایندهای موجود شامل: (مکان‌های محل کار و محیط اطراف / سازماندهی کار / شرایط کاری / تجهیزات / نیروی کار)

- تغییرات در الزامات قانونی و سایر الزامات،
- تغییرات در دانش یا اطلاعات مربوط به خطرات و ریسک‌ها،
- پیشرفت در دانش و تکنولوژی،
سازمان باید عواقب تغییرات ناخواسته را بازنگری کرده و به نحو ضروری در جهت کاهش هرگونه اثرات نامطلوب اقدام کند تغییرات می‌تواند منجر به ریسک یا فرصت‌های جدید شوند.

8-1-4-1- خرید

سازمان باید فرایندهایی را به منظور کنترل خرید محصولات و خدمات ایجاد، پیاده سازی و نگهداری کند تا از انطباق آن‌ها با سیستم خود اطمینان حاصل کند.

8-1-4-2- پیمانکاران

سازمان باید فرایند خرید خود را با پیمانکاران هماهنگ کند تا خطرات ناشی از موارد زیر را شناسایی کرده و ریسک‌های آن را ارزیابی و کنترل نماید:

- فعالیت‌ها و عملیات پیمانکاران که بر سازمان اثر می‌گذارد،
- فعالیت‌ها و عملیات‌های سازمان که بر کارکنان پیمانکاران اثر می‌گذارد،
- فعالیت و عملیات پیمانکار که بر سایر طرف‌های ذینفع در محل کار اثر می‌گذارد،

سازمان باید اطمینان حاصل کند که الزامات سیستم توسط پیمانکار و کارکنانش برآورده می‌شود،
فرایند خرید باید معیارهای ایمنی و سلامت شغلی را برای انتخاب پیمانکاران تعریف کرده و به کار گیرد.

8-1-4-3- برون سپاری

سازمان باید اطمینان حاصل کند که فعالیت‌ها و فرایندهای برون سپاری شده تحت کنترل است. سازمان باید اطمینان حاصل کند که ترتیب برون سپاری در راستای الزامات قانونی و دستیابی به نتایج مورد نظر می‌باشند.

نوع و میزان کنترلی که باید روی این فعالیت‌ها و فرایندها اعمال شود

جدول ۲- نمونه‌ای از فرم آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری

کد مدرک :	فرم ثبت نتایج مانور، حادثه و رخدادها	شرکت ...
نوع مانور : اطفاء حریق		نوع حادثه / رخداد :
شرح مانور / حادثه : ایجاد حریق آموزشی نحوه کار با کپسول‌های اطفاء حریق، نحوه صحیح خاموش کردن یا همکاری شرکت متولی شارژ کپسول‌های آتش نشانی پیش از شارژ کپسول‌ها نسبت به برگزاری مانور و آموزش اطفاء حریق اقدام شد. حضور تمام پرسنل در این مانور و آموزش الزامی است.		
تاریخ :	ساعت :	گزارش دهنده :
ریشه حادثه / کمبودها و نواقص مشاهده شده در مانور : موارد نقص مهمی مشاهده نگردید.		
تاریخ ارزیابی :	مسئول ارزیابی :	
اقدام اصلاحی پیشنهادی :		

-وظایف و مسئولیت‌های کلیدی در شرایط اضطراری مانند هماهنگ کننده عملیات در شرایط اضطراری،
-نحوه ارتباطات در شرایط اضطراری،
-روش‌های تخلیه پرسنل از نقاط تحت شرایط بحرانی و مشخص نمودن نقاط ایمن،
-فواصل زمانی تمرین روش‌های مقابله با شرایط اضطراری،
-تست‌های ادواری سیستم‌های هشدار دهنده و سیستم‌های اطلاع رسانی،
-برنامه‌های تعمیرات و بازرسی‌های ادواری تجهیزات مقابله با شرایط اضطراری.

نمونه‌هایی از شرایط اضطراری

-نشت گازهای سمی،
-انفجار در خطوط لوله، مخازن،
-آتش سوزی،
-سیل،
-زلزله،
-نشت گاز در کارخانه‌های مجاور که نیازمند آمادگی سازمان برای مقابله با آن در صورت وسعت حادثه است.

نمونه‌ای از فرم آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری در جدول (۲) مشاهده می‌کنید.

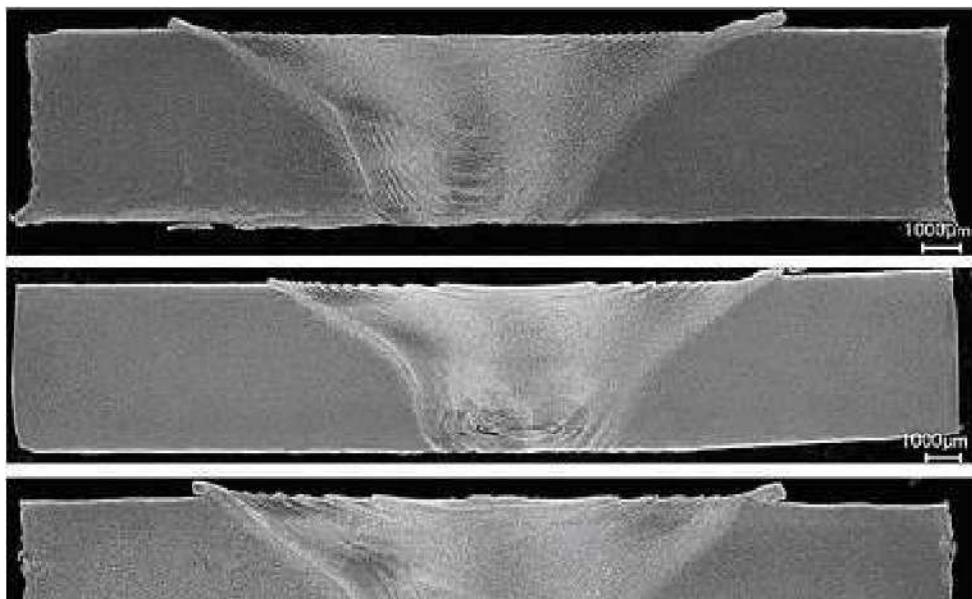
پی نوشت

- مدیر تضمین کیفیت شرکت ناظران یکتا

8-2- آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری

سازمان باید به منظور آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری بالقوه، فرایندهای مورد نیاز را ایجاد، پیاده سازی و نگهداری نماید که شامل موارد زیر است :

-طرح‌ریزی واکنش به شرایط اضطراری شامل ارائه کمک‌های اولیه،
-ارائه آموزش برای واکنش‌های طرح‌ریزی شده،
-آزمون و تمرین دوره‌ای توانمندی واکنش‌های طرح‌ریزی شده،
-ارزشیابی عملکرد و به نحو ضروری، بازنگری واکنش‌های طرح‌ریزی شده، از جمله پس از آزمون و به طور خاص پس از وقوع شرایط اضطراری،
-اطلاع رسانی و ارائه اطلاعات مربوط به همه کارکنان درباره وظایف و مسئولیت‌های آن‌ها،
-اطلاع رسانی اطلاعات مربوط به پیمانکاران، بازدیدکنندگان، تامین کنندگان، خدمات واکنش در شرایط اضطراری، نهادهای دولتی و به نحو مناسب به جامعه محلی،
-لحاظ کردن نیازها و توانمندی‌های همه طرف‌های ذینفع مرتبط و حصول اطمینان از دخیل بودن مناسب آن‌ها در تهیه واکنش‌های طرح‌ریزی شده،
-سازمان باید اطلاعات مستند مربوط به فرایندها و طرح‌های واکنش در شرایط اضطراری بالقوه را نگهداری و حفظ کند.
در یک برنامه مقابله با شرایط اضطراری موارد زیر پیش‌بینی می‌گردد: " نقشه کلی سایت و نقاط مستعد شرایط اضطراری (مواد سمی، مخازن، گازهای تحت فشار) همراه با محل استقرار شیرهای آتش نشانی، گذرگاه‌ها و ...،



استفاده از توموگرافی اشعه ایکس برای کنترل کیفیت جوش حاصل از فرایند همزن اصطکاکی

قاسم عظیمی روئین

چکیده

استفاده از فرایندهای نوین جوشکاری همانند جوشکاری همزن اصطکاکی روز به روز در حال گسترش می‌باشد. بنابراین شناسایی، آنالیز و علت ایجاد عیوب جوش حاصل از این روش نیز دارای اهمیت زیادی می‌باشد. توموگرافی اشعه ایکس یک تکنیک ارزیابی غیرمخرب بوده که پروفیل‌هایی سه بعدی با وضوح بالا از اشیاء با شکل هندسی پیچیده ایجاد می‌کند. در پژوهش حاضر از توموگرافی اشعه ایکس جهت بررسی کیفیت جوش ایجاد شده با روش همزن اصطکاکی با سه ابزار با شکل هندسی متفاوت، استفاده شده است. این نتایج نشان داد توموگرافی اشعه ایکس که قابلیت بسیار بالایی به عنوان یک روش غیرمخرب جهت بازرسی کیفیت اتصالات جوشی و تجزیه و تحلیل عیوب دارد.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت؛ روش همزن اصطکاکی؛ آلیاژ آلومینیوم؛ ریزساختار، مرزدانه.

مقدمه

فرایند جوشکاری همزن اصطکاکی یکی از جدیدترین روش‌های جوشکاری حالت جامد می‌باشد که در سال ۱۹۹۱ توسط موسسه جوشکاری انگلستان ابداع شد [۱]. اصول پایه‌ای این جوشکاری بسیار ساده است. یک ابزار مصرف نشدنی چرخان که بین و شانه‌ای با طراحی خاص دارد، از مرز بین دو ورق یا صفحه‌ی مجاور هم عبور کرده و آن‌ها را به هم متصل می‌کند. ابزار دو تابع اولیه را فراهم می‌کند:

الف - گرمای قطعه کار،

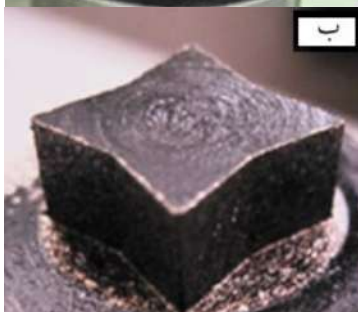
ب- حرکت ماده برای ایجاد اتصال. گرما بوسیله‌ی اصطکاک بین ابزار و قطعه کار و تغییر شکل پلاستیک قطعه کار ایجاد می‌شود. این گرمای موضعی سبب نرم کردن ماده اطراف بین و ترکیب آن‌ها با چرخش ابزار می‌شود. همچنین با چرخش ابزار، مواد از جلوی بین به پشت آن منتقل می‌شوند. نتیجه این فرایند یک اتصال در حالت جامد است [۲]. جوشکاری همزن اصطکاکی بیشترین پیشرفت را در طول یک دهه داشته است، چرا که این فرایند دارای راندمان انرژی

بالا، پاک و سازگار با محیط زیست است. در مقایسه با روش‌های مرسوم جوشکاری، در این روش مصرف انرژی به مقدار قابل توجهی کمتر است، گاز و پودر پوششی احتیاج ندارد در نتیجه محیط کار مطلوبی را ایجاد می‌کند. در روش جوشکاری همزن اصطکاکی متغیرهای متعددی تاثیرگذار هستند که یکی از مهمترین آن‌ها هندسه ابزار می‌باشد [۳ و ۴]. ابزار دارای دو وظیفه اولیه است: الف) گرمای موضعی (ب) جریان ماده. نخستین نتیجه بعد از وارد کردن ابزار در قطعه کار ایجاد گرما در اثر اصطکاک بین بین و قطعه کار است. دومین وظیفه ابزار، اغتشاش و سیلان ماده است. در صورت عدم وجود اغتشاش و حرکت کافی ماده عیوبی همچون تونلی شکل، حفره، لوله‌ای و همچنین عدم اتصال مناسب اتفاق می‌افتد، که یکی از دلایل اغتشاش و حرکت ناکافی ماده هندسه بین می‌باشد [۵]. به همین دلیل هندسه‌ی ابزار مورد توجه و پیشرفت قرار گرفته است. افزایش استانداردهای کیفیت در صنعت نیاز به ابزارهای اندازه‌گیری پیشرفته‌تری دارد. جوش و اتصالات جوشی به طور گسترده‌ای در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورق آلیاژ آلومینیوم ۱۰۵۰ اولیه (درصد وزنی).

نوع عنصر	B	Zn	Cr	Mg	Mn	Fe	Cu	Si	Al
درصد	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۳	۰/۳۵	۶/۰۳	۰/۵	۰/۱	۰/۳	باقیمانده

بررسی‌های ریزساختاری با میکروسکوپ استریوگرافیک (نیکون مجهز به دوربین دیجیتال) و میکروسکوپ نوری (اولمپیوس GX51) انجام گرفت. همچنین از توموگرافی اشعه ایکس مدل ۳- D microtomograph Nanotom 180 ساخت کشور آلمان جهت کنترل کیفیت و بررسی عیوب موجود در منطقه اتصال استفاده گردید. در شکل (۲) تصویری از نمونه تهیه شده جهت توموگرافی اشعه ایکس ارائه شده است.



شکل ۱- ابزار جوشکاری همزن اصطکاکی با هندسه پین، الف) مثلثی شکل پین رزوه‌دار - شانه همراه با انحنا ب) ستاره‌ای شکل بدون رزوه - شانه بدون انحنا ج) پین بدون رزوه - شانه همراه با انحنا.

نتایج و بحث

شکل (۳) تصاویر سطح مقطع جوش‌های حاصل از فرایند جوشکاری همزن اصطکاکی با استفاده از ابزارهای با هندسه پین متفاوت را در بزرگنمایی پایین نشان می‌دهد. همانطور که در تصاویر می‌توان

توموگرافی اشعه ایکس، روشی است که می‌توان از آن برای مشاهده ساختار داخلی مواد استفاده کرد. در فرم کلاسیک، این روش غیرمخرب با استفاده از تصاویر رادیوگرافی دو بعدی از یک نمونه برای بازسازی نقشه سه بعدی ماده استفاده می‌کند. با توجه به در دسترس بودن منابع اشعه ایکس سینکروترون جدید و آشکار سازهای جدید، می‌توان تصاویر سه بعدی بازسازی شده با وضوح مکانی نزدیک به ۱ میکرومتر را بدست آورد [۶]. کاربردهای جدید این روش شامل اندازه‌گیری توزیع عیوب و همچنین مشاهده در جای میکروتراک‌ها در کامپوزیت‌ها می‌باشد [۷]. با این وجود توموگرافی اشعه ایکس می‌تواند برای تجزیه و تحلیل عیب/تخلخل در جوش مورد استفاده واقع شود.

در این پژوهش جهت جوشکاری ورق‌های آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ با روش همزن اصطکاکی از سه ابزار که هندسه پین آن‌ها متفاوت بود، استفاده شد. پس از ایجاد اتصال، ساختار منطقه جوش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. همچنین از توموگرافی اشعه ایکس دو بعدی و سه بعدی جهت بررسی عیوب در داخل منطقه جوش استفاده شد.

روش تحقیق

در این پژوهش ورق‌های آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ به ضخامت ۶ میلی‌متر با ترکیب شیمیایی نشان داده شده در جدول (۱) به عنوان فلز پایه جهت جوشکاری مورد استفاده قرار گرفتند. ورق‌ها قبل از استفاده با ابعاد $130 \times 100 \text{ mm}^2$ بریده شده، سپس از دو ضلع گونیا شدند تا در حین جوشکاری اتصال لب به لب کامل ایجاد شود. جهت حذف لایه‌های اکسیدی و چربی‌زدایی، ابتدا سطوحی که قرار بود جوشکاری شوند با سنباده نرم صیقل داده شده و با استون و الکل کاملاً تمیز شدند. در این تحقیق، از سه ابزار از جنس فولاد گرم کار H13 با هندسه‌های پین متفاوت جهت جوشکاری همزن اصطکاکی استفاده شد (شکل ۱). این سه هندسه عبارتند از: الف - مثلثی شکل با پین رزوه شده و شانه همراه با انحنا داخلی،

ب - ستاره‌ای شکل شانه بدون انحنا داخلی و ج - ستاره‌ای شکل شانه همراه با انحنا داخلی. قابل ذکر است که زاویه انحنای داخلی ۸ درجه بود. ابزارهای مورد استفاده قبل از انجام فرآوری سخت‌کاری حرارتی شده و میزان سختی آن‌ها به حدود ۶۰ راکول C افزایش یافت. همچنین قطر شانه و ارتفاع پین در همه ابزارهای طراحی شده یکسان بود. ارتفاع پین براساس عمق موثر مورد نیاز ۵/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله بعد با انجام روش جوشکاری همزن اصطکاکی در سرعت‌های چرخشی و انتقالی به ترتیب 1000 rpm و 28 mm/min با سه نوع پین طراحی شده، اتصال ایجاد شد.

برای تسهیل در پیشروی ابزار بر روی ورق، ماشین به گونه‌ای تنظیم شد تا ابزار نسبت به ورق زاویه ۸۷ درجه داشته باشد. از اتصالات ایجاد شده نمونه‌های جهت بررسی‌های ریزساختاری تهیه شد.

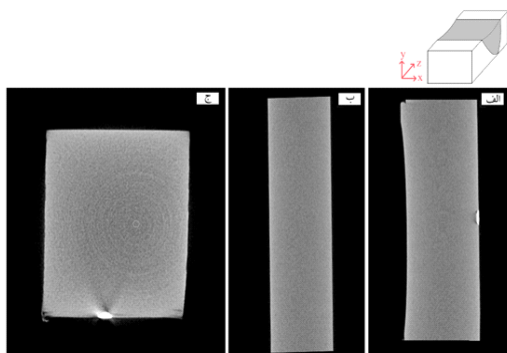
به عبارتی به نظر می‌رسد که فقط اتصالی که با ابزار با پین مثلی شکل (رزوه‌دار و شانه همراه با انحنای داخلی) ایجاد شده بدون عیب بوده و دارای کیفیت بالایی می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد علاوه بر سرعت‌های انتقالی و چرخشی، هندسه ابزار نیز تاثیر بسیار زیادی بر روی کیفیت جوش در این روش جوشکاری دارد. کم بودن گرمای ورودی (گرمای ایجاد شده بوسیله اصطکاک بین ابزار و قطعه کار) و به تبع آن عدم جریان کافی مواد می‌تواند دلیل اصلی ایجاد عیب تونلی در پایین منطقه اتصال باشد. به عنوان یک نتیجه می‌توان بیان کرد استفاده از ابزار مثلی شکل می‌تواند گرمای کافی جهت اغتشاش و جریان مواد را ایجاد کند که این جریان کافی منجر به ایجاد اتصال بدون عیب خواهد شد.

مشاهده نمود جوشکاری و ایجاد اتصال با روش همزن اصطکاکی باعث شده تا دانه‌های کشیده شده اولیه (ساختار نوردی) در منطقه جوش به دانه‌های بسیار ریز هم‌محور تبدیل شوند.

