بررسی رفتار خوردگی جوش همزن اصطکاکی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ با روش کاوشگر روبشی کلوین استاندارد

على عرب زاده'، بهمن كروجى ** ، سيد مصطفى موسوىزاده"، سيد عليرضا حسينى *

۱ دکتری، ۲استادیار، ۴دانشیار ، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد و پلیمر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران ۳استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد، دانشگاه گناباد، گناباد، ایران * نویسنده مسئول: b.korojy@hsu.ac.ir

> تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷ چکیده

در این تحقیق رفتار خوردگی جوش همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای ^۱ آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ بررسی شده و با رفتار خوردگی فلز پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. نمونه جوشکاری با سرعت چرخش ۲۵۰۰ دور در دقیقه در مدت زمان نگهداری ۱۲ ثانیه انجام شد. میزان فروروی ابزار در سطح نمونه ۱/۰ میلی متر، قطر ابزار ۱۶ میلی متر و زائده دایرهای شکل زیر نمونه ها با قطر ۱۰ و ارتفاع ۴/۰ میلی متر از سطح میز کار تعبیه شدند. با استفاده از روش آزمون پلاریزاسیون تافلی و کاوشگر روبشی کلوین استاندارد^۲ و از طریق تغییرات پتانسیل سطوح جوش و فلز پایه و همچنین تغییرات چگالی شدت جریان خوردگی، رفتار خوردگی جوش همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پتانسیل خوردگی ناحیه جوش در مقایسه با فلز پایه کاهش می یابد. اما این کاهش منجر به افزایش قابل ملاحظه چگالی جریان خوردگی نشده است. همچنین ناحیه جوش ایجاد شده

کلیدواژه: جوشکاری همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای ؛ کاوشگر روبشی کلوین ؛ رفتار خوردگی ؛ آلومینیم ۲۰۲۴

^{1 -} Projection Friction Stir Spot Welding, (PFSSW)

^{2 -} Standard scanning Kelvin Probe, (SKP)

Investigating Into the Corrosion Behavior of Friction Stir Welding of 2024 Aluminum Alloy by Standard Scanning Kelvin Probe Method

A. Arabzadeh¹, B.Korojy^{2*}, S.M.Mousavizade³, SA. Hosseini⁴

¹Ph. D, ² Assistant Professor, ⁴Associate Professor, Department of Materials and Polymer engineering, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran ³Assistant Professor, Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, University of Gonabad, Gonabad, Iran

* Corresponding Author: b.korojy@hsu.ac.ir

Submission: 2022,12,14

Acceptance: 2023,02,06

Abstract

In the present study, the corrosion behavior of projection friction stir spot welding of 2024 aluminum alloy has been investigated and compared with the corrosion behavior of the base metal. Welding of sample was performed with the rotation speed of 2500 rpm and the dwell time of 12 seconds. The penetration depth of the tool on the surface of the sample was 0.1 mm, the diameter of the tool was 16 mm, and a circular protrusion with a diameter of 10 mm and a height of 0.4 mm was placed below the working table. By using Tafel polarization test method and standard Scanning Kelvin Probe through potential chang of weld surfaces and base metal as well as chang in corrosion current density, the corrosion behavior of projection friction stir spot welding was investigated. The results showed that the corrosion potential of the weld area is reduced compared to the base metal, although this reduction has not led to a significant increase in corrosion current density. Also, the welding zone has higher corrosion current density than the base metal region.