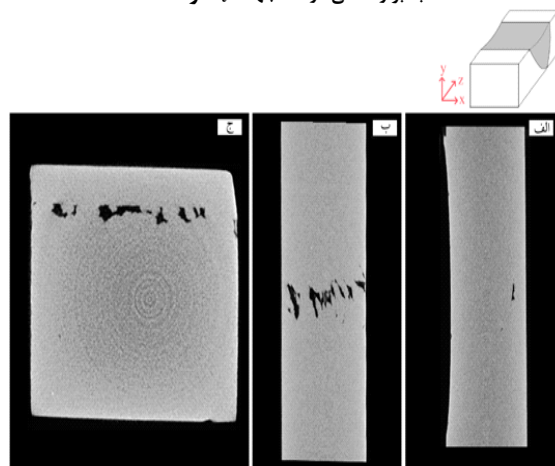


شکل ۲- نمونه آزمایش توموگرافی اشعه ایکس

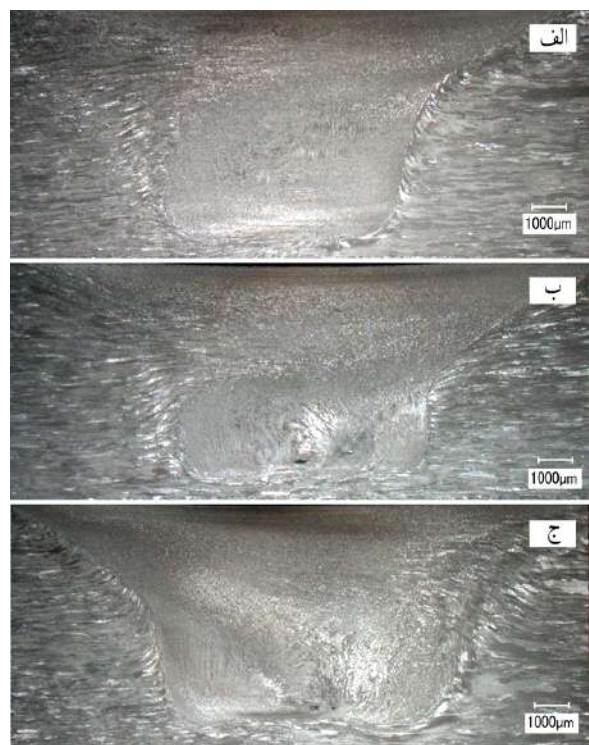
تغییر شکل پلاستیک شدید و تبلور مجدد دینامیکی انجام گرفته با فرایند هم‌زدن با ابزار چرخان دلیل ریز شدن ساختار منطقه جوش در هر سه نمونه می‌باشد. در حقیقت در طی فرایند جوشکاری یک رقابت بین اصلاح دانه و بازیابی ریزساختار کار سرد شده قبلی وجود دارد. اصلاح دانه‌ها به احتمال خیلی زیاد از طریق اصلاح دانه‌های فرعی ریز بر پایه مرتب شدن دوباره نابجایی‌ها صورت می‌گیرد. با این حال همانطور که در شکل (۳-ب و ۳-ج) دیده می‌شود در قسمت پایینی منطقه هم‌زده (منطقه جوش) عیب تونلی مشاهده می‌شود.



شکل ۴- آنالیز توموگرافی اشعه ایکس برای اتصال ایجاد شده با ابزار مثلی در سه جهت x ، y و z .



شکل ۵- آنالیز توموگرافی اشعه ایکس برای اتصال ایجاد شده با ابزار ستاره ای شکل شانه بدون انحنای داخلی در سه جهت x ، y و z .



شکل ۳- درشت ساختار استریوگرافیک از مقطع ضخامت نمونه‌های جوشکاری شده با پین‌های مختلف

الف- مثلی شکل پین رزوه‌دار - شانه همراه با انحنای داخلی - ستاره‌ای شکل بدون رزوه - شانه بدون انحنای داخلی و ج) پین بدون رزوه - شانه همراه با انحنای داخلی.

در شکل‌های (۴ تا ۶) آنالیز توموگرافی اشعه ایکس اتصالات ایجاد شده با پین‌های مختلف، در سه جهت x ، y و z ارائه شده است. تصاویر حاصل از آنالیز توموگرافی اشعه ایکس در سه جهت نشان می‌دهد که اتصال حاصل از ابزار با پین مثلی شکل، اتصال سالم و بدون عیبی بوده است. از آنجایی که بررسی و تفسیر عیوب فقط با

می توان بیان نمود که اصطکاک بین قطعه کار و پین در پین های رزوه دار بیشتر بوده که در نتیجه آن گرما بیشتر و در نهایت منجر به سرعت بیشتر و کیفیت بالاتر خواهد شد. از طرفی وجود انحنای مقعر در شانه ابزار باعث می شود که مواد در محل زیر انحنا قرار گرفته و به محل های خالی کنار شانه کشیده شده و سپس لبه های ابزار نیروی فشاری لازم را بر روی جوش اعمال می نمایند [۲۷ و ۲۸] که در نتیجه آن کیفیت جوش بهتر می شود.

نتیجه گیری

در این پژوهش ورق های آلومینیوم ۶۰۶۱ با استفاده از فرایند همزن اصطکاکی با سه ابزار مختلف که شکل پین آن ها متفاوت بود، اتصال داده شدند. سپس از توموگرافی اشعه ایکس جهت بررسی کیفیت و سالم بودن جوش استفاده شد. مهمترین یافته های پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- اتصال حاصل از ابزار با پین مثلثی شکل، اتصالی سالم و بدون عیب بود که با توجه به یکسان بودن سرعت های چرخشی و انتقالی می توان بیان کرد که هندسه ابزار تاثیر بسیار زیادی بر روی کیفیت جوش در روش جوشکاری همزن اصطکاکی دارد.

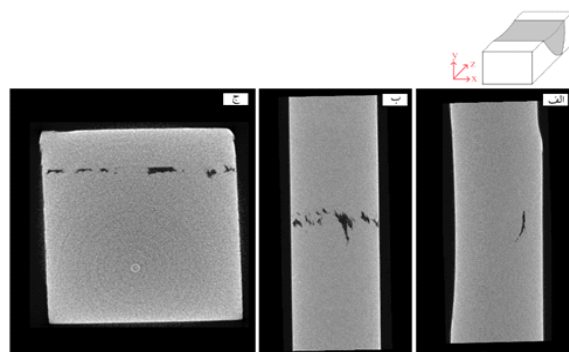
- استفاده از ابزار با پین ستاره ای شکل هم با انحنای داخلی شانه و هم بدون انحنای داخلی شانه ابزار نمی تواند گرمای کافی جهت اغتشاش و جریان مواد را ایجاد کند که این منجر به ایجاد عیب تونلی در ریشه جوش خواهد شد.

- توموگرافی اشعه ایکس قابلیت بسیار بالایی به عنوان یک روش غیرمخرب جهت بازرسی کیفیت اتصالات جوشی و تجزیه و تحلیل عیوب دارد. بنابراین، این روش فرصت های جدیدی را به مهندسان جوش جهت ارزیابی و کنترل کیفیت اتصالات جوشی می دهد.

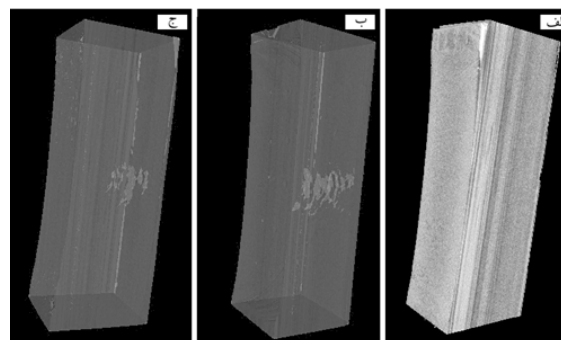
منابع

- 1- W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needham, M. G. Murch, P. Temple-Smith, and C. J. Dawes, "Friction stir welding", International Patent Application PCT/GB92/02203 and GB Patent Application 9125978.8, UK Patent Office, London, 1991.
- 2-I. Charit, and R. S. Mishra, "High strain rate superplasticity in a commercial 2024 Al alloy via friction stir processing", Materials Science and Engineering A, Vol. 359, pp. 290-296, 2003.
- 3-Badarinarayan, H., Q. Yang, and S. Zhu. "Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot-welded aluminum alloy." International Journal of Machine Tools and Manufacture 49, no. 2 (2009): 142-148.
- 4-Chen, Y. C., and K. Nakata. "Effect of tool geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir lap welded magnesium alloy and steel." Materials & Design 30, no. 9 (2009): 3913-3919.
- 5- R. S. Mishra, and Z. Ma, "Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering: R: Reports, Vol. 50, pp. 1-78, 2005.
- 6- Liu, Tao, Xiao-ning Zhang, Zhi Li, and Zhou-quan Chen. "Research on the homogeneity of asphalt pavement quality using X-ray computed

آنالیز دو بعدی ممکن است گمراه کننده باشد. لذا از آنالیز توموگرافی اشعه ایکس سه بعدی نیز برای بررسی اتصالات استفاده شده که نتایج آن در شکل (۷) ارائه شده است. همانطور که در شکل (۷-الف) مشاهده می شود برای اتصال حاصل از ابزار مثلثی در آنالیز سه بعدی هم عیبی مشاهده نمی شود. با این وجود علیرغم اینکه ظاهر همه جوش ها بسیار مناسب و بدون عیب بود، در شکل های (۵ و ۶) و هم در شکل (۷-ب و ۷-ج) می توان دید که اتصالات حاصل از ابزارهای ستاره ای دارای دانسیته ی بالایی از عیوب در قسمت پایین (ریشه جوش) منطقه همزده هستند.



شکل ۶. آنالیز توموگرافی اشعه ایکس برای اتصال ایجاد شده با ابزار ستاره ای شکل شانه همراه با انحنای داخلی در سه جهت x ، y و z .



شکل ۷- آنالیز توموگرافی اشعه ایکس سه بعدی اتصال ایجاد شده با،
الف - ابزار با پین مثلثی شکل،
ب - ابزار با پین ستاره ای شکل شانه بدون انحنای داخلی
ج - ابزار با پین ستاره ای شکل شانه همراه با انحنای داخلی.

این نتایج در واقع تایید کننده نتایج حاصل از بررسی های ساختاری با میکروسکوپ نوری می باشد. همچنین قابل مشاهده است که اولاً شکل یا به عبارتی نوع عیب برای هر دو اتصال تقریباً یکسان بوده است اما میزان این عیوب برای اتصال ایجاد شده با ابزار با پین ستاره ای شکل و شانه بدون انحنای داخلی بیشتر می باشد که خود نشان دهنده این است که انحنای داخلی شانه ابزار نیز بر روی جوش حاصل از روش همزن اصطکاکی موثر است. البته قابل ذکر است که به نظر می رسد تشکیل حفره ها به طور مستقیم با اختلاط ناقص مواد در ارتباط است. که این اختلاط ناقص به دلیل عدم وجود سیلان یا جریان کافی مواد در حین فرایند جوشکاری می باشد. بنابراین

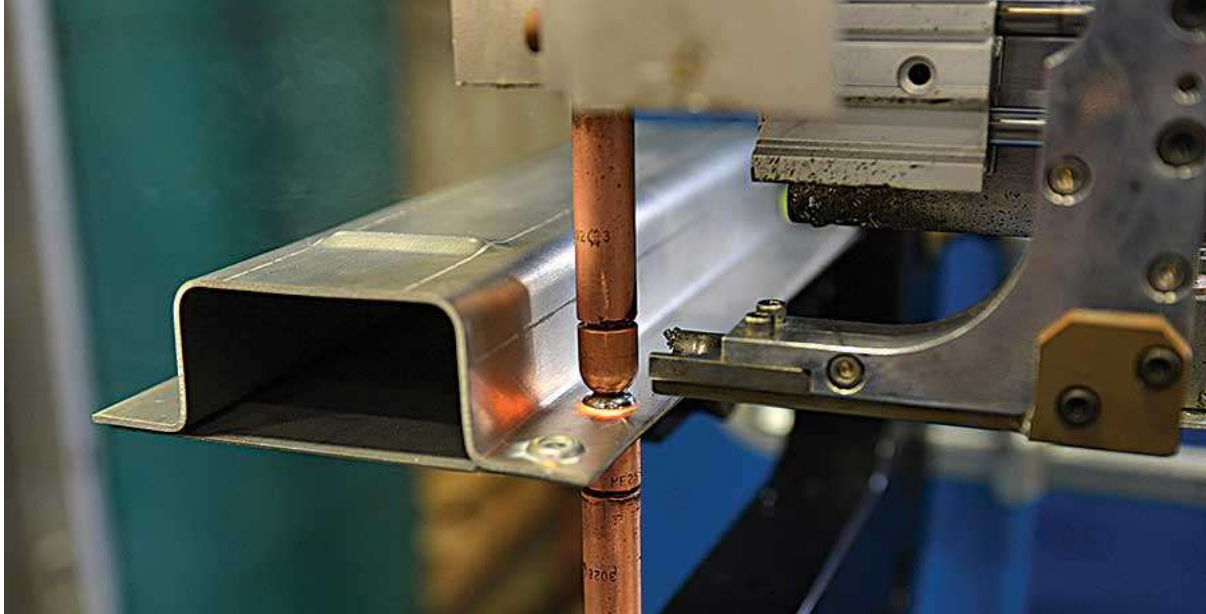
8-T.J. Lienert, W.L. Stellwag, B.B. Grimmett, R.W. Warke. "Friction stir welding studies on mild steel", *Supplied Weld Journal*. (2003): 1-9.
9-M.A. Sutton, A.P. Reynolds, B. Yang, R. Taylor. "Mixed mode I/II fracture of 2024-T3 friction stir welds." *Engineering Fracture Mechanics* 70, no. 15 (2003): 2215-2234.

پی نوشت

مرکز آموزش مهارت‌های فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

D tomography (CT) and fractal theory .
" *Construction and Building Materials* 68 (2014): 587-598.

7-Marrow, T. J., J-Y. Buffiere, P. J. Withers, G. Johnson, and D. Engelberg. "High resolution X-ray tomography of short fatigue crack nucleation in austempered ductile cast iron." *International journal of fatigue* 26, no. 7 (2004): 717-725.



بررسی اثر پارامترهای جوشکاری بر روی خواص مکانیکی و میکرو ساختار جوش مقاومتی نقطه‌ای در اتصال غیر مشابه فولاد St37 و آلومینیوم Al 6061-T8

هادی امانی نیا^۱، امیر حسین میثمی^۲، علی اصغر فروغی فر^۳

چکیده

فرآیند جوشکاری نقطه‌ای غیر هم جنس Al 6061-T8/St52 مشابه فرایند جوشکاری نقطه‌ای می‌باشد ولی با توجه به اینکه ورق‌های مورد جوشکاری از دو جنس مختلف بوده شرایط جوشکاری کمی تغییر می‌کند. با توجه به خواص فیزیکی متفاوت، مانند ضریب انتقال حرارت بالای آلومینیوم، جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای آن سخت تر می‌گردد. جوشکاری دو لایه‌ای ورق فولادی و آلومینیومی امکان پذیر است ولی دارای خواص مکانیکی بسیار پایینی می‌باشد. به طوری که در کاربردهای صنعتی از این نوع اتصال استفاده نمی‌شود. بنابراین در این پروژه از روش جوشکاری نقطه‌ای با روش سه لایه استفاده شد. این بدان معناست که ورق آلومینیومی در بین دو لایه ورق فولادی قرار می‌گیرد و مشکلات جوشکاری دو لایه‌ای غیر هم جنس را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای، غیر هم جنس، ضریب انتقال حرارت، خواص فیزیکی، روش سه لایه.

مقدمه

جوشکاری مقاومتی از جمله روش‌های اتصال قطعات فلزی به یکدیگر است و جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای ساده‌ترین و پرکاربردترین نوع جوشکاری مقاومتی است که بر روی ورق‌های نازک انجام می‌شود. این روش در صنایع خودروسازی، نظامی و لوازم خانگی کاربرد فراوان دارد. این روش در اتصال قطعات بدنه خودرو و هواپیما مهم‌ترین روش جوشکاری به شمار می‌رود. از این رو توجه به کیفیت جوش، اهمیت ویژه‌ای در استحکام نهایی سازه دارد. نظر به اینکه شکل، اندازه و استحکام دگمه جوش تشکیل شده از مهم‌ترین عوامل در استحکام قطعات جوش داده شده می‌باشد [۱-۳]. از این رو لازم است پارامترهایی که بر شکل، اندازه و استحکام دگمه جوش تأثیرگذار هستند به طور مناسبی تنظیم شده باشند. این متغیرها یا پارامترها عبارت‌اند از:

- شدت جریان الکتریکی
- مدت زمان اعمال جریان
- شکل هندس
- جنس الکتروود
- در روش جوشکاری نقطه‌ای، دو ورق فلزی مورد نظر تحت نیروی فشاری وارده بر آن‌ها، به یکدیگر فشرده می‌شوند. از طرف دیگر مقاومت الکتریکی ورق‌ها در مقابل جریان الکتریکی عبوری از آن‌ها، موجب بالا رفتن دمای ورق‌ها، به خصوص در ناحیه تماس شده و حوضچه مذاب در ناحیه تماس ورق‌ها با همدیگر شکل می‌گیرد [۲].
- انواع روش‌های جوشکاری مقاومتی:
- جوشکاری نقطه‌ای
- جوشکاری درزی
- جوشکاری برجسته
- جوشکاری سربه‌سر فشاری
- جوشکاری سربه‌سر لحظه‌ای

مهم‌ترین متغیرهای فرایند **RSW**، جریان جوشکاری، زمان

- جنس قطعه
- ضخامت قطعه
- میزان نیروی وارد شده از الکتروودهای دستگاه جوش بر روی قطعه

جوشکاری، نیروی الکتروود و زمان نگهداری الکتروود پس از قطع جریان می باشد. فرایند جوشکاری نقطه‌ای غیرهم جنس **Al/St** نیز فرایند مشابه را دارد ولی با توجه به اینکه ورق‌های مورد جوشکاری از دو جنس مختلف می باشند شرایط جوشکاری کمی تغییر می کند. برای جوشکاری نقطه‌ای فولادهای ساده کربنی، مشکلی وجود ندارد ولی در مورد جوشکاری ورق‌های آلومینیومی، با توجه به خواص فیزیکی متفاوت همچون ضریب انتقال حرارت بالای این فلز، جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای آن سخت تر می شود. ضریب انتقال حرارت آلومینیوم ده ها برابر بالاتر از فولاد می باشد با وجود اینکه جوشکاری دولا یه‌ای ورق فولادی و آلومینیومی امکان پذیر است ولی دارای خواص مکانیکی بسیار پایینی می باشد. به طوری که استحکام آن غیر قابل اطمینان می شود. بدین جهت در کاربرد صنعتی از این نوع اتصال استفاده نمی شود؛ برای رفع این مشکل از جوشکاری نقطه‌ای با روش سه لایه استفاده می شود. به طوری که یک ورق اضافی از جنس فولاد با ابعاد کوچک تر در پشت ورق آلومینیومی هنگام جوش استفاده می شود، این بدان معناست که ورق آلومینیومی در بین دولا یه ورق فولادی قرار می گیرد و این مشکلات جوشکاری دولا یه‌ای غیرهم جنس را کاهش می دهد [۴].

در این فرایند ورق آلومینیومی به نقطه ذوب خود در حین جوشکاری می رسد و بین دو لایه فولادی حبس شده و طی مدت زمان بسیار کوتاه منجمد می شود. ترکیبات بین فلزی در فصل مشترک لایه آلومینیومی و فولادی تشکیل می شود که این ترکیبات پس از انجماد باعث استحکام اتصال می شوند. در این فرایند حداقل ۹ مقاومت وجود دارد و این مکانیزم تشکیل دگمه جوش را کمی پیچیده تر می کند ولی کلیات مکانیزم تشکیل دگمه جوش تقریباً مشابه فرایند جوشکاری دو لایه می باشد. شکل (۱) شماتیکی از فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای غیرهم جنس **Al/St** با روش سه لایه را نشان می دهد.

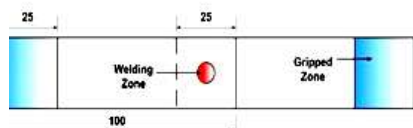
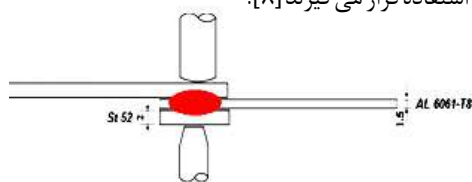
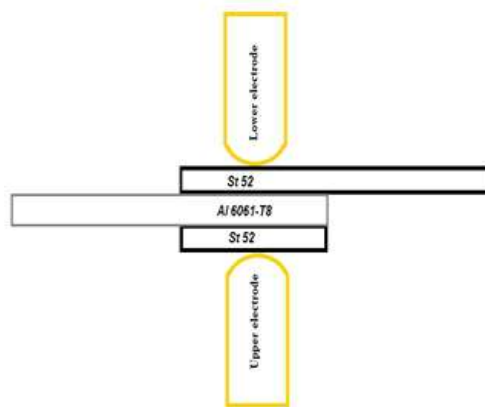
ورق **St52** یک ورق فولاد کربنی ساده با استحکام مناسب با سازه‌های مهندسی با قابلیت جوشکاری، ماشین کاری و برش کاری است. ورق سیاه **St52** دارای حدود ۰٫۲ درصد کربن، ۰٫۵۵ درصد سیلیس و ۱٫۶ درصد منگنز می باشد که خاصیت مقاومت به خمش و خواص ارتجاعی خود را مرهون عنصر **Mn** است [۶].