Keywords: Projection Friction Stir spot welding; Scanning Kelvin probe; corrosion behavior; 2024 aluminum alloy

۱_ مقدمه

امروزه با توجه به کاربرد فراوان آلیاژهای آلومینیم در صنایع اتومبیل، هوا فضا، نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی و دیگر صنایع مرتبط، جوشکاری و اتصالات این آلیاژها از اهمیت خاصی برخوردار است [۱]. روش های اتصال نقطهای در صنایع مختلف کاربرد فراوان دارند. استفاده از روش مناسب و مقرون به صرفه در اتصال نقطهای محصولات صنعتی نقش مهمی در افزایش کیفیت آنها دارد. وجود جوشهای نقطهای با کیفیت نامطلوب مي تواند سبب كاهش كيفيت محصولات صنايعي كه از ورق فلزی استفاده میکنند، مانند صنایع خودروسازی، هوافضا، نفت و تجهیزات پالایشگاهی گردد چرا که از یک طرف در وسایل نقلیه به هنگام تصادفات جوش های نقطه ای نقش مهمی در جذب انرژی و انتقال نیرو ایفا میکنند و می توانند تعیین کننده ایمنی سرنشینان وسیله نقلیه باشند و از طرفي در صنايع نفت و گاز اين جوشها در معرض دما، فشار، بارهای متناوب، لرزش و سیالات مختلف قرار دارند، لذا مىبايست از مقاومت به خوردگى و استحكام بالايي برخوردار باشند. علاوه بر این، حرکت در مسیرهای ناهموار و شرایط متغیر رانندگی همواره سبب اعمال بار اضافی بر جوشهای نقطهای میشوند [۵-۲]. در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی نیز این اتصالات نه تنها از نظر استحکام مکانیکی دارای اهمیت هستند بلکه با توجه به شرایط محیطی، میبایست از نظر مقاومت در برابر خوردگی نیز در وضعیت مطلوبی قرار گیرند. تولید جوشهای با استحکام بالا، بدون عیب و مقاوم در برابر خوردگی، نیازمند استفاده از روشهای جوشکاری نقطهای مقرون به صرفه و دارای کیفیت بالا است. کیفیت در جوشکاری نقطهای به عوامل متعددی از قبیل مقاومت مکانیکی، مصرف انرژی ومقاومت در مقابل خوردگی مربوط مي باشد [1].

زرقانی و همکاران [۶] روش جوشکاری همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای را برای بررسی اثر زمان ماندگاری ابزار^۱ (۶، ۱۲ و ۱۸ ثانیه) بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی ورقهای آلومینیم ۲۰۲۴ به ضخامت ۱ میلیمتر مورد بررسی

قرار دادند. دوراندیش و همکاران [۷] خواص مکانیکی و ریزساختاری جوش همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای ورقهای آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ به ضخامت ۱ میلیمتر را مورد بررسی قرار دادند. سرعت چرخشی ابزار و ارتفاع زائده به عنوان متغیرهای موثر برای ایجاد شرایط بهینه جوش مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که جوشهای عاری از سوراخ کلیدی ایجاد شده توسط این روش دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به جوش همزن اصطکاکی معمول میباشند.

۱ ـ ۱ ـ خوردگی در جوش همزن اصطکاکی آلیاژهای آلومینیم

توزت و همکاران [۸] ارتباط بین ریزساختار، سیختی و حساسیت به خوردگی اتصالات جوش همزن اصطکاکی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ را با استفاده از دو روش آزمون خوردگی بین دانهای نرمالیزه شــده مطابق اســتاندارد ASTM-G110 و اندازه گیری پتانسیل الکتروشیمیایی مدار باز مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نشان داده شد که ناحیه HAZ نزدیک به TMAZ به خاطر حضور خطوط پیوستهی رسوبات فاز (S) در مرز دانه ها مستعدترین ناحیه به خوردگی بین دانهای است. ناحیه HAZ مجاور TMAZ مستعدترین ناحیه برای خوردگی است. در این ناحیه شیب بالایی از ریز سختی و يک پتانسيل الکترونگاتيوي پايدار وابسته به حضور نواحي آندی پیو ستهی بی شماری وجود دارد. این نواحی آندی که به صورت ترکیبات بین فلزی درشت و رسوبات بین دانهای نرم S'(S) مشـخص هسـتند، مسـتعد هر دو نوع خوردگی حفرهای و بین دانهای خواهند بود. در فلز پایه برخی از مرز دانه ها مورد حمله قرار گرفته و همچنین تعداد کمی حفره مشاهده شد. در ناحیه HAZ مجاور TMAZ ، ناحیهای همگن از خوردگی بین دانهای و تعداد کمی حفره نیز همانند فلز پایه مشاهده شد. در ناحیه TMAZ ، برخی مرزدانه ها مورد حمله قرار گرفته و تعدادی حفره وجود داشت. در ناحیه همزده