عملیات جوشکاری و متغیرهای جوشکاری

با توجه به استفاده از لایه واسطه در این روش، قطعاتی در ابعاد 25×25 میلیمتر از ورق **St 52** برشکاری گردید. در نهایت فرایند جوشکاری مطابق جدول (۱) در ۲۷ آیتم، اجرا گردید. جوشکاری با دستگاه جوش نقطه‌ای ثابت با توان **100 KVA** با توان فشاری ۵ بار انجام شد.

ابعاد نمونه‌های جهت آزمون کشش در شکل (۲) نشان داده شده است که مطابق با استاندارد [۷] **AWS C1.1M/C1.1:2012** نمونه‌سازی گردیده. بر اساس استانداردهای **AWS** الکتروود استفاده شده در جوشکاری از جنس آلیاژ مس - کروم و شکل آن به صورت مخروط سرزده، با قطر تماس ۶ میلیمتر و سرعت خنک کاری ۸ لیتر بر دقیقه می باشد. الکتروود مورد نظر از کلاس ۲ است که در جوشکاری فولادهای کم کربن، نورد سرد شده و فولادهای زنگ نزن مورد استفاده قرار می گیرند [۸].

شکل ۱- شماتیک فرایند جوشکاری سه لایه.



شکل ۲- شماتیک فرایند جوشکاری و ابعاد قطعات.

آزمون کشش

آزمون کشش با دستگاه **Santam-SCT-30** و با سرعت نیم

بنابراین این پژوهش به منظور بررسی جامع تر جوش پذیری، رفتار مکانیکی و رفتار شکست در اتصال ناهم جنس فولاد **St 52** و **6061Al-T8** انجام شده است.

میلیمتر بر دقیقه و در دمای محیط انجام شد. (در شکل های ۳ و ۴ به ترتیب آزمون کشش و نمودار آزمون کشش به نمایش گذاشته شده است).



شکل ۳- نمونه جوشکاری شده تحت آزمون کشش



شکل ۴- نمودار تنش و کرنش نتایج آزمون کشش

بیرونی از جنس فولاد **St 52** و لایه قسمت مابین از آلومینیوم **T8-6061** می باشد، مطابق با دیاگرام فازی آلومینیوم [۱۰] و با آنالیز ساختار در قسمت جوش مشخص گردید که لایه ایجاد شده در سمت آلومینیوم $FeAl_3$ و لایه ایجاد شده در سمت فولاد Fe_2Al_5 می باشد جدول شماره (۲) نتایج آنالیز لایه های جوش را نمایش می دهد.

جدول ۱- متغیرهای جوشکاری و نتایج آزمون کشش

شماره قطعه	زمان (Cycle)	فشار (Pa)	جریان (KA)	استحکام نهایی (MPa)
۱	۱۲	۲۵۰	۷۵	۲۶۰
۲	۱۳	۲۵۰	۷۵	۱۹۰
۳	۱۴	۲۵۰	۷۵	۲۴۰
۴	۱۲	۲۷۰	۷۵	۲۶۰
۵	۱۳	۲۷۰	۷۵	۲۵۰
۶	۱۴	۲۷۰	۷۵	۱۲۹
۷	۱۲	۲۸۰	۷۵	۲۶۰
۸	۱۳	۲۸۰	۷۵	۲۱۵
۹	۱۴	۲۸۰	۷۵	۲۱۰
۱۰	۱۲	۲۵۰	۸۰	۲۱۵
۱۱	۱۳	۲۵۰	۸۰	۲۶۰
۱۲	۱۴	۲۵۰	۸۰	۲۳۰
۱۳	۱۲	۲۷۰	۸۰	۱۶۷
۱۴	۱۳	۲۷۰	۸۰	۲۲۰
۱۵	۱۴	۲۷۰	۸۰	۲۱۵
۱۶	۱۲	۲۸۰	۸۰	۱۷۳
۱۷	۱۳	۲۸۰	۸۰	۲۰۵
۱۸	۱۴	۲۸۰	۸۰	۲۴۰
۱۹	۱۲	۲۵۰	۸۵	۱۷۳
۲۰	۱۳	۲۵۰	۸۵	۲۲۵
۲۱	۱۴	۲۵۰	۸۵	۱۹۵
۲۲	۱۲	۲۷۰	۸۵	۲۳۰
۲۳	۱۳	۲۷۰	۸۵	۲۴۵
۲۴	۱۴	۲۷۰	۸۵	۲۳۰
۲۵	۱۲	۲۸۰	۸۵	۲۲۵
۲۶	۱۳	۲۸۰	۸۵	۲۲۰
۲۷	۱۴	۲۸۰	۸۵	۲۳۰



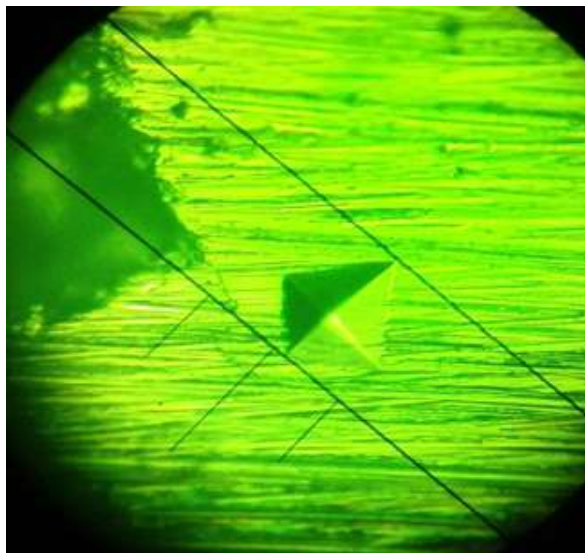
شکل ۵- دستگاه میکروسکوپ نوری جهت بررسی ریزساختار

بررسی های ریزساختار

مراحل آماده سازی نمونه جهت مشاهده ریزساختار با میکروسکوپ نوری شامل مانت کردن نمونه، سنباده زنی، صیقلی کردن، اچ کردن مانت و در نهایت بررسی میکروسکوپی است. نمونه ها پس از مانت کردن و سنباده زنی و صیقلی کردن توسط محلول های نایتال ۳٪ اچ شده و ریزساختارشان توسط میکروسکوپ نوری مشاهده شده است (دستگاه میکروسکوپ استفاده شده در این پروژه در شکل (۵) نشان داده شده است) [۹].

در نمونه متالوگرافی شده، فصل مشترک جوش آلومینیوم و فولاد با بزرگنمایی ۱۰ برابر زیر میکروسکوپ نوری مشاهده گردید (شکل ۶) که عاری از هرگونه عیوب و ناخالصی جوشکاری می باشد (شکل ۷) نمای برش خورده جوش با شدت جریان ۷۵kA را نمایش می دهد.

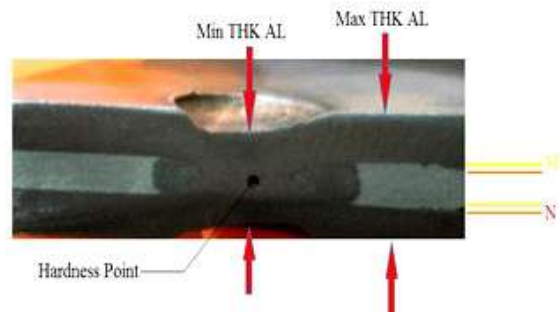
ضخامت جوش در مرکز ناگت جوش به کمترین مقدار خود رسیده با توجه به این مسئله که ضخامت لایه آلومینیوم در این منطقه به کمترین مقدار خود رسیده است و به طور کامل آلومینیوم و فولاد در این قسمت کاملاً ذوب شده و در یکدیگر مخلوط گردیده اند. هرچقدر از مرکز نقطه جوش به سمت طرفین حرکت می کنیم ضخامت لایه آلومینیوم افزایش پیدا کرده است. مطابق با شکل فوق دو لایه قسمت



شکل ۸- تصویر سختی سنجی در مرکز ناگت جوش



شکل ۶- تصویر متالوگرافی مرکز جوش



شکل ۷- تصویر برش خورده ناگت جوش

جدول ۲- نتایج آنالیز لایه‌های جوش

Location	Fe%	Al%
M	22.80	77.20
N	29.10	70.90

میکرو سختی ناگت جوش

به منظور تعیین سختی دگمه جوش سختی سنجی ویکرز در راستای محدوده جوش داده شده صورت گرفته است.

این آزمون با استفاده از دستگاه **Micro Hardness Tester** مدل **HV-1000B** انجام شده. نتایج آزمون سختی سنجی پنج نمونه از قطعات در جدول شماره (۳) ارائه گردیده است. شکل (۸) سختی سنجی در مرکز ناگت جوش آلومینیوم و فولاد را نمایش می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون سختی سنجی

Spec.No.	Time (Cycle)	Force (Pa)	Currant (KA)	HV 10
1	12	250	75	445
12	14	250	80	447
14	13	270	80	440
23	12	270	85	456
25	12	280	85	422

نتایج

در این تحقیق به مطالعه ریزساختار، سختی و مقاومت کششی اتصال جوش مقاومت نقطه‌ای غیرهم‌جنس **Al/St** و تأثیر پارامترهای جریان، زمان و نیروی الکتروود دستگاه جوش مقاومت نقطه‌ای پرداخته شده که نتایج زیر حاصل گردید:

- با استفاده از فرایند جوشکاری نقطه‌ای و روش جوشکاری سه لایه بطوری که یک ورق اضافی از جنس فولاد با ابعاد کوچک‌تر در پشت ورق آلومینیومی هنگام جوش استفاده می‌شود و مشکلات جوشکاری دولا‌ی‌ای غیرهم‌جنس را کاهش داده و نقطه جوش ایجاد شده دارای کیفیت و همچنین ظاهر بسیار مناسبی می‌باشد.

- مقدار شدت جریان الکتریکی دستگاه نقطه جوش بیشترین تأثیر را در استحکام جوش و مقاومت کششی جوش نقطه‌ای دارد و جریان ۷۵ کیلو آمپر سبب افزایش بیشترین مقدار مقاومت کششی شده و با افزایش و یا کاهش بیشتر جریان مقدار مقاومت کششی اتصال کاهش می‌یابد. تأثیر زمان بر مقاومت کششی اتصال کمتر بوده و افزایش زمان افزایش مقاومت کششی را در برداشته و زمان ۱۲ سیکل بهترین نتیجه را در برداشته، ولی افزایش فشار باعث کاهش مقاومت کششی اتصال می‌شود و مقدار فشار ۲۷۰ پاسکال بهترین نتیجه را در برداشته است.

- قطر ناگت جوش با افزایش شدت جریان رشد کرده و ثابت می‌ماند و در مقادیر بیشتر شدت جریان معکوس شده و با افزایش شدت جریان با کاهش قطر مواجه می‌گردیم و این موضوع نسبت مستقیم با قطر الکتروود جوشکاری دارد.

- مقدار سختی به دست آمده با توجه به حضور اکسیژن در زمان اجرا جوشکاری و وارد شدن آن به حوضچه مذاب و ترکیب شدن آن با آلومینیوم تشکیل فاز سخت شونده داده و سختی را در این منطقه افزایش داده است.

of intermetallic compounds in dissimilar material resistance spot welded joint of high strength steels and aluminum alloy, *ISI International*, 2011, 51, (11), 1870-1877.

4- Md Tahir, Md Hadzley B.A. Bakar, "Characteristics of Aluminum-to-Steel Joint Made by Friction Stir Welding: A Review", *Materials Today Communications*, 2015.

5- مهدیه شبان سمنانی "بررسی خواص مکانیکی آلیاژ ۶۰۶۱ در حین سیکل پخت رنگ و شبیه سازی با نرم افزار MatcAlc" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه سمنان سال ۱۳۹۲.

6-DIN17100:St52-3, JIS:SS490/SM490A, BS:50B and UNI7070:Fe510B.

7-American National Standard, Weld button criteria, recommended practice for test methods for evaluating the resistance spot welding (AWS C1.1M).

8-AWS C1.5:2015, Specification for the Qualification of Resistance Welding Technicians

9-ASTME381 - 17 Standard Method of Macro etch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings.

10- Shahverdi H R, Ghomanshchi M R, Shabestari S, et al. Microstructure analysis of interfacial reaction between molten aluminium and solid iron [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 124 (6): 345-352.

پی نوشت

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان
- 2- استادیار گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان
- 3- مربی گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان

نتیجه گیری و جمع بندی

با استفاده از فرایند جوشکاری نقطه‌ای و روش جوشکاری سه لایه، مشکلات جوشکاری دولا یه‌ای غیرهم جنس را کاهش داده و نقطه جوش ایجاد شده دارای کیفیت و همچنین ظاهر بسیار مناسبی می‌باشد که دارای ترکیبی از خواص مکانیکی آلومینیوم و فولاد است. با توجه به بالا بودن سختی منطقه جوش، شکست زودتر از موعد انتظار اتفاق می‌افتد که راهکارهایی در خصوص کاهش سختی و بالا بردن استحکام جوش همچون پیش گرم کردن قطعه قبل از فرایند جوشکاری، محافظت منطقه جوش در زمان جوشکاری و همچنین انجام فرایند تنش زدایی در خصوص پروژه فوق مدنظر می‌باشد. مقدار شدت جریان الکتریکی دستگاه نقطه جوش بیشترین تأثیر را در استحکام جوش و مقاومت کششی جوش نقطه‌ای دارد با استفاده از شدت جریان ۷۵ کیلو آمپر و زمان ۱۲ سیکل بیشترین مقدار مقاومت کششی برابر با ۲۶۰ Mpa ثبت گردید.

منابع

- 1-Ranfeng Qiu, Shinobu Satonaka, Chihiro Iwamoto, Effect of interfacial reaction layer continuity on the tensile strength of resistance spot welded joints between aluminum alloy and steels, *Materials and Design*. 30 (2009) 3686-3689.
- 2-Nan Wang, Tomiko Yamaguchi and Kazumasa Nishio, Interfacial microstructure and strength of aluminum alloys/steel spot welded joints, *J. Japan Inst. Met. Mater.* 2013, 77(7), 259-267.
- 3- Weihua Zhang, Daqian Sun, Lijun Han, Wenqiang Gao and Xiaoming Qiu, Characterization



بررسی جوش پذیری فولاد گالوانیزه جدید استحکام بالای پیشرفته دو فازی (DP) بدنه خودرو به روش جوشکاری مقاومتی نقطه ای

ایمان حاجیان نیا، اصغر اسماعیلی، بهمن چشفر، غلامرضا امینی

چکیده

در این پژوهش جوش پذیری، ریزساختار و آنالیز شکست فولاد توسعه یافته استحکام بالای پیشرفته دو فازی (DP) بدنه خودرو که با آنالیز شیمیایی و عملیات ترمومکانیکی خاص تولید شده بود و توسط جوشکاری مقاومتی نقطه ای انجام گرفته بود مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا ورق فولادی آلیاژ سازی و ریخته گری شد و سپس جوش ها با بررسی های ریزساختاری میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM و آزمایش های مکانیکی ارزیابی شد. ریزساختار فولاد مورد مطالعه شامل زمینه فریت همراه فاز سخت مارتنزیت را نشان داد. ریز ساختار جوش کاملاً مارتنزیتی و با حالت لایه ای بود. مشخص شد در اطراف منطقه جوش چند ناحیه متأثر از حرارت وجود دارد همانطور که ناحیه متأثر از حرارت HAZ-1، دمایی کمتر از دمای شروع استحاله فازی را تجربه می کند و حداکثر حرارت تا زیر A_{c1} می رسد. HAZ-2 در این ناحیه دما بین A_{c1} - A_{c3} قرار دارد و استحاله فریت و آستنیت اتفاق می افتد. ناحیه ریزدانه و درشت دانه فولاد DP در HAZ-3 دارای دمایی کمتر از ذوب بوده و تا دمای A_{c3} می رسد. آنالیز شکست جوش ها نشان داد، تنشهای خمشی منجر به کشیده شدن تکه های فلز جوش و باقی ماندن این تنشها درون آن می شود. بنابر این شکست می تواند بصورت برشی در راستای ضخامت فلز جوش اتفاق بیفتد. همچنین پارگی می تواند در ایجاد شکست جوش با مکانیزم برش اتفاق بیفتد، بنابر این استحکام برشی فلز پایه بوسیله استحکام جوش کنترل می شود. نتایج شکست نیمه فصل مشترکی با کنده شدن جوش در ورق را نشان داد که بیشتر به دلیل عدم تحمل دکمه جوش و یا ناکافی بودن استحکام آن بود.

کلمات کلیدی: فولادهای زنگ نزن، فلز پرکننده، جوشکاری غیرمشابه، $316Ti$ ، ۲۲۰۵ .

مقدمه

با توجه به اینکه استفاده از فولادهای استحکام بالای پیشرفته می تواند پاسخی به این چالش ها باشد، بکارگیری این فولادها به واسطه موارد ذکر شده، در صنعت خودرو به عنوان یک برنامه کاربردی در اغلب خودرو سازان دنیا دنبال می شود [۱]. استفاده از این فولادها به خاطر استحکام و چقرمگی بالا، سبب افزایش قابلیت جذب ضربه در حوادث ناشی از رانندگی می شود و این مساوی با حفظ جان سرنشینان و در نهایت سرمایه های انسانی و مالی خواهد شد. به خاطر استحکام بالاتر این فولادها وزن تمام شده خودرو کمتر شده و مصرف سوخت کاهش می یابد که نتیجه آن هوای پاک و محیط سالم تر می باشد [۲]. برای این فولادها نوعی روکش که

عموماً به روی ورق ها در صنعت خودرو سازی استفاده می شوند بنام گالوانیزه هستند که ورق گالوانیزه ضرورتاً حاوی مقدار کمی فلز روی و حدوداً $۰/۳$ تا $۰/۶$ آلومینیوم می باشد. اصطلاح گالوانیزه از محافظت گالوانیکی (جریان برق) می آید که روی برای زیرلایه ی فولادی آماده می کند وقتی که در معرض خوردگی قرار می گیرد. یک روکش گالوانیزه از گرم کردن زیاد فولاد روکش دار روی (گالوانیزه) بین ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سلسیوس (فوراً بعد از خارج کردن فولاد از محلی که در آن روی ذوب شده قرار دارد) به دست می آید. این گرم کردن زیاد به آهن زیرلایه اجازه می دهد تا در روکش نفوذ کند (روکش روی آن را بپوشاند) یکی از روش هایی که روکش کردن روی سطح ورق های فولادی انجام می دهد. در طول یک پروسه عمق

جدول ۱- مشخصات برای انتخاب ماده برای دو منطقه اصلی خودرو.

منطقه	عملکرد	مورد ویژگی نیاز انتخاب برای ماده	علامت لازم ویژگی	با فولادها پتانسیل برای کاربردی منطقه
اتاق سرنشینان	تعبیر هیچگونه شکل نبوده مجاز	استحکام بالا تسلیم	بیشترین در استحکام تنش نمودار کرنش -	با فازی دو استحکام از ۹۸۰ بیشتر متکاپاسکال
مناطق ضربه گیر	جذب قابلیت یک در انرژی بالا کوتاه بازه زمانی تصادف در حین	استحکام و انعطاف پذیری	سطح زیرنمودار تنش - کرنش بالا	دو فولادهای فازی

ویژگی این شکست‌های جوش نقطه‌ای مسیرهای ترک پیچیده از نوک فاق در دکمه‌ی جوش است، که می‌تواند یا در سطح تماس انتشار یابد (شکست فصل مشترکی کامل، FIF)، یا از میان ضخامت ورق انحراف یابد (شکست فصل مشترکی جزئی، PIF). این در نقطه‌ی مقابل (Pullout out) شکست محیطی، معمول تر است و در طول آزمون‌های معمول برای تعیین قابلیت جوش پذیری می‌توان شاهد آن بود [۳ و ۴]. در این پژوهش فرایند تولید و ساخت فولاد DP از یک آلیاژ ویژه و سپس جوش پذیری آن با فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

در این تحقیق فولاد مورد آزمایش با کوره القایی و با کنترل پارامترهای اساسی تولید ریخته‌گری شد، ترکیب شیمیایی این فولاد که به وسیله اسپکتروسکوپی آنالیز شد در جدول (۲) ارائه شده است. شمش بعد از آستنیت‌شدن در کوره به مدت ۱ ساعت و در دمای 1000°C ، با فرایند نورد گرم و طی ۳ پاس به ضخامت ۳ میلی‌متر رسید. سپس ورق‌های نورد گرم شده پس از آنیل به مدت ۱ ساعت در دمای 1000°C در داخل کوره سرد شده و پس از اکسیدزایی مکانیکی و اسیدشویی در محلول اسید کلریدریک تا ضخامت ۱ mm نورد سرد شدند.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده بر اساس (درصد وزنی).

Fe	Ni	Cr	Al	P	S	Mn	Si	C
بقیه	۰.۳	۰.۰۲	۰/۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۲/۴۵	۱/۰۳	۰/۱۸

جهت دستیابی به ریزساختار فولاد DP، قطعاتی با ابعاد مشخص شده برای آزمایشات بعدی آماده سازی شدند و طراحی سیکل عملیات حرارتی با استفاده از دیلاتومتري مدل Dil 101-HT در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد با ابعاد نمونه $10 \times 5 \times 5$ میلی‌متر انجام گردید. از روی داده‌های دیلاتومتري، دماهای بین بحرانی و دمای شروع استحاله‌های بینیتی و شروع و پایان استحاله مارتنزیتی به دست آمد نرخ اعمال حرارت دهی و نرخ سرد کردن در آزمایش دیلاتومتري به ترتیب 0.55°C/s و 0.8°C/s بود. همچنین جهت بررسی تطبیق داده‌های دریافت و محاسبه شده دمای بحرانی با رابطه (۱) و (۲) محاسبه شد [۷]. در رابطه ۱ و ۲، دمای بحرانی شروع تشکیل آستنیت در حین گرمایش و Ac_3 دمای پایان تشکیل آستنیت در حین گرمایش می‌باشد [۵]. در شکل (۲) نمودار دیلاتومتري فولاد نورد گرم شده آمده است. در جدول (۳) مقادیر محاسبه شده رابطه (۱) و (۲) ارائه شده است.

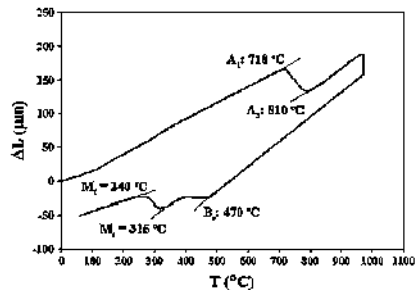
$$A_1 = 723 - 10.7 Mn + 29.1 Si - 16.9 Ni + 16.9 Cr + 290 As + 6.38 W \quad (1)$$

$$A_3 = 910 - 203 \sqrt{C} + 44.7 Si - 15.2 Ni + 104 V + 31.5 Mo + 13.1 W \quad (2)$$

گرما نامیده می‌شود. در این فرایند حلقه‌های ورق فولادی با یک سرعت کنترل شده از میان مذابهای روی کشیده می‌شوند و فلز روی به فولاد عکس العمل نشان می‌دهد و به صورت یک لایه روی فولاد می‌چسبد [۴]. امروزه فولادهای استحکام بالای پیشرفته از جمله فولاد دوفازی، در حال تکامل بوده و کاربردهای آنها خصوصاً در صنعت خودرو در حال توسعه است. از اواسط ۱۹۸۰ میلادی توجه بر افزایش تمرکز سطح ایمنی خودرو در حالی که کاهش وزن مد نظر باشد یکی از عوامل مهم استفاده فولاد در صنعت خودرو با استحکام بالاتر و شکل پذیری بهتر بود [۵]. کاربرد این فولادها در صنعت خودرو جهت وسایل نقلیه مدرن با بهبود مسایل زیست محیطی، ایمنی و عملکرد راندن خودرو گسترش یافته است و فولادهای جدید که سبک تر، امن تر، سبز تر و تولید آنها مقرون به صرفه تر است باعث علاقه مندی صاحبان صنایع و محققین شده است. از طرف دیگر کاهش مصرف سوخت خودرو و افزایش ایمنی سرنشینان از چالش‌های اساسی خودرو سازان می‌باشند. باید اظهار داشت همیشه برنامه‌های کاربردی زیادی برای یک نیاز خاص وجود دارد [۶]. در این زمینه هر سال وزن و حجم استفاده از انواع این فولادها با توجه به آزمایش‌های گوناگون افزایش یافته است و هنوز تلاش برای رسیدن به یک سطح ایده آل ادامه دارد. جدول (۱) کاربرد فولاد دوفازی در قسمت‌های مختلف خودرو و شکل (۱) نمایشی از آن است [۷]. در سالهای اخیر محققین با جدیت در تلاش برای بهبود عملکرد مکانیکی و ریزساختاری فولادهای استحکام بالای پیشرفته هستند. در اینجا سعی شد تا با در نظر گرفتن تولید آسان و مقرون به صرفه، فولاد DP جدیدی با دانه‌های بسیار ریز و با استحکام فوق العاده بالا همراه با حفظ انعطاف پذیری توسعه داده شود. جوش نقطه‌ای این فولادها در مقایسه با فولادهای نرم مرسوم، اغلب نسبت به شکست‌های فصل مشترکی حساس تر هستند.



شکل ۱- قسمت‌های اصلی بدنه خودرو در هنگام تصادف (ضربه گیر عقب و جلو و اتاق سرنشینان).

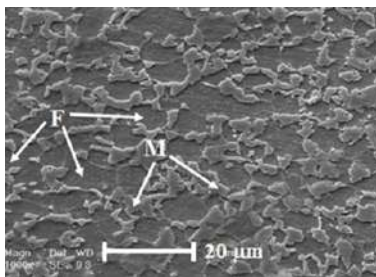


شکل ۲- منحنی گرمایش و سرد کردن دیلاتومتري فولاد حاضر، Ac_1 درجه حرارت شروع و Ac_3 درجه حرارت پایان تشکیل آستنیت، Bs دمای شروع استحاله بینیت و Mf و Ms به ترتیب درجه حرارت شروع و پایان استحاله مارتنزیت.

مرکز علامت گذاری شد [۵]. برای مشاهده ریزساختار فولاد نمونه‌ها بعد از سنباده‌زنی و پولیش با میکروسکوپ نوری مشاهده گردید. همچنین جهت تهیه تصویر SEM، از محلول نایتال ۲٪ استفاده شد [۵]. پس از آزمایش کشش، پس از شکست نمونه‌ها، سطح شکست آنها با استفاده از استریوگراف مدل OLYMPUS و SEM مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فولاد توسعه یافته دو فازی در شکل (۴- الف)، شامل فریت و مارتنزیت بود که فریت با فاز نرم و در زمینه و مارتنزیت برجسته تر در ساختار مشاهده می‌شود. در شکل (۵) ریزساختار جوش مقاومتی نقطه ای فولاد DP نشان داده شده است، همانگونه که مشاهده می‌شود، منطقه ذوب فولاد DP ساختاری با انجماد سریع و انجماد ستونی دارد که از مرز جوش به سمت مرکز دکه کشیده شده است. این ساختار، ساختاری دندریتی همراه با دانه‌های کشیده یا هم محور دارد [۲].



شکل ۴- ریزساختار SEM از فولاد DP.



شکل ۵- ریزساختار منطقه جوش مقاومتی نقطه ای فولاد DP.

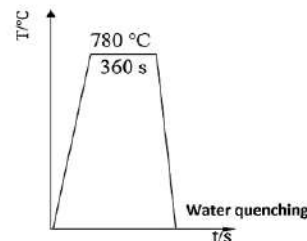
ناحیه متأثر از حرارت بالای (UCHAZ) ریزدانه و درشت دانه فولاد DP به ترتیب در شکل (۶)، HAZ-3 نشان داده شده است. همان طور که دیده شد، این ناحیه از خط ذوب با دمایی تقریبی کمتر از ذوب آغاز شده و تا دمایی بحرانی Ac_3 می‌رسد. HAZ-2 در این ناحیه دما بین Ac_1 - Ac_3 قرار دارد که با توجه به بازه دمایی این ناحیه، وسعت آن از دیگر نواحی خیلی محدودتر است. در این محدوده دمایی که در منطقه دو فازی قرار دارد، استحاله فریت و آستنیت اتفاق می‌افتد. ناحیه متأثر از حرارت پایینی HAZ-1

مقدار معادل کربن (CE) برای نشان دادن مشارکت عناصر آلیاژی‌های مختلف در سختی فولاد است و برای تعیین قابلیت جوش پذیری آلیاژ است. میزان کربن معادل، فولاد DP از رابطه (۳) بدست آمد [۸].

$$CE = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr + \%V)/5 \quad (3)$$
 مطابق شکل (۳) این آلیاژ در دمای $780^\circ C$ عملیات آنیل میان بحرانی انجام شد و سپس سریعاً در آب کوئنچ شد تا ساختار DP حاصل شود. آزمایش کشش نمونه‌ها با طول ۵ سانتیمتر و بر طبق استاندارد ASTM A370 با سرعت 1 mm/min انجام شد [۸]. برای مشاهده میکروساختار ورق‌های عملیات حرارتی شده، نمونه‌ها بعد از سنباده‌زنی و پولیش، جهت تهیه تصویر SEM، از محلول نایتال ۲٪ حک کاری شد.

جدول ۳- دماهای محاسبه شده توسط دیلاتومتري (در توافق نزدیک با نتایج تجربی و فرمولهای مورد استفاده).

Temperature				
CE_v	Melting	A_{C3}	A_{C1}	M_s
۰/۵۸۸	۱۵۴۰	۸۶۸	۷۲۲	۳۵۰



شکل ۳- شماتیک سیکل عملیات حرارتی فولاد DP.

در جدول (۴) پارامترهای جوشکاری در این تحقیق برای فولاد حاضر آمده است. انتخاب پارامترها در این پژوهش بر مبنای آزمایش‌های مختلف بر روی متغیرها بوده است ولی پس از بررسی‌ها به دلیل مناسب نبودن خواص مکانیکی حذف شدند قابل ذکر است در این پژوهش جریان به عنوان متغیر اصلی انتخاب شد که دلیل انتخاب آن امکان بررسی ویژگی‌های مکانیکی با حرارت‌های ورودی مختلف بود.

جدول ۴- پارامترهای جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای انتخاب شده فولاد DP برای سه فرایند اتصال در این پژوهش.

نیروی (kN) Force	فشار دادن (Cycle) Squeeze	جریان (kA) Current	زمان جوشکاری (Cycle) Weld Time	زمان نکه داری (Cycle) Hold Time
۳/۵	۱۴	۱۳-۱۱	۱۳	۱۳

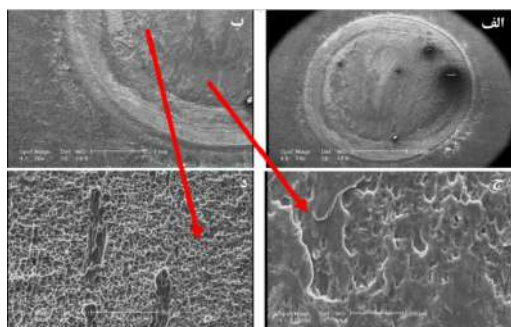
نمونه‌های آزمایش کشش برشی و آزمایش کشش متقاطع بر اساس ابعاد و مشخصات بر اساس استاندارد AWS آماده شد. طول نمونه‌ها در جهت نورد با گیوتین برقی برش داده شد. سپس نمونه‌هایی به ابعاد $100 \times 30 \text{ mm}^2$ برای آزمایش کشش برشی و نمونه‌هایی به ابعاد $150 \times 50 \text{ mm}^2$ برای آزمایش کشش متقاطع آماده‌سازی شد جهت بررسی تکرارپذیری از هر پارامتر جوشکاری دو نمونه برای آزمایش کشش برشی و دو نمونه برای آزمایش کشش متقاطع آماده سازی شد. تمام نمونه‌ها قبل از جوشکاری برس‌زنی و تمیزکاری شدند و محل قرارگیری نمونه‌ها جهت قرارگیری دکه جوش در

نتیجه گیری

نتایج ریزساختاری، ریزساختار فریتی مارتنزیتی را نشان داد که حدود نیمی فاز مارتنزیت بود. این ساختار نرم و سخت در کنار هم می تواند همزمان استحکام و شکل دهی فولاد را با فرم های مختلف سبب شود.



شکل ۷- نمونه شکست های حاصل شده از جوش مقاومتی نقطه ای فولاد DP



شکل ۸- تصاویر SEM از مناطق مختلف جوش با شکست از نوع PT

ریز ساختار جوش کاملاً مارتنزیتی و با حالت لایه ای بود. ناحیه متأثر از حرارت بالایی ریزدانه و درشت دانه فولاد DP به ترتیب HAZ-3 نشان داده شده است. همان طور که دیده شد، این ناحیه از خط ذوب با دمایی تقریبی کمتر از ذوب آغاز شده و تا دمایی بحرانی Ac_3 می رسد. HAZ-2 در این ناحیه دما بین Ac_3 - Ac_1 قرار دارد که با توجه به بازه دمایی این ناحیه، وسعت آن از دیگر نواحی خیلی محدودتر است. در این محدوده دمایی که در منطقه دو فازی قرار دارد، استحاله فریت و آستنیت اتفاق می افتد. ناحیه متأثر از حرارت پایینی HAZ-1، دمایی کمتر از دمایی شروع استحاله فازی را تجربه می کند و حداکثر حرارت تا زیر Ac_1 می رسد.

تنش های خمشی منجر به کشیده شدن تکه های فلز جوش و باقی ماندن این تنشها درون آن می شود. بنابراین این شکست می تواند بصورت برشی در راستای ضخامت فلز جوش اتفاق بیفتد. همچنین پارگی می تواند در ایجاد شکست جوش با مکانیزم برش اتفاق بیفتد، بنابراین استحکام برشی فلز پایه بوسیله استحکام جوش کنترل می شود. شکست نیمه فصل مشترکی با کنده شدن جوش در ورق اتفاق افتاد که بیشتر به دلیل عدم تحمل دکه جوش و یا ناکافی بودن استحکام آن رخ می دهد. و دکه جوشی را نشان می دهد که در اثر کشش مقداری از دکه جوش از ضخامت ورق کنده شده است.

منابع

1-D. B. Miracle, D. B., (2015). "High Entropy Alloys and Their Development as Structural Materials", Materials Science and Technology, Vol. 31, 1142-1147

دمایی کمتر از دمایی شروع استحاله فازی را تجربه می کند و حداکثر حرارت تا زیر Ac_1 می رسد. در آزمون کشش - برش، نمونه تحت بار کششی، کشیده می شود و بواسطه حرکات چرخشی تکه های فلز جوش، جوش در راستای محور کشش، منظم می شود. این چرخش منجر می گردد که متریال اطراف جوش تحت بار کشش قرار گیرد. مبحث دمپل (پستی و بلندی ها) نرم در آزمون شکست گسیختگی در نمونه آزمون کشش - برش حین بارگذاری کششی اطراف تکه های فلز جوش مشاهده می شود. در آزمون کشش جانبی نیروی کششی به صورت نرمال بر جوش وارد می شود و جوش تحت تنش های خمشی قرار می گیرد. این تنش های خمشی منجر به کشیده شدن تکه های فلز جوش و باقی ماندن این تنش ها درون آن می شود. بنابر این شکست می تواند بصورت برشی در راستای ضخامت فلز جوش اتفاق بیفتد [۴]. همچنین پارگی می تواند در ایجاد شکست جوش توسط مکانیزم برش اتفاق بیفتد، بنابراین استحکام برشی فلز پایه بوسیله استحکام جوش کنترل می شود.

در نقاط شکست فصل مشترکی یا نقاطی که دارای نفوذ ناقص یا جوش دارای نقص همانند تخلخل است بیشتر صادق است. به هر حال شکست های فصل مشترکی در آزمون کشش - برش جوش های ضعیف در گرید های AHSS کاملاً واضح و مشهود نیست. با افزایش کاربرد می توان نمونه های شکست کلی پس از تکرار آزمایش های کشش برشی را در شکل (۷) مشاهده نمود. در شکل (۷) شکست نیمه فصل مشترکی با کنده شدن جوش در ورق اتفاق افتاده که بیشتر به دلیل عدم تحمل دکه جوش و یا ناکافی بودن استحکام آن رخ می دهد. و دکه جوشی را نشان می دهد که در اثر کشش مقداری از دکه جوش از ضخامت ورق کنده شده است. در این نوع شکست برشی که در مرکز جوش متمرکز می شود با تغییر مسیر دور دکه جوش آن را از ورق با استحکام بیشتر جدا کرده است این امر نشان دهنده ضعف و عدم استحکام لازم در کل دکه جوش می باشد. شکل (۸) تصویر SEM سطح شکست جوش حاصل از آزمون کشش - برشی را در منطقه متأثر از حرارت با نوع شکست PT نشان می دهد. در شکل (۸-الف) سطح شکست شامل دو بخش اصلی است که با بزرگنمایی بیشتر در شکل نشان داده شده است. شکل (۸-ب و ج) هیچ ترکی اطراف دکه جوش مشاهده نشد، به طور جزئی در ضخامت ورق و به شکل برش هایی مشاهده شد. در شکل (۸-د)، مشخص است که مرزدانه ها کندی ها را نشان می دهد [۹].



شکل ۶- ریزساختار قسمت های مختلف جوش مقاومتی فولاد DP

on Transformation Induced Plasticity of the TRIP Steel", *Journal of Materials Science and Technology*, Vol.20 No.2, 135-138

-Keeler, S., Kimchi, M., (2004). "Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0", WorldAuto Steel.

-Tamarelli, C.M., (2012). "AHSS 101: the evolving use of advanced high-strength steel for automotive applications", Steel Market Development Institute, 42

-N. Saeidi, F.Ashrafizadeh, B.Niroumand, (2014). Development of a new ultrafine grained dual phase steel and examination of the effect of grain size on tensile deformation behavior *Materials Science&EngineeringA*599, 145-149.

.....

پی نوشت

- 1- دکترای مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان - شرکت فولاد مبارکه
- 2- شرکت ورق خودرو چهار محال و بختیاری

-Bohemen S.M.C., Sietsma J., (2014). "Retention of austenite in the welded microstructure of a 0.16C-1.6Mn-1.5Si (wt. %) TRIP steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, 5286-5292

-M. Pouranvari, S.m. Mousavizadeh: Failure Mode of M130 Martensitic Steel Resistance-Spot Welds, *Mat Tech.*, 47(2013), 771.

- Z. Hou, S. Kimb, Y. Wang, et al.: Finite Element Analysis for the Mechanical Features of Resistance Spot Welding Process, *J Mater Process Technol.*, 185(2007), 160.

-A. Ghaheri, A. Shafyei, M. Honarmand: Effects of inter-critical temperatures on martensite morphology, volume fraction and mechanical properties of dual-phase steels obtained from direct and continuous annealing cycles, *Mater Des.*, 62(2014), 305.

-Li, L., De Cooman, B.C., Wollants, P., HE, Y. and Zhou, X., (2014). "Effect of Aluminum and Silicon

بررسی ریزساختار اتصال غیرمشابه فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ به آستنیتی ۳۱۶Ti با بکار بردن فلزات پرکننده مختلف و استفاده از فرایند GTAW

رضا دبیرزاده^۱، رضا دهملایی^۲، فریده طباطبایی^۱

چکیده

جوشکاری غیرمشابه به دلیل منافع اقتصادی و همچنین استفاده بهینه و همزمان از عملکرد برجسته دو فلز مختلف، به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف استفاده می‌شود. از اینرو، در این تحقیق جوشکاری غیرمشابه فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ به فولاد زنگ-نزن آستنیتی ۳۱۶Ti مورد بررسی قرار گرفته است. از فرایند GTAW به همراه سه مفتول ER2209، ER316Ti و ERNiCr-3 جهت ایجاد اتصالات غیرمشابه استفاده شد. بررسی‌های ریزساختاری با میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی مجهز به آنالیز طیف سنج انرژی در نواحی مختلف اتصال صورت گرفت. ریزساختار فلزات جوش مربوط به پرکننده‌های ER2209، ER316Ti شامل ریزساختاری دوفازی آستنیتی-فریتی بود. از طرفی، ریزساختار فلز جوش مربوط به پرکننده ERNiCr-3 شامل ریزساختاری تک فاز آستنیتی بود. ناحیه مخلوط نشده تنها در فصل مشترک فلز جوش مربوط به فلز پرکننده ERNiCr-3 با فلزات پایه، با مورفولوژی جزیره مشاهده شد.

کلمات کلیدی: فولادهای زنگ نزن، فلز پرکننده، جوشکاری غیرمشابه، ۲۲۰۵، ۳۱۶Ti.