^{1 -} Tool dwell time

مکانیزم اصلی خوردگی، از نوع حفرهای است. [۸]. سیترامان و همکاران [۹] ارز یابی خوردگی جوش همزن اصطکاکی آلیاژ آلومینیم AA۲۰۲۴ را به روش آزمون مه نمکی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ورق نورد شیدهی آلیاژ آلومینیم AA۲۰۲۴ با ضـخامت ۵ میلیمتر به روش همزن اصطکاکی جو شکاری شدہ است. عملکرد خوردگی نمونہ ہا در محلول NaCl بوســیله آزمون مه نمکی در مقادیر pH و غلظة های مختلف یون کلر و ز مان پاشــش مة فاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. نرخ خوردگی در pH خنثی کاهش پیدا کرد و در pH های اس_یدی و قلیایی نرخ خوردگی افزایش یافت. همچنین م شخص شد که سرعت خوردگی با افزایش زمان پاشــش، کاهش یافت، اما با افزایش زمان و افزایش غلظت يون كلريد شكل خوردگي به شكل يكنواخت تمايل پیدا کرد و نرخ خوردگی در آز مایش خوردگی پاشــش نمک آفزایش یافت. در مطالعه ریز ساختاری مشخص شد که مورفولوژی خوردگی و حفره دار شـــدن در جوش همزن اصطکاکی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ بستگی به میزان pH محلول، زمان پاشــش و غلظت يون كلريد دارد. همچنين، فاز S يعنى فاز ثانویه، نسبت به فلز یایه (Al) به صورت کاتدی عمل کرده و عامل افزایش میزان خوردگی است [۹]. یاساکو و همكاران [۱۰]، ساختار خوردگي و مهار خوردگي آلياز آلومینیم ۲۰۲۴ را توسط روش SKPFM مورد بررسے قرار دادند. در این تحقیق تاثیر خوردگی با اندازه گیری پتانسیل ولتا و نقشهبرداری سطحی فلز پایه و ذرات بین فلزی فاز S بعد از غوطه وری در الکترولیت های مختلف با pH متفاوت مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده شد که حضور آنیونهای كلريد در محلول الكتروليت باعث افزايش پتانسيل سطح فلز آلومينيم تا حدود ١٠٠ ميلي ولت گرديد. اين افزايش يتانسيل مي تواند ناشبي از جذب يون هاي كلريد و ادغام آن ها در لايه اكسيد سطحي بوده كه باعث تغيير خواص نيمه هادي لايه اکسید شده است. نواحی اطراف ذرات بین فلزی فاز S به طور

قابل توجهي تغيير يافتند كه نشان دهنده افزايش قابل ملاحظه پتانسیل در این نواحی است. این نواحی با افزایش میزان اکسیژن در ارتباط هستند که نشاندهنده تشکیل لایه اکسید ضخیم تر بهدلیل پلاریزا سیون مو ضعی ا ست. مایکل رودر و همکاران [۱۱] ضـمن معرفی حالت کاوشـگر کلوین در میکروسکوپ نیروی اتمی (SKPFM) در زمینههای مختلف از علم خوردگی گرفته تا علوم زیستی، آن را با تکنیک کاوشـگر رویشـی کلوین اسـتاندارد مقایسـه نمودند. برای بسياري از اين كاربردها، وضوح بالآمورد نياز است زيرا اطلاعات مربوطه در لایه های زیرمیکروسکویی و یتانسیل سطوح مربوطه نهفته است که تمایل به استفاده از این روش را افزایش میدهد. با این حال در مقایسه با روش کاوشگر روبشی کلوین استاندارد، داده های اندازه گیری شده در روش SKPFM دارای پیچیدگی و خطاهای بیشتری است. به همین دلیل اســتفاده از روش SKP در آزمونهای خوردگی قابلیت اطمینان و کاربرد بیشــتری دارد و معمولا در روش SKPFM كنتراست پتانسيل دقيقي بدست نمي آيد. همچنين نتايج آزمایش در روش SKP از وضوح بالاتری برخوردار است.

۲ ـ مواد و روش آزمایش ۲ ـ ۱ ـ معرفی فلز پایه

در این پژوهش ورقهایی مستطیل شکل از جنس آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ با ضخامت ۱ میلیمتر و ابعاد ۴/۵ در ۱۰/۵ سانتیمتر مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی ورقها با استفاده از دستگاه کوانتومتر^۴اندازه گیری شد و در جدول ۱ گزارش شده است.

۲ ـ ۲ ـ معرفی روش جوشکاری همزن اصطکاکی نقطهای زائده ای و ابزار جوشکاری

روش جوشکاری مورد استفاده در این تحقیق که برای ایجاد جوش همزن اصطکاکی بدون سوراخ کلیدی، براساس ابزار بدون پین و طراحی خاص زائده برروی سندان معرفی شده (شکل ۱) خواص مکانیکی خوبی از خود نشان داد [۱, ۱۲,

^{1 -} Salt fog test

^{2 -} Salt spray corrosion test

^{3 -} High resolution

^{4 -} Quantometer

۱۳]. جزییات روش جوشکاری و ابزار مورد استفاده قبلا گزارش شده است [۱۳٫۱].

۲ ـ ۳ ـ پارامترهای جوشکاری

در پژوهش حاضر بعد از آزمونهای جوشکاری متعدد کارگاهی در پارامترهای متفاوت، نمونه ایی بر اساس سالم بودن ظاهر جوش و حفظ خواص مکانیکی و ریزساختاری انتخاب شد[۱, ۶, ۷, ۱۳]. نمونه سالم انتخاب شده با سرعت چرخش ۲۵۰۰ دور در دقیقه در مدت زمان نگهداری ۱۲ ثانیه جو خشکاری شده است . میزان فروروی ابزار در سطح نمونه ۱/۰ میلی متر در نظر گرفته شد. قطر ابزار ۱۶ میلی متر از سطح دایره ای شکل دارای قطر ۱۰ و ارتفاع ۲/۰ میلی متر از سطح میز کار در نظر گرفته شد.

۲ ـ ۴ ـ آزمونهای خوردگی

جهت بررسیی خوردگی جوش همزن اصطکاکی نقطهایی زائدهایی، آزمونهای پلاریزاسیون سیکلی، آزمون غوطهوری نمونهها در محلول خورنده NaCl ۸/۰٪۳ و آزمون کاو شگر روبشی کلوین استاندارد قبل و بعد از غوطهوری نمونه در محلول خورنده انجام شد.

۲ ـ ۴ ـ ۱ ـ روش آزمونهای پلاریزاسیون تافلی

آزمون های الکتروشیمیایی پلاریزاسیون تافلی روی مقطع عرضی ناحیه جوش نمونه به مساحت ۱۰ میلیمتر مربع انجام شده است. برای این منظور، اطراف ناحیه جوش با رزین اپوکسی مانت شد تا سطحی صاف و یکنواخت از مقطع عرضی ناحیه جوش برای انجام آزمون های الکتروشیمیایی در د سترس با شد. قبل از انجام آزمایش ها، ابتدا نمونه مانت شده با سمباده های شماره ۲۲۰، ۳۲۰، ۵۰۰ و ۸۰۰، ۱۰۰۰

جدول ۱ ـ ترکیب شیمیایی ورق آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴

Al		Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Si	Cr	عنصر
، مانده	باقى	۴/۹	1/88	•/979	•/129	•/14	•/•14	•/•17٣	درصد وزنى

۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ صیقل کاری شده و در ادامه با آب مقطر شستشو و با اتیل الکل چربی گیری و شستشوی نهایی شد. در ادامه برای جلوگیری از تماس محلول خورنده با فلز پایه در نواحی مجاور جوش (نواحی غیر جوش)، این نواحی با لاک عابق شدند.