مقدمه

فولادهای زنگ نزن از مهمترین مواد رایج مهندسی هستند که به طور گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان فولادهای زنگ نزن، فولادهای زنگ نزن آستنیتی به صورت وسیع در صنایع مختلف نظیر پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، اتومبیل‌سازی، هوایی، غذایی، دارویی، کاغذ‌سازی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. گستره وسیع کاربرد این فولادها به خاطر مقاومت به خزش در دماهای بالا، مقاومت عالی آنها در مقابل خوردگی، قابلیت جوشکاری خوب، استحکام و چقرمگی مناسب، خواص ضربه ای خوب این آلیاژها در درجه حرارت‌های پایین و شکل پذیری مناسب می‌باشد. مقاومت به خوردگی این فولادها با اضافه کردن کروم افزایش می‌یابد به طوری که یک لایه محافظ از اکسید کروم به صورت فشرده و چسبنده بر روی سطح ایجاد می‌شود [۱ و ۲]. با وجود مقاومت به خوردگی خوب فولادهای زنگ نزن آستنیتی، این فولادها در محیط‌های بسیار خورنده حاوی

غلظت‌های بالای یون کلر مقاوم نبوده و در برابر خوردگی حفره ای و ترک خوردن خوردگی تنش‌ی آسیب پذیر هستند [۳]. در این موارد فولادهای زنگ نزن دوفازی جایگزین بسیار مناسبی برای فولادهای زنگ نزن آستنیتی هستند. فولادهای زنگ نزن دوفازی دارای ساختاری فریتی-آستنیتی بوده که این ریزساختار خواص جالب توجهی را به دنبال دارد. از جمله این خواص می‌توان به استحکام بالا، انبساط حرارتی کم، مقاومت به خستگی بالا، مقاومت در برابر سایش، جوش پذیری خوب و مقاومت به خوردگی عالی به ویژه مقاومت در برابر خوردگی حفره ای و ترک خوردن تنش‌ی اشاره کرد [۲ و ۴]. از لحاظ خواص متالورژیکی و مکانیکی، فولادهای زنگ نزن دوفازی شباهت‌هایی به فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فریتی دارند. فولادهای زنگ نزن دوفازی در مبدل‌های حرارتی، تانک‌ها، سیستم‌های دریایی، صنایع کاغذ‌سازی و غیره کاربرد فراوان دارند [۵ و ۶]. با توجه به اهمیت فولادهای زنگ نزن در صنعت، روش‌های ساخت و مونتاژ قطعات فولاد زنگ نزن نیز مورد توجه بسیار قرار

گرفته است. در این میان، جوشکاری غیرمشابه این آلیاژها در زمینه‌های مختلف در سالیان اخیر، نمود بسیاری پیدا کرده است. علت انتخاب این نوع اتصالات به دلایل مختلف از جمله نیازهای فنی، شرایط کارکرد و یا ملاحظات اقتصادی می‌باشند [۴ و ۷]. از جمله پارامترهای اساسی در ایجاد یک اتصال غیرمشابه موفق، می‌توان به نوع فلز پرکننده اشاره نمود. با توجه به کاربرد گسترده فولادهای زنگ نزن آستنیتی و جایگزین مناسب آنها یعنی فولادهای زنگ نزن دوفازی در صنایع مختلف، هدف تحقیق پیشرو بررسی ریزساختاری جوشکاری غیرمشابه فولادهای زنگ نزن آستنیتی **AISI 316Ti** و دوفازی **AISI 2205** با استفاده از فلزات پرکننده مختلف و استفاده از فرایند **GTAW** بود.

روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا ۳ نمونه از هر یک از فولادهای زنگ نزن دوفازی **AISI 2205** و آستنیتی **AISI 316Ti** به ابعاد $100 \times 50 \times 6$ میلی متر جهت جوشکاری و به عنوان فلزات پایه، تهیه شد. طرح اتصال مورد استفاده در این پژوهش جناغی یک طرفه با زاویه شیار 70° درجه، پای ریشه ۱ میلی متر و فاصله ریشه $2/5$ میلی متر در نظر گرفته شد. یخ سازی نمونه‌ها و پای ریشه با دستگاه فرز انجام شد. از سه مفتول **ERNiCr-3**، **ER2209**، **ER316Ti** به عنوان فلزات پرکننده استفاده شد. ترکیب شیمیایی فلزات پایه با روش کوانتومتری و فلزات پرکننده براساس مشخصات شرکت سازنده در جدول (۱) نشان داده شده است. پس از آماده سازی نمونه‌ها به منظور حذف هر گونه لایه اکسیدی و آلودگی سطحی، محل اتصال با برس سیمی تمیز و با استون چربی‌زدایی و سپس خشک شد. جوشکاری نمونه‌ها با فرایند **GTAW** با گاز محافظ آرگون و قطبیت منفی در ۲ پاس انجام شد. سه نمونه با فلزات پرکننده **ER2209**، **ER316L** و **ERNiCr-3** در حرارت ورودی نزدیک به هم جوشکاری شدند. گاز آرگون به منظور محافظت حوضچه جوش با خلوص $99/99\%$ و دبی **L/Min** ۱۰ و حفاظت پشتی با دبی **L/Min** ۱۰ استفاده شد. پارامترهای هر دو فرایند جوشکاری در جدول (۲) آورده شده است. پس از اتمام جوشکاری، نمونه‌هایی جهت بررسی‌های ریزساختاری از نمونه اولیه جدا شدند. سنباده‌زنی نمونه‌ها با استفاده از سنباده‌های ۶۰ تا ۳۰۰۰ انجام شد و نمونه‌ها با پودر آلومینا با اندازه ذرات ۱ میکرون پولیش گردیدند. برای مشخص کردن ریزساختار نواحی مختلف اتصال از محلول حکاکی ماربنل (**50mL H₂O**, **50 mL HCl**, **10g CuSO₄**) استفاده گردید. ابتدا بررسی‌های ریزساختاری با میکروسکوپ نوری (**OM**) انجام شد. سپس، جهت بررسی دقیق تر ریزساختار و شناسایی فازها و نواحی مختلف جوش و همچنین بررسی سطوح شکست نمونه‌های ضربه از میکروسکوپ الکترونی روبشی (**SEM**) مجهز به آنالیز طیف‌سنج انرژی (**EDS**) استفاده شد.

نتایج و بحث

ریزساختار فلزات پایه

شکل (۱) تصویر میکروسکوپ نوری و الکترونی فولاد زنگ نزن

دوفازی ۲۲۰۵ را نشان می‌دهد. ریزساختار این فولاد شامل لایه‌های آستنیت در زمینه فریت می‌باشد. از آنجا که این فولاد کار شده می‌باشد، جهت نورد در شکل کاملاً مشهود است و آستنیت در جهت نورد کشیده شده است. همانطور که تصاویر نشان می‌دهد، هیچ نوع آخال و ذرات کاربیدی در ریزساختار این فولاد دیده نمی‌شود. ترکیب شیمیایی این فولادها به گونه‌ای تنظیم می‌شود که شامل مقدار تقریباً برابری از فریت و آستنیت باشد. با توجه به نسبت کروم معادل سه نیکل معادل فولاد 2205، این فولاد به صورت فریتی منجمد می‌شوند و آستنیت در زیر مرز انحلال فریت جوانه زده و رشد خواهد نمود [۴].

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه به روش کوانتومتری و فلزات پرکننده براساس مشخصات شرکت سازنده بر حسب درصد وزنی (%wt).

درصد عنصر	C	Cr	Ni	Mo	Mn	S	P	Si	Ti	Nb	Cu	N	Fe
AISI 2205	۰/۰۳	۲۲	۵/۸	۳	۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۷۹					۰/۸۴
AISI 316Ti	۰/۰۲	۱۷	۱۳	۲/۵	۱/۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۷۳	۰/۵۵				۰/۰۴
ER2209	۰/۰۳	۲۳/۵	۷/۱۵	۳/۴۵	۱/۸۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۴	-	-	۰/۶۵		۰/۸۴
E2209	۰/۰۲	۲۳	۱۰	۳/۲	۱/۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۸			۰/۱		۰/۸۵
ER316L	۰/۰۳	۱۸/۵	۱۷/۳	۲/۶	۱/۸۳	۰/۰۳	۰/۰۳				۰/۶۵		۰/۸۵

جدول ۲- پارامترهای جوشکاری.

فلز پرکننده	شماره پاس	پارامترهای جوشکاری			حرارت ورودی کل (kJ/mm)	حرارت ورودی (kJ/mm)
		ولتاژ (V)	جریان (A)	سرعت جوشکاری (mm/s)		
ER2209	۱	۱۰-۸	۱۰-۵	۰-۹۹	۱-۸۰	۱-۹۵
	۲	۱۰-۸	۱۰-۵	۰-۹۹	۱-۱۵	۱-۹۵
ER316L	۱	۱۰-۸	۱۰-۵	۰-۹۶	۱-۸۳	۱-۸۶
	۲	۱۰-۸	۱۰-۵	۰-۷۷	۱-۰۳	۱-۸۶
ERNiCr-3	۱	۱۰-۸	۱۰-۵	۱/۱۸	۰-۶۷	۱-۶۱
	۲	۱۰-۸	۱۰-۵	۰-۸۴	۰-۹۴	۱-۶۱

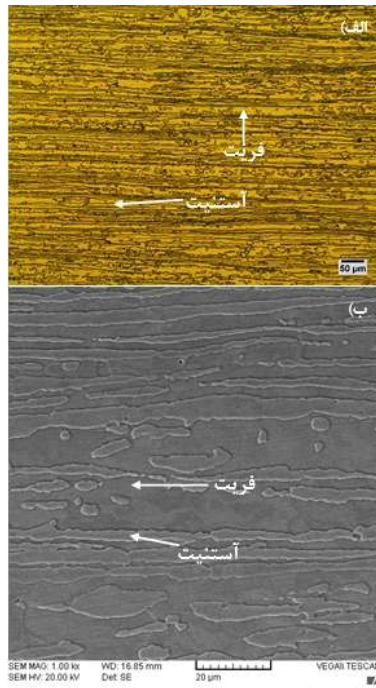
$$HI = \left(\frac{E_{in}}{P_{2209}} \right) \times \eta \%$$

HI: حرارت ورودی (**Heat Input**) بر حسب **KJ/mm**، **E**: ولتاژ جوشکاری بر حسب **V**، **I**: آمپراژ جوشکاری بر حسب **A**، **V**: سرعت جوشکاری بر حسب **mm/s** (در روش‌های جوشکاری دستی برابر سرعت حرکت دست جوشکار می‌باشد)، **η**: راندمان فرایند جوشکاری که به نوع فرایند بستگی دارد و برای فرایند جوشکاری **GTAW** در حدود **0/7** و برای فرایند **SMAW** **0/۸** فرض شده است.

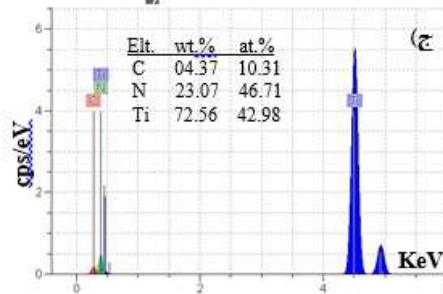
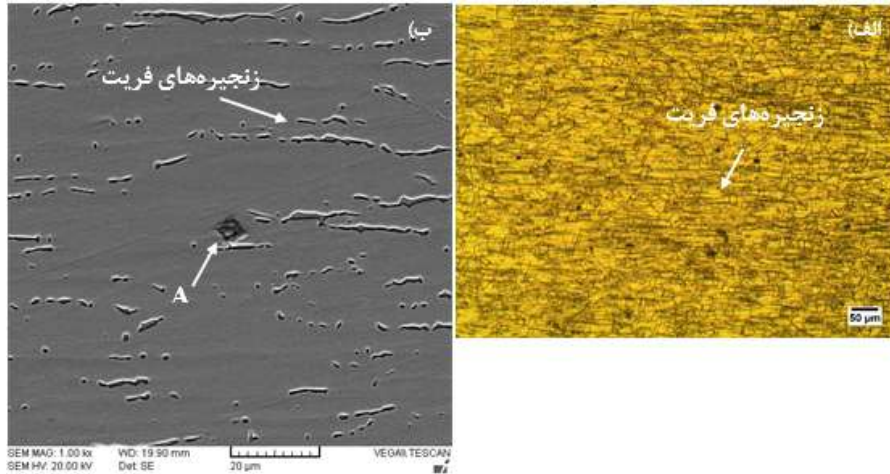
جدول ۳- کروم معادل و نیکل معادل فلزات جوش بر حسب نمودار **WRC-1992**.

فلز جوش	دیاگرام WRC-1992		Cr_{eq}/Ni_{eq}
	Cr_{eq}	Ni_{eq}	
ER2209	۲۵/۶۸	۱۱/۷۰	۲/۲۰
ER316L	۲۱/۴۴	۱۳/۳۴	۱/۶۱
ERNiCr-3	۲۳/۸۹	۵۵/۵۹	۰/۴۳

همانطور که در شکل (۲) می‌توان مشاهده نمود، ریزساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی **۳۱۶Ti** شامل زمینه آستنیتی به همراه زنجیره‌های فریتی می‌باشد که در جهت نورد کشیده شده‌اند. در ترکیب شیمیایی این فولاد در حدود **۰/۵** درصد وزنی تیتانیوم به هدف

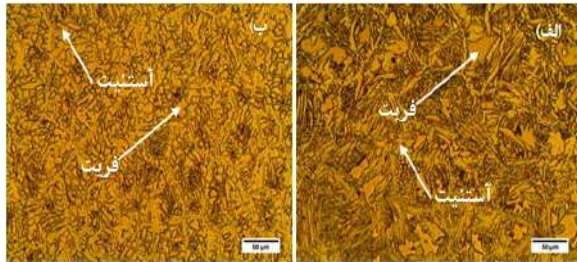


شکل ۱- ریزساختار فولاد زنگ ۲۲۰۵
الف- میکروسکوپ نوری (ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی.



شکل ۲- ریزساختار فولاد AISI 316Ti
الف- میکروسکوپ نوری (ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی (نقطه A رسوب کاربید-نیتريد تیتانيم در فلز پایه) ج- آناليز EDS از رسوب فلز پایه.

فريتی-آستینیتی) و برای فلز جوش حاصل از پرکننده **ER2209، F** (فريتی) پیش بینی شده است. در ادامه، به بررسی ریزساختار هر یک از فلزات جوش و دلایل تفاوت های احتمالی با نتایج حاصل از پیش بینی ها پرداخته خواهد شد.



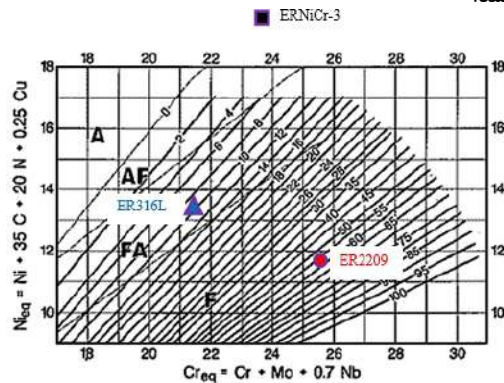
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ نوری فلز جوش حاصل از الف- پاس دوم فلز پرکننده ER2209 ب- پاس اول فلز پرکننده ER2209.

با توجه به شکل (۵)، ریزساختار فلز جوش مربوط به پرکننده **ER2209** شامل فريت و آستینیت می باشد. با توجه به نسبت کروم معادل نیکل معادل در فلز پرکننده **ER2209 (2/20)** و شکل (۴)، نوع انجماد در فلز جوش با فريت شروع می شود. چون انجماد به صورت فريتی رخ می دهد و در پایان انجماد آستینیت تشکیل نمی شود، فريت در حالت جامد در دمای بالا پایدار می باشد. هنگامی که تبدیل به آستینیت در زیر خط انحلال فريت آغاز می گردد، ابتدا آستینیت در طول مرز دانه های فريت تشکیل می شود. این امر از طریق فرایند جوانه زنی و رشد صورت می گیرد و معمولاً سبب پوشش کامل مرز دانه های فريت با آستینیت می شوند. آستینیت اضافی به صورت صفحات ویدمن اشتان دور از آستینیت مرز دانه های، یا به صورت درون دانه های داخل دانه های فريت تشکیل می شود. نمودار **WRC-1992** عدد فريت فلز جوش را در حدود ۵۵ پیش بینی کرده است (شکل ۳). شکل (۵-الف) تصویر میکروسکوپ نوری ریزساختار پاس دوم فلز جوش **ER2209** را نشان می دهد. آستینیت تشکیل شده در این پاس بیشتر به صورت ویدمن اشتان می باشد و ناشی از نرخ سرد شدن سریع می باشد [۴]. همچنین به دلیل عدم حرارت دهی مجدد، آستینیت ثانویه در این پاس تشکیل نشده است. اختلاف موجود در میزان فريت پاس اول در شکل (۵-ب) و مقدار آن در پاس دوم (شکل ۵-الف)، ناشی از تشکیل آستینیت ثانویه در جوشکاری چندپاسه می باشد. همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، در ریزساختار پاس اول فلز جوش علاوه بر آستینیت های اولیه، آستینیت ثانویه ناشی از حرارت دهی مجدد با پاس بالایی ایجاد شده است.

با توجه به شکل (۶-ب)، ریزساختار فلز جوش حاوی فازهای ثانویه کاربیدی-نیتريدی غنی از تیتانیم و تا حدودی کروم است.

شکل های (۷-الف و ۷-ب) تصویر میکروسکوپ نوری فلز جوش مربوط به پرکننده **ER316L** به ترتیب، برای پاس دوم و اول را نشان می دهد. نمودار **WRC-1992** (شکل ۳) عدد فريت فلز جوش را تقریباً برابر ۱۰ پیش بینی می کند و با توجه به نسبت کروم معادل به نیکل معادل (۶/۱) برای این فلز جوش و شکل (۴)، انتظار می رود

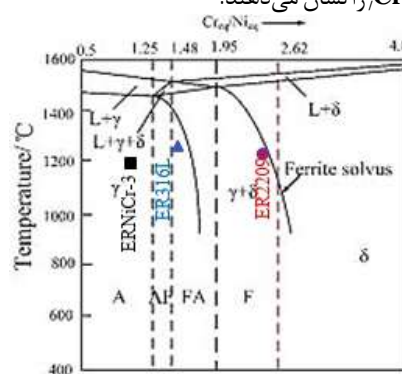
پایدار نمودن ریزساختار این فولاد به آن افزوده شده است. این عمل سبب جلوگیری از تشکیل کاربید کروم در مرز دانه ها (حساس شدن) شده و فلز را از خوردگی محافظت می نماید [۸]. در شکل (۲-ج) می توان نتیجه آنالیز **EDS** نقطه **A** در شکل (۲-ب) را مشاهده نمود که حاکی از وجود کاربید-نیتريد تیتانیم در ریزساختار این آلیاژ می باشد.



شکل ۲- نمودار WRC-1992 جهت پیش بینی ریزساختار فلز جوش [۴].

ریزساختار فلزات جوش

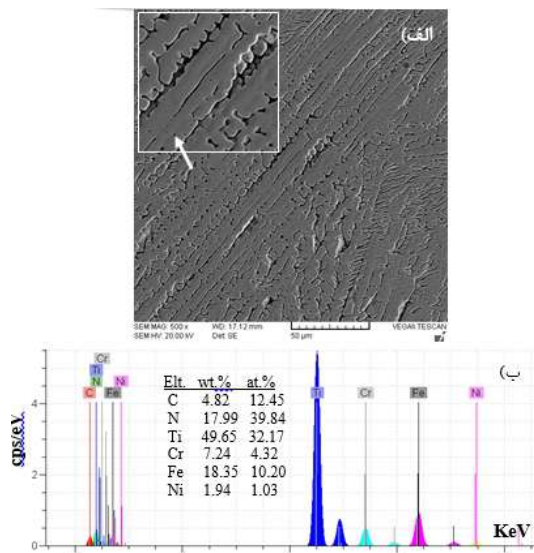
در این بخش ریزساختار فلزات جوش حاصل از سه مفتول **ERNiCr-3** و **ER2209، ER316Ti** مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت. میزان کروم معادل و نیکل معادل فلزات جوش با فرض میزان رقت ۳۰ درصد فلزات پایه برای زاویه شیار ۷۰ درجه در جدول (۳) آورده شده است. شکل های (۳ و ۴) به ترتیب، نمودار (برای پیش بینی عدد فريت و ریزساختار فلزات جوش، بر اساس مقادیر موجود در جدول ۳) و حالت انجمادی بر حسب Cr_{eq}/Ni_{eq} را نشان می دهند.