آزمونهای پلاریزا سیون در محلول ساکن ۳/۵ در صد کلرید سدیم و در دمای اتاق انجام شد. در سلول آزمایش، از یک میله گرافیتی به عنوان الکترود کمکی و از الکترود Ag/AgCl با محلول اشباع از AgCl به عنوان الکترود مرجع استفاده شد. آزمونهای پلاریزا سیون بلافا صله پس از تثبیت پتانسیل مدار باز نمونهها که حدود ۴۵۰ میلی ولت بود انجام شد. مدت زمان تثبیت پتانسیل برای همه نمونهها حدود یک ساعت بوده است. معیار شروع آزمایش ها عدم تغییر پتانسیل مدار باز بیشتر آزمونهای پلاریزاسیون با دستگاه Acome مدار باز بیشتر آزمونهای پلاریزاسیون با دستگاه Acome محاور گی شروع انجام شد. نرخ روبش پتانسیل ۱۰ میلی ولت مورد گی شروع پتانسیل از ۲۰۰ میلی ولت منفی تر از پتانسیل خورد گی شروع و تا حدود ۲۰۰ میلی ولت مثبت تر از پتانسیل خورد گی ادامه پتانسیل از ۲۰۰ میلی ولت مثبت تر از پتانسیل خورد گی ادامه پتانسیل از ۲۰۰ میلی ولت مثبت تر از پتانسیل خورد گی ادامه زو تا حدود ۲۰۰ میلی ولت مثبت تر از پتانسیل خورد گی ادامه

۲ ـ ۴ ـ ۲ ـ آزمون غوطه ورى

به منظور بررسی خوردگی سطوح جو شکاری شده قبل و بعد از غوطهوری و اثر محلول خورنده بر روی آن، نمونه جو شی تا سمباده شماره ۴۰۰۰ صیقل کاری شده و سپس غوطهوری آنها به مدت ۲۰ ساعت در محلول کلرید سدیم ۳/۵ در صد وزنی در دمای محیط انجام شد.



شکل ۱ ـ طرح کلی از ابزارهای جوشکاری همزن اصطکاکی نقطهای زائدهای مورد استفاده در این تحقیق[۱۳]

نمونه ها ۲۳ انتخاب شده است. برای تحلیل آماری نتایج آزمون های SKP از نرم افزار های Excel، Matlab و MagicPlotPro استفاده شد. به منظور درک بهتر نتایج آزمون های SKP، از تابع گاوسی (رابطه ۱) برای برازش نحوه توزیع داده های پتانسیل استفاده شد[۱۶, ۱۶]:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \exp\left[-\frac{2(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right]$$
(1) (1)

شکل این تابع زنگولهای متقارن است که به سرعت به صفر نزول می کند. در رابطه فوق، Y عدد شــمارش، σ انحراف استاندارد دادهها (تعیین کننده میزان کشیدگی یا پهن شدگی زنگوله)، μ مقدار میانگین (محل مرکز قله نمودار برازش) دادههای پتانسیل و x عدد پتانسیل است[۱۶].

۳ - نتایج و بحث
۳ - ۱ - نتایج آزمون پلاریزاسیون
نمودارهای پلاریزاسیون تافلی فلز پایه و فلز جوش در شکل ۲
آورده شده است. نتایج حاصل از تحلیل نمودارهای
پلاریزاسیون در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که

۲_۴_۳ آزمون کاوشگر روبشی کلوین استاندارد آزمونهای کاوشگر روبشی کلوین استاندارد در مقطع عرضي نمونهها انجام شد. اين آزمونها قبل از غوطهوري نمونه ها و همچنین بعد از ۲۰ ساعت غوطه وری در محلول کلرید سدیم ۳/۵ در صد وزنی انجام شده است. برای انجام آزمون های SKP قبل از غوط وری، ابتدا نمونه ها با سمباده های شماره ۲۲۰، ۳۲۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰، ۱۰۰۰ ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ صیقل کاری شده و در ادامه با آب مقطر شستشو و با اتیل الکل چربی گیری و شستشوی نهایی شدند. این آزمونها روی نمونهها پس از پایان ۲۰ ساعت غوطهوری نیز انجام شــده اسـت. آزمونهای SKP توسـط دســتگاه Scanning Electrochemical Workstation Model M370 ساخت شرکت Uniscan انجام شده است. همچنین، این آزمون ها در دما و اتمسفر اتاق (با رطوبت نسبی ۲۵٪) انجام شده است. برای انجام آزمونهای SKP از یک پروب تنگسـتن با قطر ۵۰۰µm اسـتفاده شـد. فاصـله نوک پروب تنگستن از سطح نمونهها هنگام اجرای آزمونهای SKP در حدود ۱۰۰μm تنظیم گرد ید. همچنین پروب تنگســتن با دامنه ۳۰ µm و فرکانس ۸۰ Hz در ارتعاش بوده است. گام روبش در جهت طول نمونه ۱۰µm و در جهت عرض

شاخه کاتدی نمودارهای پلاریزاسیون (βc) نیز نشان میدهد که سرعت خوردگی تحت تأثیر یلاریزاسیون غلظتی قرار دارد و با پلاريزاسيون غلظتي کنترل مي شود [۱۴]. نکته جالب توجه دیگر این است که با اعمال فرآیند جوشكارى PFSSW روى ورق آلومينيم، پتانسيل خوردگى ناحیه جوش به سمت مقادیر منفی تر منتقل می شود که بیانگر افزایش حساسیت به خوردگی ورق آلومینیم پس از اعمال فرآیند جوشکاری PFSSW است. با این حال، با تجزیه و تحليل نمودارهاي پلاريزاسيون طبق دادههاي استخراج شده از این نمودار در جدول ۲، مشاهده می شود که این انتقال پتانسیل منجر به افزایش قابل ملاحظه چگالی جریان خوردگی نمونه نشده است. همچنین مشاهده می شود خوردگی ناحیه جوش از نظر پتانسیل سطحی متفاوت از فلز يايه بوده است؛ ولي اين تغيير قابل ملاحظه نبوده است. مقايسه نتايج نشان ميدهد كه نمونه جوش ايجاد شده داراي چگالي جريان خوردگي بيشتري نسبت به نمونه فلز يايه است.

مشاهده می شود، شاخه آندی نمودار پلاریز اسیون نمونه ها با تغييرات بسيار كم يتانسيل، افزايش شديد جريان را تجربه کرده است. به عبارت دیگر، نمودارهای پلاریزاسیون برای نمونهها دارای شیب تافلی بسیار کمی در شاخه آندی (βa) هستند. این بدان معنی است که نمونه ها در محلول خورنده رفتار رويين يا شبه رويين را تجربه نكرده و صرفاً به صورت فعال دچار خوردگی شدهاند. از سوی دیگر، امکان تفکیک پتانسیل شکست لایه رویین از پتانسیل خوردگی، در نمودارهای پلاریزاسیون وجود ندارد. به عبارت دیگر، يتانسيل شكست لايه رويين و يتانسيل خوردگي عملاً بسيار نزدیک به هم هستند. این نوع رفتار پلاریزاسیون بیانگر حساسیت شدید نمونه مورد آزمایش به خوردگی حفرهای است و نشان میدهد که خوردگی حفرهای در پتانسیل خوردگی رخ می دهد [۱۷]. میزان نویز مشاهده شده در شاخه کاتدی می تواند به دلیل مساحت بسیار کم ناحیه جوش و واكنش احياء اكسيژن در اين ناحيه باشد. شيب نسبتاً بالاي



شکل ۲ ـ نمودارهای پلاریزاسیون تافلی ناحیه جوش PFSSW آلومینیم ۲۰۲۴ در سرعت چرخش ابزار ۲۵۰۰ rpm و فلز پایه.