شکل ۴- نمودار پیش بینی حالت انجمادی بر حسب نسبت Cr_{eq}/Ni_{eq} [4].

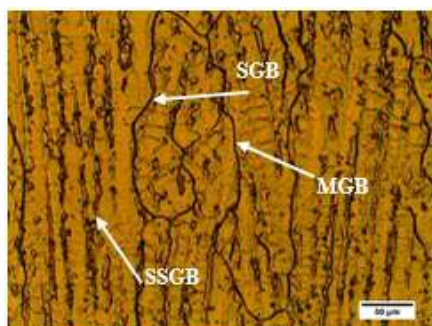
همانطور که در شکل های (۳ و ۴) ملاحظه می شود، ریزساختار فلز جوش حاصل از پرکننده **ERNiCr-3** کاملاً آستینیتی و برای ریزساختار فلز جوش سایر پرکننده ها ریزساختاری دوفازی شامل آستینیت و فريت پیش بینی شده است. همچنین، برای ریزساختار فلز جوش حاصل از پرکننده **ER316L** فاز اولیه انجمادی **FA**

همچنین با توجه به شکل (۸-الف)، ریزساختار فلز جوش حاوی فازهای ثانویه کاربیدی-نیتریدی غنی از تیتانیوم و تا حدودی کروم و آهن است که آنالیز طیف سنچ انرژی این رسوبات در شکل (۸-ب) آورده شده است.



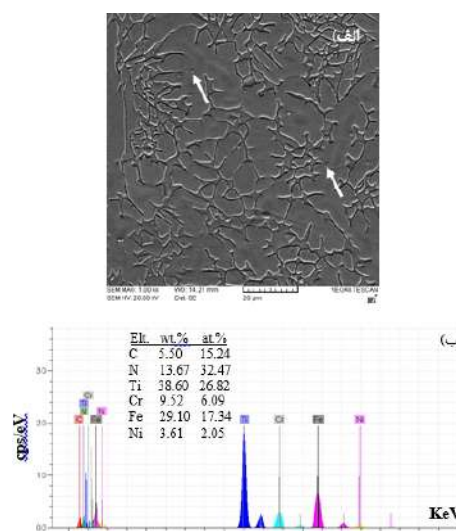
شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی فلز جوش با فلز پرکننده الف - ER316L به همراه ب - آنالیز طیف سنچ انرژی رسوبات نشان داده شده با پیکان سفید در شکل ۸-الف.

همان طور که در شکل (۹) می توان دید، ریزساختار فلزات جوش حاصل از پرکننده ERNiCr-3 تک فاز و تمام آستنیتی می باشد. مرز دانه-های انجمادی (SGBs)، مرز دانه های انجمادی فرعی (SSGBs) و مرز دانه های مهاجرت کرده (MGBs) با پیکانها در شکل نشان داده شده اند. مرزی که دانه های فرعی (سلول ها و دندریت ها) مجاور را از یکدیگر جدا می کند را SSGBs می گویند؛ در حالیکه، SGBs نتیجه برخورد بسته های مرزهای فرعی می باشد. همچنین، MGBs دارای زاویه عدم تطابق زیادی نسبت به مرز دانه های انجمادی اولیه می باشند و نیرو محرکه مهاجرت آنها کاهش انرژی مرز دانه می باشد [۹].

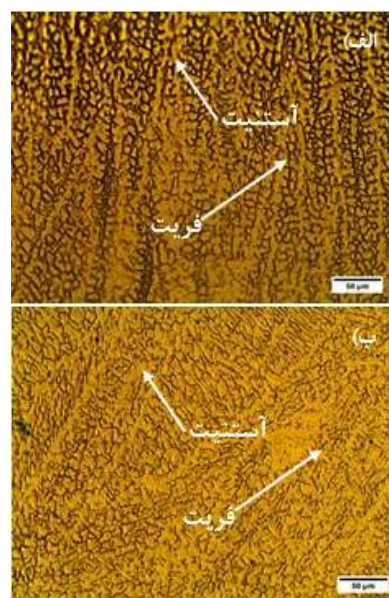


شکل ۹- تصویر میکروسکوپ نوری فلز جوش حاصل از فلز پرکننده ERNiCr-3.

که حالت انجمادی از نوع فریتی-آستنیتی باشد. مشاهده ریزساختاری آستنیتی به همراه فریت اسکلتی در شکل (۷-الف) حاکی از انجماد نوع فریتی-آستنیتی است که با نتایج حاصل از پیش بینی ریزساختار در شکل های (۳ و ۴) در تطابق کامل می باشد. همانطور که در شکل (۷-ب) مشاهده می شود، ریزساختار فلز جوش در پاس اول شامل آستنیت به همراه فریت شبکه ای است که این می تواند به دلیل تفاوت رقت در پاس ها اول و دوم و همچنین، حرارت دهی مجدد پاس اول باشد.



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی فلز جوش با فلز پرکننده: الف - ER2209 به همراه ب - آنالیز طیف سنچ انرژی رسوبات نشان داده شده با پیکان در شکل های ۶-الف.



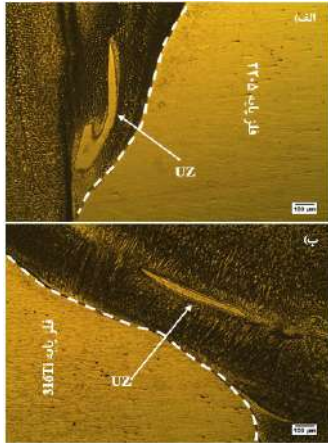
شکل ۷- تصاویر میکروسکوپ نوری فلز جوش حاصل از الف- پاس دوم فلز پرکننده ER316L ب- پاس اول فلز پرکننده ER316L.

مطابق شکل (۱۰-الف) و نتایج آنالیز EDS نقطه ای در شکل (۱۰-ب)، رسوباتی کاربیدی-نیتريدی غنی از تیتانیوم و تا حدودی نیوبیم فلز جوش شناسایی شد.

ناحیه مخلوط نشده

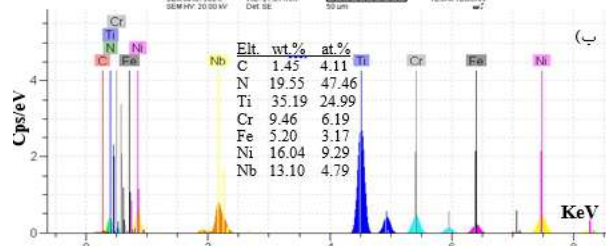
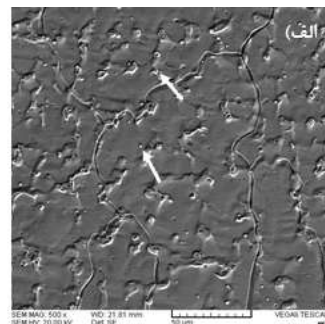
ناحیه UZ بخشی از فلز پایه می باشد که ذوب شده و بدون اختلاط کامل با حوضچه جوش، مجدداً منجمد می شود. تفاوت زیاد در ترکیب شیمیایی فلز پرکننده و فلز پایه و بالا بودن ویسکوزیته حوضچه جوش از عوامل تشدید کننده ناحیه UZ می باشد که می تواند سبب ایجاد خوردگی و ترک انجمادی شود [۹-۱۱]. ناحیه UZ با مورفولوژی های ساحل، جزیره و شبه جزیره قابل مشاهده می باشد [۱۲]. در تحقیق حاضر، تنها در فصل مشترک فلز جوش مربوط به فلز پرکننده ERNiCr-3 با فلزات پایه، ناحیه UZ با مورفولوژی جزیره (شکل ۱۱) مشاهده شد. دلیل ایجاد ناحیه UZ برای این فلز جوش، می تواند مربوط به تفاوت زیاد در ترکیب شیمیایی فلز پرکننده ERNiCr-3 با فلزات پایه (جدول ۱) باشد.

ریزساختار آستنیتی با مقادیری از زنجیره های فریتی و متشکل از دانه های هم محور بود.



شکل ۱۱- فصل مشترک فلز جوش مربوط به فلز پرکننده ERNiCr-3 با فلز پایه الف - ۲۲۰۵ ب - ۳۱۶Ti

ریزساختار فلزات جوش مربوط به پرکننده های ER2209 شامل ریزساختاری دوفازی آستنیتی-فریتی بود. از طرفی، ریزساختار فلزات جوش مربوط به پرکننده های پایه نیکیلی شامل ریزساختاری تک فاز آستنیتی بود. ناحیه UZ تنها در فصل مشترک فلز جوش مربوط به فلز پرکننده ERNiCr-3 با فلزات پایه، با مورفولوژی جزیره مشاهده شد.



شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی فلز جوش با فلز پرکننده الف - ERNiCr-3 به همراه ب - آنالیز طیف سنخ انرژی رسوبات نشان داده شده با پیکان های سفید در شکل های ۱۰-الف.

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر فرایند جوشکاری و نوع فلز پرکننده بر ریزساختار اتصال غیرمشابه فولادهای زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶Ti مورد بررسی قرار گرفت. از فرایند GTAW به همراه سه مفتول ER316Ti، ER2209، و ERNiCr-3 جهت ایجاد اتصالات غیرمشابه استفاده شد. مهمترین نتایج این بررسی به طور خلاصه در زیر آورده شده است.

ریزساختار فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ شامل مقادیر تقریباً مساوی آستنیت و فریت و فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶Ti دارای

منابع

- 1-K.H. Lo, S.H. Shek, J.K. Lai, "Recent developments in stainless steels", Materials Science and Engineering, 2009, vol. 65, pp.39-104.
- 2-P.E. Schweitzer, A. Philip, Metallic materials, 3rd ed, York, Pennsylvania, U.S.A. 2003.
- 3-H.S. Khatek, Corrosion of austenitic stainless steel mechanism mitigation and monitoring, 5th ed, woodhead, 2012.
- 4- شمعانیان، مرتضی، رحمتی، محمد، متالورژی جوشکاری و جوش پذیری فولادهای زنگ نزن، ویرایش دوم، اصفهان، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۹.
- 5-R.N. Gunn, Duplex stainless steels microstructure properties and applications, 3th ed, woodhead, 2003.
- 6-S.D. Brandt, A.J. Ramirez, Duplex stainless steel, Ohio, KCI Publishing, 1997.
- 7-T. Nelson, J. Lippold, M. Mills, "Nature and evolution of the fusion boundary in ferritic-austenitic dissimilar weld metals, part 1-nucleation and growth", Welding Journal, 1999, Vol. 78, PP 329-337.
- 8-http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aalco-Metals-Ltd_Stainless-Steel-14571-Bar40.pdf.ashx.
- 9-K. Sindo, Welding metallurgy, 2end ed, John Wiley & Sons, 2003.
- 10-Y. Cui, C.L. Xua, and Q. Hanb, "Effect of ultrasonic vibration on unmixed zone formation", Scripta Materialia, Vol. 55, 2006, pp. 975-978.
- 11-R. Dehmlolaei, M. Shamanian, and A. Kermanpur, "Effect of electromagnetic vibration on the unmixed zone formation in 25Cr-35Ni heat resistant steel/Alloy 800 dissimilar welds", Materials Characterization, Vol. 59, 2008, pp. 1814-1817.
- 12-T. Soysal, S. Kou, D. Tat, and T. Pasang, "Macrosegregation in dissimilar-metal fusion welding", Acta Materialia, Vol. 110, 2016, pp. 149-160

پی نوشت

- 1- موسسه آموزش عالی نقش جهان
- 2- دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی، گروه مواد



تأثیر پارامترهای فرایند جوشکاری قوس الکتریکی بر روی جوش های فلزی همجنس و غیر همجنس (قسمت دوم)

کاظم بابائی

قوس الکتریکی رخ می دهد. اگر تمیز نشود باعث ایجاد نقص در جوش می شود که می توان آن را با آزمایش رادیوگرافی، تست کششی نهایی یا تست خمش بررسی کرد. با ایجاد موقعیت کار مثبت الکتروود درست مانند عدم همجوئی می توان از ورود سرباره جلوگیری کرد.

پ- همپوشانی

اگر زاویه کار فراتر از نقطه تنظیم باشد، امکان همپوشانی روی رابط جوش وجود دارد. همپوشانی یک عیب خودکار است که قابل قبول نیست و جوش ها پس زده می شوند. این به این دلیل است که باعث می شود ناحیه محیطی تحت فشار قرار گیرد که به تجمع تنش در مکان های ترجیحی تبدیل می شود و در هنگام اعمال بار بر روی آن منجر به ایجاد مکان های شروع ترک می شود.

5- چالش های مواجهه در هنگام جوشکاری فلزات غیر مشابه

الف - زمان عدم تطابق در گرم شدن فلز. تفاوت در نقطه ذوب بزرگتر برای جوشکاری دشوارتر است.

ب - اختلاف ضریب انبساط خطی. تفاوت بزرگتر برای جوشکاری سخت تر است.

پ - تفاوت بزرگتر در هدایت حرارتی، ضریب انبساط حرارتی و ظرفیت گرمایی ویژه فلزات مختلف.

ت - تفاوت در خواص الکترومغناطیسی فلزات پایه. اختلاف بزرگتر، میدان های الکتریکی و مغناطیسی ناپایدار تر، احتراق غیر یکنواخت قوس، دشواری در جوش.

پی نوشت

مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی، مرکز خانه کارگر ساوجبلاغ

3- مزایای فرایند جوشکاری قوس الکتریکی در مقایسه با سایر تکنیک های جوشکاری معمولی

الف) هزینه نگهداری و تجهیزات کم در مقایسه با فرایندهای GTAW، FCAW و GMAW، زیرا تنها نگهدارنده الکتروود و الکتروود با منبع تغذیه استفاده می شود.

ب) قابلیت تغییر سریع الکتروودها از یک ماده به ماده دیگر (پ) این فرایند به خودی خود منجر به جوشکاری در مکان های محدود با موقعیت های متغیر با مشکلات کم می شود.

ت) نیازی به گاز محافظ نیست

ث) نرخ رسوب سریعتر در مقایسه با فرایند GTAW.

ج) قابلیت حمل و نقل خوبی در مقایسه با سایر دستگاه های جوشکاری دارد



4. چالش های پیش روی فرایند جوشکاری قوس الکتریکی

الف - عدم همجوئی

اغلب به دلیل موقعیت غیر یکنواخت و منفی الکتروود ایجاد می شود که اغلب مشکل فرایند دستی است. عدم نفوذ و همجوئی ناکافی نشان داده شده است که جوشکاری نفوذ کامل (CJP) نشان داده شده است (آگاروال، ۱۹۹۲).

ب - ورود سرباره

ورود سرباره مشکل رایجی است که در فرایند جوشکاری

تأثیر حرارت ورودی بر خواص مکانیکی و ریز ساختار فولاد X70 در حالت جوشکاری تک پاسه طی فرایند جوشکاری زیر پودری

حسین حسینی طیب^۱، مصطفی صفاری^۲، سید مهدی رفیعی^۳

چکیده

فرایند جوشکاری زیر پودری به دلیل قابلیت کنترل متغیرها برای دستیابی به خواص مطلوب، نه تنها به منظور اتصال بلکه برای انجام عملیات سطحی در اتصال طیف وسیعی از فلزات آهنی نیز به کار برده می شود. در این تحقیق تأثیر حرارت ورودی بر خواص مکانیکی و ریز ساختار فولاد X70 در حالت جوشکاری تک پاسه طی فرایند زیر پودری بصورت چند سیمه مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی های ریزساختاری و آزمایش های صورت گرفته از جمله آزمون کشش، آزمون ضربه و خواص مکانیکی مشخص شد که با افزایش میزان جریان از ۷۰۰ تا ۹۰۰ آمپر ساختار سوزنی شکل به تدریج به ساختار دانه ای شکل تغییر یافته و سپس اندازه این دانه ها افزایش یافته است و علت آن افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان جریان است. همچنین تنش تسلیم و تنش نهایی با افزایش ولتاژ به تدریج کاهش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان ولتاژ می باشد.

کلمات کلیدی جوشکاری زیر پودری، جریان الکتریکی، فولاد X70، خواص مکانیکی.

مقدمه

فرایند جوشکاری زیر پودری فرایندی است که در آن قوس الکتریکی زیر پوششی از پودر روانساز مخفی است. در این فرایند، فلز پرکننده یا سیم جوش از مواد سرباره ساز یا روانساز که اصطلاحاً پودر جوش گفته می شود، جدا می باشد. این فرایند در جوشکاری سازه های سنگین فولادی یا کارهای سری (دنبال هم) و تولید انبوه نظیر کشتی سازی، سوله سازی، ساخت مخازن کوچک و بزرگ، تولید لوله های قطور و بازسازی غلtek ها استفاده می شود. چون در این فرایند قوس مخفی است، می توان از شدت جریان های بالا (حتی تا ۲۵۰۰ آمپر) استفاده کرد. این فرایند جوشکاری، یکی از موفق ترین راه حل های اتوماتیک کردن جوشکاری محسوب می شود. با توجه به قابلیت های فرایند جوشکاری زیر پودری، کنترل متغیرهای آن برای دستیابی به خواص مطلوب مدنظر قرار گرفته است که یکی از مهمترین این موارد، استفاده از چند سیم جوشکاری می باشد. فرایند جوشکاری زیر پودری نه تنها جهت اتصال بلکه برای انجام عملیات سطحی نیز به کار برده می شود. این فرایند در اتصال طیف وسیعی از فلزات آهنی مورد استفاده قرار می گیرد. محدودیت های این فرایند،

موارد محدودی نظیر طرح اتصال و حالت جوشکاری است [۱]. فرایند جوشکاری زیر پودری به دو دلیل دستیابی به جوشی با کیفیت مطلوب و دوم کاهش هزینه های جوشکاری در صنعت مورد توجه است. در حالتی که به سرعت جوشکاری بالا و کیفیت مطلوب نیاز باشد، لازم است پارامترهای فرایند شامل سیم و پودر، قطر سیم، ولتاژ قوس، زاویه الکتروود و مقدار و قطب جریان به دقت کنترل گردد. از ضعف های جوشکاری زیر پودری در صورت انتخاب نامناسب پارامترها، می توان ترک های هیدروژنی و ترک های انجمادی را نام برد.

فولادهای میکرو آلیاژی با توجه به استحکام بالا، چقرمگی و جوش پذیری مطلوب طی ۲۵ سال اخیر، مورد توجه تولید کنندگان و سازندگان قرار گرفته اند. فولادهای میکرو آلیاژی نوین با استفاده از فرایند ترمومکانیکی تولید می شوند. تاکنون روش های متفاوتی برای افزایش استحکام تسلیم و کششی در فولادهای میکرو آلیاژی به کار برده شده با این حال روش های زیر همواره مد نظر و توجه بوده اند [۲].

- استحکام دهی به وسیله محلول جامد

- استحکام دهی به وسیله رسوب سختی

- استحکام دهی به وسیله ریز نمودن اندازه دانه ها

- استحکام دهی به وسیله ایجاد ساختار نابجائی ها و افزایش چگالی آن ها

- استحکام دهی به وسیله ایجاد فازهای مستحکم

فولاد میکرو آلیاژی با درجه X70 به عنوان یکی از اصلی ترین فولادهای مورد استفاده در صنعت نفت و گاز در ایران و سایر کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. قابل توجه است که با کنترل ریزساختار می توان خواص مکانیکی فولادها، مخصوصاً فولادهای میکرو آلیاژی را بهبود داد. پژوهش زاوو و همکاران [۳] در فولادهای میکرو آلیاژی نشان داد، مطابق رابطه هال پیچ با کاهش اندازه دانه از ۵ به ۱ میکرومتر استحکام تسلیم می تواند حتی تا 350 Mpa افزایش یابد. انتظار می رود تحول فازی فریت سوزنی مشابه با بینیت از تنش اعمالی در زمان تغییر شکل تأثیر پذیرد. تغییر شکل مکانیکی در زمان نورد انرژی آزاد آستنیت را افزایش داده، لذا پتانسیل مکان های جوانه زنی بر روی ساختارهای فرعی افزایش می یابد. حضور فریت در مرز دانه های آستنیت به تحول فریت سوزنی کمک نموده زیرا مرز دانه های آستنیت را به محلی خنثی برای جوانه زنی بینیت تبدیل می کند [۴]. نتایج آلی و همکاران [۵] نشان داد که در

هیدرولیکی یونیورسال کشش مدل **WEW-600**، تولید ۲۰۱۲ از کشور چین با ظرفیت دستگاه **KN 600** استفاده شد. آزمون میکروسختی ویکرز، با استفاده از دستگاه میکروسختی مدل **INNOVA TEST** انجام شد. نیروی وارد شده بر روی نمونه **N961/1** معادل ۲۰۰ گرم اعمال شد.