جدول ۲ ـ نتایج حاصل از تحلیل نمودارهای پلاریزاسیون آلومینیم جوشکاری شده با روش PFSSW در سرعتهای مختلف چرخش ابزار جوشکاری

Sample	E _{corr} (mV) vs. Ag/AgCl	β _a (mV/decade)	β _c (mV/decade)	i _{corr} (μA.cm ⁻²)
Base	-541	18	335	4.75
2500 rpm	-626	7.7	309	4.9

۳ ـ ۲ ـ نتایج آزمون کاوشگر روبشی کلوین استاندارد

82

در شکل ۳ نتایج آزمونهای SKP برای نمونه جوشکاری شده با سرعت ۲۵۰۰ rpm قبل و بعد از ۲۰ ساعت غوطهوری ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، توزیع پتانسیل این نمونه جوش قبل از آزمون غوطهوری از سمت فلز پایه به سمت مرکز جوش دارای یک روند کاهشی است. غوطهوری به مدت ۲۰ ساعت در محلول کلرید سدیم و خوردگی سطح فلز (در ناحیه جوش و فلز پایه) منجر به افزایش پتانسیل سطح برای همه نقاط سطح شده است. در شکل ۴ هیستو گرامهای توزيع دادههای پتانسيل در ناحيه انتخابی جوش (ناحيه محصور در داخل مستطیل خطچین) ارائه شده است. همچنین در شکل ۵ منحنی های برازش گاوسی هیستو گرامهای بدست آمده برای مقایسه بهتر، روی یک نمودار نشان داده شده است. بر اساس تحلیل و برازش نمودارهای هیستو گرام با تابع گاوس، مشاهده می شود مقدار میانگین پتانسیل سطح از mV ۷۱۶– به ۴۰۷ mV– افزایش یافته است. این افزایش پتانسیل نتيجه وقوع خوردگي روى سطح فلز و تجمع لايه نازكي از محصولات خوردگی روی سطح جوش است [۱۳]. با این حال مشاهده می شود که همه نقاط سطح جوش تقریباً دارای

شدت خوردگی یکسانی بوده و خوردگی در بخش خاصی از سطح به ویژه در مرز بین جوش و فلز پایه متمرکز نبوده است. لذا بر اساس نتایج آزمون SKP، به نظر میرسد جوشکاری با سرعت چرخش ابزار ۲۵۰۰ rpm منجر به حساسیت نواحی خاصی از جوش به ویژه نواحی مرزی آن با فلز پایه نشود.

مقایسه نتایج آزمونهای پلاریزاسیون و SKP تقریباً شرایط یکسانی از وضعیت خوردگی نمونهها را پیش بینی می کنند. بر اساس نتایج آزمونهای پلاریزاسیون، نمونه الا پایه دارای چگالی جریان خوردگی بیشتری نسبت به نمونه فلز پایه بوده است. در نمودارهای SKP نیز پتانسیلهای به مراتب منفی تری برای نمونه جوشی با سرعت دورانی ابزار rpm منفی تری برای نمونه جوشی با سرعت دورانی ابزار پتانسیل منفی تری نسبت به نمونه فلز پایه ثبت شده است. نمونه چوشی با سرعت دورانی ۲۵۰۰ هر چند تا حدودی پتانسیل منفی تری نسبت به نمونه فلز پایه داشته است ولی هر کردهاند. همچنین به دلیل خوردگی یکنواخت تر و به تبع آن تجمع یکنواخت تر محصولات خوردگی بر روی سطح فلز پایه، چگالی جریان خوردگی روی سطح فلز پایه به نسبت



شکل ۳ ـ توزیع پتانسیل سطحی (بر حسب SCE) روی سطح مقطع عرضی نمونههای آلومینیمی جوشکاری شده با روش PFSSW با سرعت چرخش ابزار ۲۵۰۰ دور بر دقیقه: (الف) قبل از غوطهوری و (ب) بعد از ۲۰ ساعت غوطهوری در محلول کلرید سدیم ۳/۵ درصد وزنی در دمای اتاق و شرایط ساکن.