نتایج و بحث

- بررسی های ریزساختاری

نتایج بدست آمده از بررسی های میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه های گرفته شده از جوش زیر پودری چند سیمه در شکل های (۱) تا (۴) آمده است. شکل (۱) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی **cm/min** ۱۴۰ است. این نمونه حاوی فریت های سوزنی یا ویدمن اشتاین [۱۰] به همراه نواحی کوچکی از پرلیت ریز است. شکل (۲) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری با ولتاژ ۲۵ ولت و جریان ۹۰۰ آمپر است که نمونه ها حاوی دانه های فریت با مناطق کوچکی از پرلیت ریز درون مرز دانه های فریت است.

با مقایسه شکل های (۱) و (۲) می توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان جریان از ۷۰۰ تا ۹۰۰ آمپر، ساختار سوزنی شکل به تدریج به ساختار دانه ای شکل تغییر یافته و سپس اندازه این دانه ها افزایش یافته است و علت آن افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان جریان است. با افزایش حرارت ورودی، زمان لازم جهت تبلور و رشد بلور کاهش یافته و در نتیجه اندازه دانه به تدریج افزایش می یابد و به عبارت دیگر جوانه های روی ساختار سوزنی قبلی ایجاد شده و رشد می یابند.

شکل های (۳) و (۴) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری به ترتیب با ولتاژ ۳۵ و ۴۵ ولت، سرعت پیشروی **cm/min** ۱۴۰ و جریان ۷۰۰ آمپر است که نمونه ها حاوی دانه های فریت با مناطق کوچکی از پرلیت ریز درون مرز دانه های فریت است. با مقایسه شکل های (۱)، (۳) و (۴) می توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان ولتاژ از ۲۵ تا ۴۵ ولت، ساختار سوزنی شکل به تدریج به ساختار دانه ای شکل تغییر یافته و سپس اندازه این دانه ها افزایش یافته است و علت آن افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان ولتاژ است.

- خواص مکانیکی

نتایج بدست آمده از آزمون کشش نمونه های جوش زیر پودری با پارامترهای مختلف جوشکاری در جدول (۳) آمده است. نمونه های ۱ و ۲ در جدول (۳) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری به ترتیب با جریان ۷۰۰ و ۹۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی **(cm/min)** ۱۴۰ است. براساس این نتایج بدست آمده، می توان دریافت که با افزایش میزان جریان از ۷۰۰ تا ۹۰۰ آمپر تنش تسلیم و تنش نهایی به تدریج کاهش یافته است و علت آن

جوشکاری زیر پودری با انرژی حرارتی بیشتر از **3/5kJ/mm** تعداد و ابعاد ذرات ناخالصی بر حضور فریت سوزنی بسیار مؤثر می باشد، همچنین توزیع رسوبات ناخالصی به صورت ذرات ریز می تواند چقرمگی در منطقه حرارت دیده را بهبود دهد. ریزساختار ناحیه حرارت دیده در فولاد میکروآلیاژی **X70** به مقدار کربن وابسته بوده و همچنین فولادهایی با درصد کربنی کمتر چقرمگی شکست مطلوب تری در ناحیه حرارت دیده درشت دانه به دلیل کاهش کاربیدها و فاز مارتنزیت/آستنیت دارند [۶]. نتایج یوو و همکاران [۷] بیانگر رابطه انرژی شکست جوش با مقدار فریت سوزنی است. نوز و لوربرو [۸] گزارش نمودند با افزایش انرژی حرارتی، چقرمگی منطقه حرارت دیده و فلز جوش کاهش می یابد. اگر انرژی حرارتی بالا و ذرات فاز ثانویه نتوانند مانعی در برابر رشد دانه ها باشند، منطقه حرارت دیده جوش به آستنیت درشت دانه تبدیل خواهد شد. حضور فریت سوزنی باعث بهبود چقرمگی در منطقه حرارت دیده خواهد شد. محل جوانه زنی فریت سوزنی رسوبات **MnO, SiO₂, Al₂O₃**، **MnS** با ابعاد **۰/۳-۰/۲** میکرومتر بوده است [۹]. برای اتصال فولادهای میکروآلیاژی می توان از فرایند جوشکاری زیر پودری دو پاسه استفاده کرد. در این فرایند از انرژی حرارتی بالا تحت شرایط سرد شدن مشخص که بر چقرمگی شکست ناحیه جوشکاری شده مؤثر است، استفاده می گردد. مطالعات سیگنز و بیکر نشان داد که انرژی حرارتی حاصل از فرایند جوشکاری زیر پودری چند سیمه برابر با مجموع انرژی حرارتی الکترودها است. نرخ سرد شدن در محدوده دمایی **۵۰۰-۸۰۰ °C** برابر با **۲۵-۳۸** ثانیه بوده است. پژوهش حاضر بر بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد میکروآلیاژی **X70** طی فرایند جوشکاری زیر پودری متمرکز شده است.

مواد اولیه و روش تحقیق

- ماده اولیه

ورق تهیه شده از جنس **API 5L X70** برای تولید لوله با مشخصات خلاصه شده در جدول (۱) استفاده شد.

- پارامترهای جوشکاری

پارامترهای متغیر جوشکاری زیر پودری چند سیمه شامل تغییرات ولتاژ و آمپر می باشد. جدول (۲) پارامترهای جوشکاری را نشان می دهد. پس از اتمام جوشکاری نمونه ها برای آزمون کشش، آزمایش متالوگرافی، میکروسختی و **SEM** آماده سازی شدند.

- آزمون های انجام شده

جهت بررسی ریزساختار نمونه ها برای انجام آزمایش متالوگرافی، نمونه منت شده با کاغذهای سنباده سایز ۱۲۰، ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ سنباده زده شد. سپس با استفاده از صفحه نمادی و خمیر الماسه سطح نمونه پولیش شد، نمونه با محلول نیتال ۵ درصد نیتریک اسید و ۹۵ درصد الکل به مدت ۳۰ ثانیه اچ شد. به منظور بررسی خواص مکانیکی جوش ایجاد شده از دستگاه

با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی 140 cm/min است و علت آن وجود ساختار سوزنی است.

منابع

- 1-P. Yan, O. E. Gu'ngo'r, P. Thibaux and H. K. D. H. Bhadeshia, 2010, Induction welding and heat treatment of steel pipes: evolution of crystallographic texture detrimental to toughness, *Science and Technology of Welding and Joining*, 15, 2: 137-141
- 2-Yi Han, Enlin Yu, Hongliang Zhang, Daochen Huang, 2013, Numerical analysis on the medium-frequency induction heat treatment of welded pipe, *Applied Thermal Engineering*, 51: 212-217.
- 3-Zhao, H., Pingcang, L., Zhou, Y., Huang, Z. and Wang, H. (2010) "Study on the Technology of Explosive Welding Incoloy800-SS304", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 20, pp. 911-917.
- 4-Ribeiro, A.C.N., Henein, H., Ivey, D.G., Brandi, S.D., 2016, "Evaluation of AH36 microalloyed steel welded joint by submerged arc welding process with one and two wires", *Mat. Res.*, Vol. 19, No. 1, pp. 1124-1131
- 5-Ettaqi, S., Langlois, L. and Bigot, R. (2008) "Cobalt-based super alloy layers deposited on X38CrMoV5 steel base metal by cladding process", *Surface Coatings and Technology*, Vol. 202, pp. 3306-3315.
- 6-Kahraman, N., Gulence, B. and Findik, F. (2005) "Joining of X70/stainless steel by welding and effect on interface", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 169, pp.127-133.
- 7-Yan, Y.B., Zhang, Z.W. Shen, W., Wang, J.H., Zhang, L.K. and Chin, B.A. (2010) "Microstructure and properties of X80 welded plate", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 527, pp. 2241-2245.
- 8-Song, J., Kostka, A., Veehmayer, M. and Raabe, D. (2011) "Hierarchical microstructure of joints", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 528, pp. 2641-2647.
- 9-Murr, L.E., Ferreyra, E., Pap, S., Rivas, J.M., Kennedy, C., Ayapu, A., Garcia, E.L., Sanchez, J.C., Huang, W. and Niou, C.S. (1996) "Novel deformation processes and microstructures involving ballistic penetrator formation and hypervelocity impact and penetration phenomena", *Materials Characterization*, Vol. 37, pp. 245-276.
- 10-دکتر گلعداز - محمدعلی - پاییز ۱۳۸۸ - اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها - دانشگاه صنعتی اصفهان مرکز نشر صنعتی اصفهان مرکز نشر.

پی نوشت

- 1- کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو
- 2- کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو
- 3- استادیار دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان، گروه مهندسی مواد

تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان جریان است.

نمونه های ۱، ۳ و ۴ در جدول (۳) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری به ترتیب با ولتاژ ۲۵، ۳۵ و ۴۵ ولت، سرعت پیشروی 140 cm/min و جریان ۷۰۰ آمپر است که تنش تسلیم و تنش نهایی با افزایش ولتاژ به تدریج کاهش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان ولتاژ است.

شکل (۵) پروفیل سختی بدست آمده از تمامی نمونه های جوشکاری شد را نشان می دهد. مشاهده می شود که بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه جوش زیر پودری چند سیمه با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی 140 cm/min است و علت آن وجود ساختار سوزنی است. نتایج بدست آمده در آزمایش ضربه نمونه های جوش زیر پودری با پارامترهای مختلف جوشکاری در جدول (۴) آمده است.

نمونه های ۱ و ۲ در جدول (۴) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری با جریان ۷۰۰ و ۹۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی 140 cm/min است. براساس این نتایج، می توان دریافت که با افزایش میزان جریان از ۷۰۰ تا ۹۰۰ آمپر میزان انرژی ضربه به تدریج افزایش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان جریان است.

نمونه های ۱، ۳ و ۴ در جدول (۴) مربوط به نمونه جوشکاری شده به روش زیر پودری به ترتیب با ولتاژ ۲۵، ۳۵ و ۴۵ ولت، سرعت پیشروی 140 cm/min و جریان ۷۰۰ آمپر است که انرژی ضربه با افزایش ولتاژ به تدریج افزایش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان ولتاژ است.

نتیجه گیری

- با افزایش میزان ولتاژ از ۲۵ تا ۴۵ ولت، ساختار سوزنی شکل به تدریج به ساختار دانه ای شکل تغییر یافته و سپس اندازه این دانه ها افزایش یافته است و علت آن افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری با افزایش میزان ولتاژ است.

- بررسی ساختار SEM نشان داد که ساختار در این نمونه ها شامل پرلیت و فریت است.

- تنش تسلیم و تنش نهایی به تدریج کاهش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری است.

- انرژی ضربه با افزایش ولتاژ و جریان به تدریج افزایش یافته است و علت آن تغییر ساختار از سوزنی به دانه ای شکل با افزایش حرارت ورودی در حین جوشکاری است.

- بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه جوش زیر پودری چندسیمه

Welding Research

جدول ۱- مشخصه لوله‌ی فولادی گرید X70

روش جوشکاری	درجه فولاد	ضخامت	اندازه لوله
SAW	API5L X70	۱۴/۲۰ mm	۵۶ inch

جدول ۲- پارامترهای آزمایش

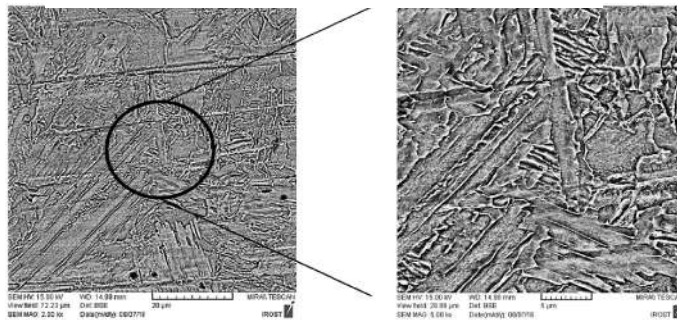
نمونه	سرعت (cm/min)	ولتاژ (V)	جریان (A)	قطر سیم جوش (mm)
۱	۱۴۰	۲۵	۷۰۰	۴
۲	۱۴۰	۲۵	۹۰۰	۴
۳	۱۴۰	۳۵	۷۰۰	۴
۴	۱۴۰	۴۵	۷۰۰	۴

جدول ۳- نتایج آزمون کشش نمونه‌های جوش زیرپودری با پارامترهای مختلف

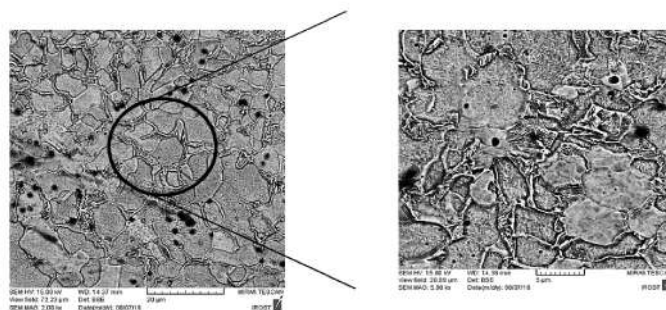
نمونه	جریان (A)	ولتاژ (V)	Yield Stress (Psi)	UTS (Psi)	EL%
۱	۷۰۰	۲۵	۹۱۵۵۵	۱۰۰۷۸۴	۶/۵
۳	۹۰۰	۲۵	۷۴۹۶۳	۸۸۲۳۴	۷
۴	۷۰۰	۳۵	۸۱۰۳۵	۹۲۲۱۳	۸
۵	۷۰۰	۴۵	۷۹۶۳۳	۹۱۴۱۳	۶

جدول ۴- نتایج آزمون ضربه نمونه‌های جوش زیرپودری با پارامترهای مختلف

نمونه	جریان (A)	ولتاژ (V)	Charpy Impact (-30°C, J)
۱	۷۰۰	۲۵	۲۱۱
۳	۹۰۰	۲۵	۳۹۰
۴	۷۰۰	۳۵	۳۴۳
۵	۷۰۰	۴۵	۳۶۱

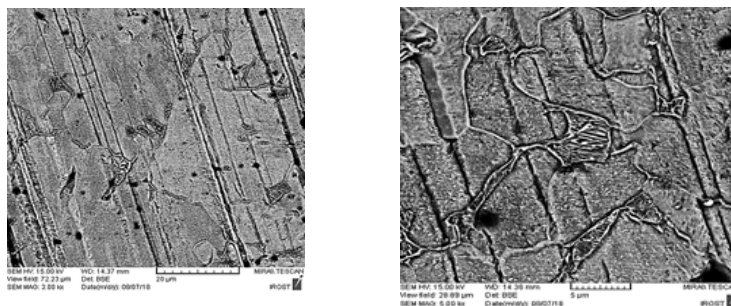


شکل ۱- ناحیه جوش جوش نمونه جوش زیرپودری چندسیمه با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی ۱۴۰ cm/min

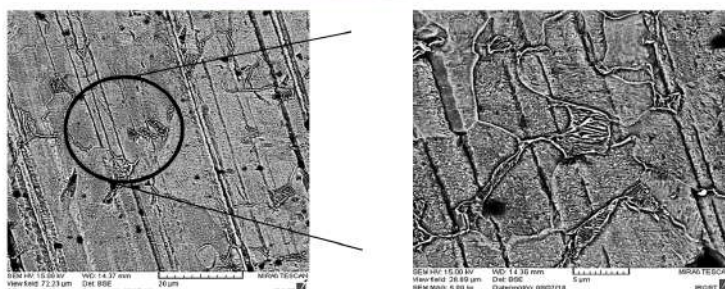


شکل ۲- ناحیه جوش جوش نمونه جوش زیرپودری چندسیمه با جریان ۹۰۰ آمپر، ولتاژ ۲۵ ولت و سرعت پیشروی ۱۴۰ cm/min

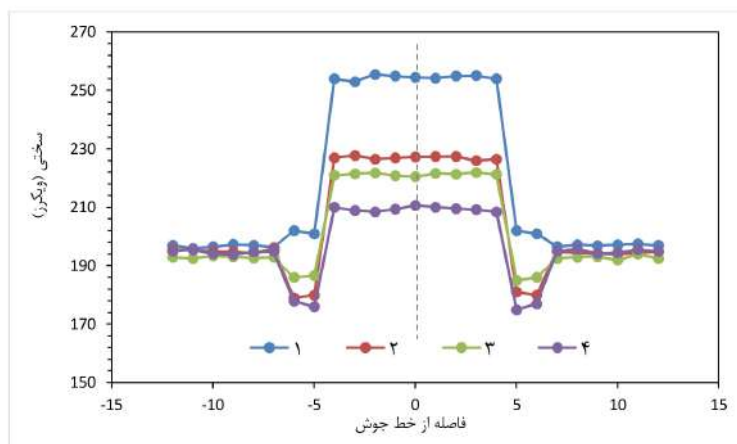
Welding Research



شکل ۳- ناحیه جوش جوش نمونه جوش زیر بودری چندسیمه با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۳۵ ولت و سرعت پیشروی ۱۴۰ cm/min



شکل ۴- ناحیه جوش جوش نمونه جوش زیر بودری چندسیمه با جریان ۷۰۰ آمپر، ولتاژ ۴۵ ولت و سرعت پیشروی ۱۴۰ cm/min



شکل ۵- پروفیل سختی نمونه های جوش ایجاد شده

تأثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و کنترل ترک های اتصال جوش نیمونیک ۱۰۵

محمد جواد نامی^۱، رضا دهملابی^۲، خلیل رنجبر^۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی ریزساختار و ترک خوردن ناحیه متأثر از حرارت سوپر آلیاژ رسوب سخت شونده نیمونیک ۱۰۵ میباشد. این آلیاژ پیش از جوشکاری، تحت عملیات آنیل انحلالی در دمای ۱۱۵۰ سانتیگراد و زمان ۴ ساعت قرار گرفت. جوشکاری با استفاده از فرایند قوس تنگستن-گاز و فلز پرکننده ERNiCrMo-3 (اینکونل ۶۲۵) انجام گرفت. بررسی ریزساختاری با کمک میکروسکوپ نوری و الکترونی نشان داد که ساختار تمامی نیمونیک ها به صورت انجمادی و متشکل از دندریت ستونی است. HAZ نمونه B و C به ترتیب با حرارت ورودی ۲/۴۶ و ۱/۲۷ کیلو ژول بر میلیمتر دچار ترک خوردن ذوبی شده است.

کلمات کلیدی: جوشکاری، سوپر آلیاژ، عملیات حرارتی، ترک خوردن ذوبی.

مقدمه

هنگام استفاده از فلزات در دمای بالا، حفظ استحکام و مقاومت به خوردگی بسیار مهم است. این امر باعث شد که محققان فولادهای زنگ نزن را برای کاربردهای دما بالا پیشنهاد دهند. اما این فلزات در دماهای بالا دارای استحکام محدودی هستند. دانشمندان برای پاسخ به این نیاز اساسی در صنعت، سوپر آلیاژها را جایگزین فولادهای زنگ نزن کردند [۱]. این آلیاژها می توانند به صورت ریختگی، کار شده و یا به روش متالورژی پودر تولید شوند.

مهم ترین طبقه بندی سوپر آلیاژها، از لحاظ ترکیب شیمیایی است که به سه دسته ی آلیاژهای پایه نیکل، پایه آهن-نیکل، پایه کبالت تقسیم می شوند. از میان این سه دسته، سوپر آلیاژهای پایه نیکل کاربرد بیشتری دارند. آلیاژهای پایه نیکل عموماً بر اساس ترکیب شیمیایی طبقه بندی می شوند که بر این اساس به نیکل خالص تجاری، استحکام یافته محلول جامد، استحکام یافته رسوبی و استحکام یافته با توزیع اکسید تقسیم بندی می شوند [۱ و ۲].

سوپر آلیاژهای پایه نیکل استحکام یافته محلول جامد عمدتاً به وسیله افزودن عناصر آلیاژی جانشینی نظیر کروم، آهن و مولیبدن استحکام می یابند. افزودن عناصر آلیاژی جانشینی موجب انبساط شبکه مکعبی با وجوه مرکز پر غنی از نیکل، و در نتیجه موجب استحکام فاز آستنیت می گردد. این نوع سوپر آلیاژ معمولاً حاوی کاربیدهایی هستند که طبیعت هر کدام به ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی وابسته است. آلیاژهای استحکام یافته با توزیع

اکسید برای شرایط کاری دشوار، نظیر مقاومت خزشی و خوردگی خوب در دماهای بالا، گسترش یافته اند. ساختار سوپر آلیاژهای پایه نیکل رسوب سختی شونده شامل یک زمینه آستنیتی و فازهای بین فلزی است. در واقع این دسته از سوپر آلیاژهای پایه نیکل دارای عناصر آلیاژی است که وقتی تحت شرایط عملیات حرارتی مناسب قرار می گیرند، رسوب هایی در زمینه به وجود می آید.

وجود همین رسوب ها باعث حفظ استحکام آلیاژ در دمای بالا می شود. بعد از عملیات حرارتی دو نوع رسوب استحکام بخش گاما پریم یا گاما دابل پریم می تواند در ساختار پدید آید. گاما پریم به دلیل وجود عناصر آلیاژی آلومینیوم و تیتانیوم تشکیل می شوند که دارای ترکیب $Ni_3(Ti,Al)$ هستند و رسوب گاما دابل پریم معمولاً به صورت $Ni_3(Nb)$ است.

از جمله سوپر آلیاژهای رسوب سختی پایه نیکل، آلیاژ کار شده نیمونیک ۱۰۵ بر پایه نیکل-کروم-کبالت است که با عناصری مانند مولیبدن، آلومینیوم، تیتانیوم استحکام یافته است و نیمونیک ۱۰۵ برای کار در دمای بالا ۹۵۰ درجه سانتیگراد توسعه داده شده است. ترکیب آلیاژهای پایه نیکل پیر سختی شونده دارای استحکام بالا و همراه با مقاومت خزشی مناسبی است. این آلیاژ برای پره و دیسک توربین و... به کار می رود [۳ و ۴].

در جوشکاری سوپر آلیاژهای پایه نیکل، علاوه بر عیوب متداول در اکثر فلزات، دو عیب اساسی ترک خوردگی در هنگام جوشکاری و ترک خوردگی ناشی از عملیات حرارتی بعد از جوشکاری PWHT وجود دارد. هنگام جوشکاری، دمای ناحیه ی مجاور منطقه جوش تا در محدوده دمای لیکوئیدوس و سالییدوس آلیاژ افزایش می یابد و آلیاژ دچار ذوب جزئی میشود که منجر به تشکیل منطقه ذوب جزئی (PMZ) می شود [۵ و ۶].

ترک خوردن ذوبی در PMZ هنگامی در آلیاژهای پایه نیکل رخ میدهد که مذاب در ناحیه ذوب موضعی شده توانایی تحمل تنش های انقباضی حاصل از انجماد و در طی سرد شدن، تنش های ناشی از رسوب زایی فازهای ثانویه را نداشته باشد. معمولاً این نوع ترک در امتداد مرز دانه به وجود می آید. چاتروردی و همکاران [۷] با بررسی HAZ آلیاژ Plus 718 پی بردند که در اطراف ترک ایجاد شده روی مرز دانه ها کاربرد نوع MC غنی از Nb به عنوان محصولات انجمادی قرار دارد. با توجه به آنچه گفته شد، حرارت ورودی حین جوشکاری میتواند تأثیر قابل توجهی بر ریزساختار و جوشپذیری آلیاژ نیمونیک ۱۰۵ داشته باشد. لذا هدف از این پژوهش ارزیابی ریزساختار و حساسیت به ایجاد ترک نیمونیک ۱۰۵ است.

مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از سوپرآلیاژ پایه نیکل رسوب سخت شونده نیمونیک ۱۰۵ به عنوان فلز پایه استفاده گردید و از اینکونل ۶۲۵ (ER-NiCrMo-3) به عنوان پرکننده استفاده گردید (جدول ۱). نمونه هایی از نیمونیک ۱۰۵ به ابعاد ۵۰×۳۰×۵ میلی متر تهیه شد سپس پخ سازی برای اتصال لب به لب با زاویه ۷۰ درجه انجام شد. نمونه های آماده شده تحت عملیات حرارتی آنیل انحلالی در دمای ۱۱۵۰ سانتیگراد به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند سپس در محیط آب و نمک و یخ کونچ شدند.

روی نمونه های آنیل انحلالی شده سه خط جوش با حرارت ورودی مختلف با استفاده از روش جوشکاری قوسی تنگستن - گاز ایجاد شد. اطلاعات مربوط به جوشکاری نمونه ها در جدول (۲) ارائه شده است. برای بررسی تاثیر حرارت ورودی بر ناحیه اتصال، از سه جریان مختلف استفاده شد. حرارت ورودی بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید که در این رابطه HI حرارت ورودی (ژول بر میلیمتر)، I جریان (آمپر)، V ولتاژ، بازده جوشکاری ۰/۶ و S سرعت جوشکاری (میلی متر بر ثانیه) است.

$$HI = (I \times V \times 0.6) / S \quad (1)$$

نمونه های متالوگرافی آماده شده شامل فلز پایه، نمونه های عملیات حرارتی شده قبل از جوشکاری، نمونه های جوش با حرارت ورودی مختلف است. سطح نمونه ها تا سنباده ۵۰۰۰ پرداخت شد و در ادامه نمونه ها با آلومینا یک میکرون پولیش شدند. برای اچ نمونه ها از محلول ماربل با ترکیب 10gr CuSO₄ + 50ml HCl + 50ml H₂O استفاده شد. در ادامه برای بررسی ریزساختارهای حاصل شده از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد.

نتایج و بحث

ریزساختار آلیاژ نیمونیک ۱۰۵ در شکل (۱-الف و ۱-ب) ارائه شده است. نیمونیک ۱۰۵ سوپرآلیاژ کار شده و رسوب سخت شونده بر پایه نیکل، کروم و کبالت است که دارای زمینه آستنیت ۷ همراه با رسوبات هم سیما فاز ۷ و کاربیدهای (M: Cr, Mo) M₂₃C₆ و (MC (M: Ti, Mo) است. فاز ۷ به طور تصادفی در زمینه رسوب می کند و باعث بهبود استحکام تسلیم می شود. کاربید M₂₃C₆ ترجیحاً در مرز دانه رسوب می کند و استحکام خزشی را فراهم می کند در حالی که کاربید MC به صورت رشته ای، در زمینه پراکنده شده است.

ریزساختار بدست آمده از عملیات حرارتی آنیل انحلالی نیمونیک ۱۰۵ در شکل (۱-ج) دیده می شود. در نمونه آنیل انحلالی شده کاربید MC به صورت تصادفی در زمینه پراکنده شده است و دیگر به صورت رشته ای، در زمینه توزیع نشده است. بسیاری از محققان نشان داده اند که رژیم حرارتی قبل از جوشکاری و اندازه دانه بر کنترل حساسیت به ترک خوردن ذوبی و پیرکنشی در منطقه HAZ تاثیر فراوان دارد [۸].

از این جهت که هر چه اندازه دانه کاهش یابد، چگالی مرز دانه افزایش می یابد و اجازه می دهد که کرنش با سهولت بیشتری وفق داده شود، در نتیجه کرنش واحد برای یک مرز دانه معین کاهش می یابد. این امر پتانسیل مورد نیاز برای لغزش مرز دانه و آغاز ترک را کاهش می دهد. ریزساختار منطقه جوش با کمک میکروسکوپ نوری در شکل (۲) بررسی شده است. تفاوت در حالت انجماد و میزان جدایش در منطقه جوش را با پارامترهای نرخ رشد (R) و گرادیان دمایی (G) می توان بررسی کرد. دمای فلز پایه در مرز ذوب (فصل مشترک فلز پایه و فلز جوش) کمتر از مرکز حوضچه جوش است که باعث ایجاد گرادیان دمایی در مرز ذوب می شود (GFI زیاد؛ اما گرادیان دمایی در خط مرکزی جوش نسبت به مرکز حوضچه جوش کم است GCI کم) و هم چنین تحت انجماد ترکیبی در مرز ذوب نسبت به مرکز جوش کمتر است که این مسئله باعث نرخ رشد R کمتر در مرز ذوب نسبت به خط مرکزی جوش می شود. بنابراین با توجه به این که $GCL < GFL$ و $RFL >> RCL$ می توان نوشت:

$$\left(\frac{G}{R}\right)_{CL} \ll \left(\frac{G}{R}\right)_{FL}$$

از خط ذوب به سمت خط مرکزی جوش، نسبت G/R کاهش می یابد. بنابراین که منجر به تغییر حالت انجماد به ترتیب از صفحه ای به سلولی، دندریتی ستونی، و دندریتی هم محور تغییر می کند. وقتی که سرعت جوشکاری ثابت است با افزایش میزان حرارت ورودی، گرادیان دمایی G کاهش یافته و به تبع آن نسبت G/R کاهش می یابد و حالت غالب انجماد، دندریتی خواهد بود. در حالی که با میزان حرارت ورودی کمتر، نسبت G/R بیشتر بوده و انجماد سلولی غالب خواهد بود. همان طور که در شکل (۲) مشاهده می شود حرارت ورودی اعمال شده به فلزات پایه در شرایط آنیل انحلالی شده به گونه ای است که ساختار منطقه جوش به صورت دندریتی ستونی است [۹].

شکل (۳) ریزساختار منطقه HAZ نمونه ها با حرارت های ورودی مختلف را نشان می دهد. در نزدیکی مرز ذوب، نمونه های B و C ذوب ترکیبی مرز دانه ها اتفاق افتاده است اما در نمونه A ذوب ترکیبی مشاهده نمی شود. مذاب قابل توجهی در امتداد مرز دانه های HAZ نمونه B و C تشکیل شده است. این فیلم می تواند عامل ترک خوردن باشد. اگر چه بسیاری از محققان تاثیر ریزساختار اولیه فلز پایه روی حساسیت به ترک خوردن را بررسی کردند اما نتایج آن ها اغلب متناقض بوده است [۱۰ و ۱۱ و ۱۲]. در این پژوهش برای مقاومت به ترک خوردن ذوبی HAZ استفاده از عملیات آنیل انحلالی، منفی ارزیابی شده است. ترک خوردن ذوبی HAZ نیمونیک ۱۰۵ با مکانیزم ذوب ترکیبی ذرات کاربید MC در مرز دانه ها به وجود آمده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش به جوشکاری آلیاژ نیمونیک ۱۰۵ در شرایط آنیل انحلالی با استفاده از فرایند GTAW و فلز پرکننده ERNiCrMo-3 پرداخته شد و تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و

ALLVAC® 718PLUS™ superalloy," vol. 480, pp. 517-528, 2008.

8-J. Andersson, G. P. Sjoberg, L. Viskari, and M. Chaturvedi, "Effects of different solution heat treatments on the hot ductility of superalloys Part 3- Waspaloy," Mater. Sci. Technol. (United Kingdom), vol. 29, no. 1, pp. 43-53, 2013.

9-J. N. DuPont, "Solidification of an alloy 625 weld overlay," Metall. Mater. Trans. A, vol. 27, no. 11, pp. 3612-3620, 1996.

10-N. C. Sekhar and R. C. Reed, "Power beam welding of thick section nickel base superalloys," Sci. Technol. Weld. Join., vol. 7, no. 2, pp. 77-87, 2002.

11-B. Radhakrishnan and R. G. Thompson, "The effect of weld heat-affected zone (HAZ) liquation kinetics on the hot cracking susceptibility of alloy 718," Metall. Mater. Trans. A, vol. 24, no. 6, pp. 1409-1422, 1993.

12-O. A. Ojo and N. L. Richards, "Heat-affected zone cracking in welded nickel superalloys," in Welding and Joining of Aerospace Materials, Elsevier, 2012, pp. 142-177.

پی نوشت

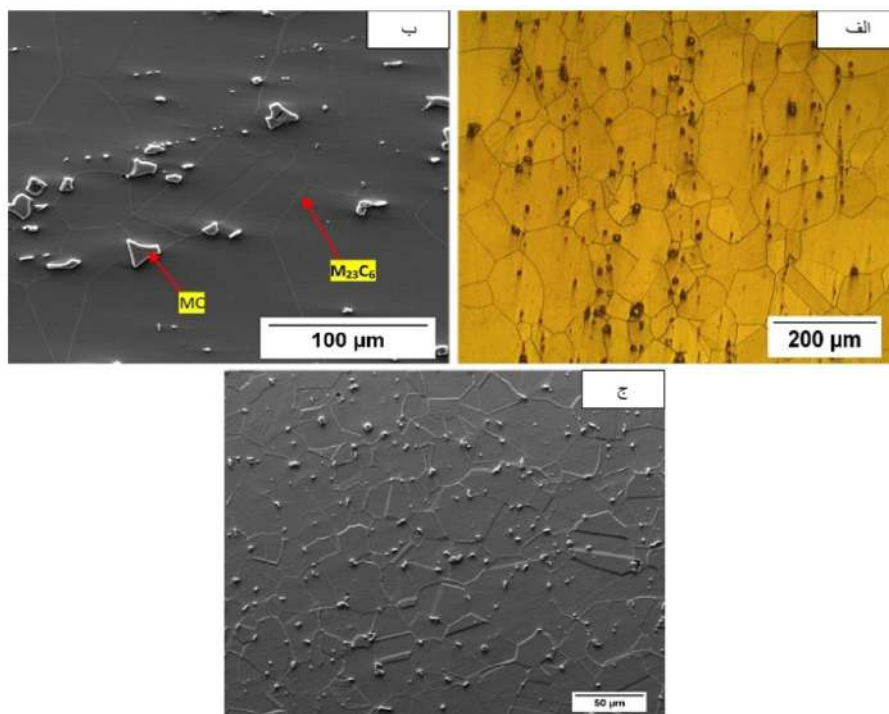
- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد جوشکاری، دانشگاه شهید چمران اهواز
- 2- استادیار، دانشگاه شهید چمران اهواز
- 3- استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز

حساسیت به ترک ناحیه جوش بررسی گردید و نتایج زیر حاصل شد. -ساختار فلز جوش در تمامی نمونه ها به صورت انجمادی است و شامل دندریتهای ستونی است.

-ناحیه HAZ نمونه B و C به ترتیب با حرارت ورودی ۲/۴۶ و ۱/۲۷ کیلوژول بر میلیمتر به دلیل ذوب ترکیبی کاربید MC دچار ترک خوردگی ذوبی شدند

منابع

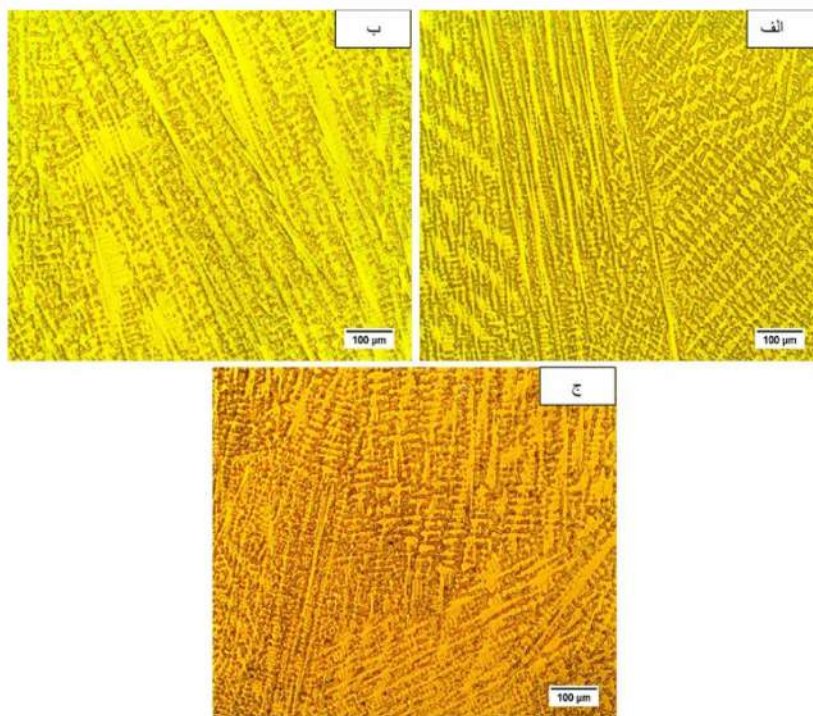
- 1-M. J. Donachie and S. J. Donachie, Superalloys: a technical guide. ASM international, 2002.
- 2-R. C. Reed, The superalloys: fundamentals and applications. Cambridge university press, 2008.
- 3-M. Durand-Charre, The microstructure of superalloys. Routledge, 2017.
- 4-B. Geddes, H. Leon, and X. Huang, Superalloys: alloying and performance. Asm International, 2010.
- 5-S. Kou, "Welding metallurgy," New Jersey, USA, pp. 431-446, 2003.
- 6-J. N. DuPont, J. C. Lippold, and S. D. Kiser, Welding Metallurgy and Weldability of Nickel-Base Alloys. John Wiley & Sons, 2009.
- 7-K. R. Vishwakarma, N. L. Richards, and M. C-7 Chaturvedi, "Microstructural analysis of fusion and heat affected zones in electron beam welded



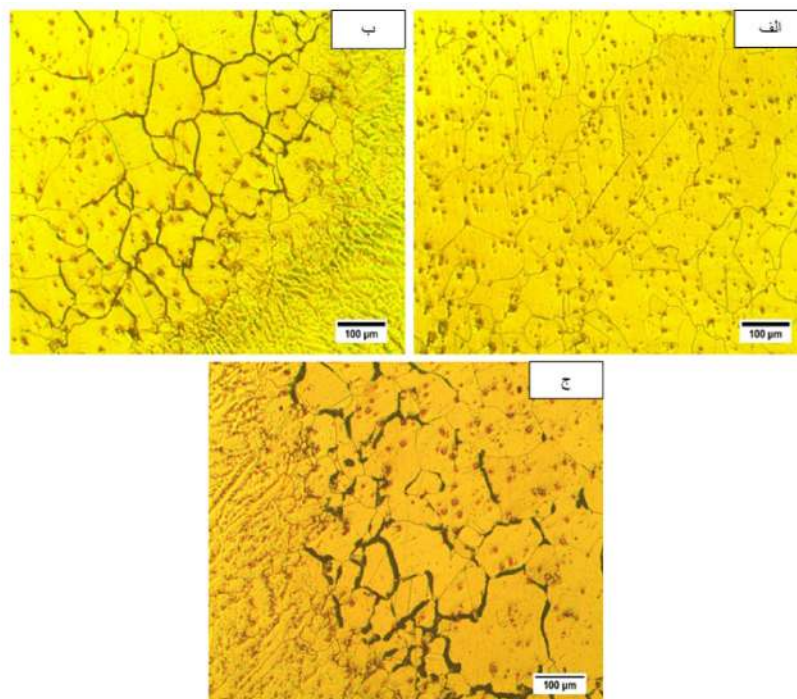
شکل ۱- ریزساختار نیمونیک ۱۰۵

الف - تصویر میکروسکوپ نوری فلز پایه ب - تصویر الکترون ثانویه (SEM) فلز پایه ج - تصویر الکترون ثانویه (SEM) نمونه آنیل انحلالی

Welding Research



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فلز جوش در شرایط حرارت ورودی مختلف
الف- نمونه A ب- نمونه B ج- نمونه C



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار HAZ نیمونیک ۱۰۵ حاصل از در شرایط حرارت ورودی مختلف
الف- نمونه A ب- نمونه B ج- نمونه C

Welding Research

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده بر حسب درصد وزنی

	Ni	Fe	Cr	Co	Mo	Al	Ti	Nb	C	Mn	Si	Cu	Zr	B	نوع
58	5	22	0	10	0.4	0.4	3.15	0.1	0.5	0.5	0	0	0	0	ER-NiCrMo-3
47	1	15.7	22	5.5	4.9	1.5	0	0.17	1	1	0.2	0.15	0.01	0	Nimonic 105

جدول ۲- پارامترهای جوشکاری

عملیات حرارتی قبل از جوشکاری	ولتاژ (V)	سرعت جوشکاری (mm/s)	آمپر (A)	حرارت ورودی (Kj/mm)	نمونه
آنیل انحلالی (ST)	۹	۰/۱۵	۷۵	۲/۵۷	A
	۱۲	۰/۳	۱۰۵	۲/۴۶	B
	۱۰	۰/۴۲	۹۰	۱/۲۷	C