84



شکل ۴ ـ هیستوگرام توزیع پتانسیل سطحی در ناحیه جوش نمونه جوشکاری شده با سرعت چرخش ابزار ۲۵۰۰ rpm (الف) قبل از غوطهوری و (ب) بعد از ۲۰ ساعت غوطهوری با توجه به نتایج آزمون SKP در شکل ۳ و منحنی برازش گاوسی (نمودارهای قرمز).



شکل ۵ ـ مقایسه منحنیهای برازش گوسی طبق شکل ۴.

مراجع

- [1] A. Arabzadeh, S.M. Mousavizade, B. Korojy, S.A. Hosseini, Projection Friction Stir Spot Welding: A New Welding Technique for Creating Safe and Reliable Aluminum Welds, Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology 9(3) (2020) 61-76.
- [2] M. Pouranvari, S. Marashi, Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties, Science and Technology of welding and joining 18(5) (2013) 361-403.
- [3] M. Pouranvari, S. Marashi, On failure mode of resistance spot welded DP980 advanced high strength steel, Canadian Metallurgical Quarterly 51(4) (2012) 447-455.
- [4] M. Pouranvari, S. Marashi, Key factors influencing mechanical performance of dual phase steel resistance spot welds, Science and Technology of Welding And Joining 15(2) (2010) 149-155.
- [5] M. Pouranvari, S. Marashi, Factors affecting mechanical properties of resistance spot welds, Materials Science and Technology 26(9) (2010) 1137-1144.
- [6] F. Zarghani, S. Mousavizade, H. Ezatpour, G. Ebrahimi, High mechanical performance of similar Al joints produced by a novel spot friction welding technique, Vacuum 147 (2018) 172-186.
- [7] S. Dourandish, S. Mousavizade, H. Ezatpour, G. Ebrahimi, Microstructure, mechanical properties and failure behaviour of protrusion friction stir spot welded 2024 aluminium alloy sheets, Science and Technology of Welding and Joining 23(4) (2018) 295-307.

- [8] E. Bousquet, A. Poulon-Quintin, M. Puiggali, O. Devos, M. Touzet, Relationship between microstructure, microhardness and corrosion sensitivity of an AA 2024-T3 friction stir welded joint, Corrosion Science 53(9) (2011) 3026-3034.
- [9] R. Seetharaman, V. Ravisankar, V. Balasubramanian, Corrosion performance of friction stir welded AA2024 aluminium alloy under salt fog conditions, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 25(5) (2015) 1427-1438.
- [10] K. Yasakau, M.L. Zheludkevich, M.G. Ferreira, Study of the corrosion mechanism and corrosion inhibition of 2024 aluminum alloy by SKPFM technique, Materials Science Forum, Trans Tech Publ, 2008, pp. 405-409.
- [11] M. Rohwerder, F. Turcu, High-resolution Kelvin probe microscopy in corrosion science: scanning Kelvin probe force microscopy (SKPFM) versus classical scanning Kelvin probe (SKP), Electrochimica Acta 53(2) (2007) 290-299.
- [12] S.M. Mousavizade, M. Pouranvari, Projection friction stir spot welding: a pathway to produce strong keyhole-free welds, Science and Technology of Welding and Joining (2018) 1-7.
- [13] A. Arabzadeh, B. Korojy, S.M. Mousavizade, S.A. Hosseini, Corrosion investigation of projection friction stir spot welding of Al 2024 sheets in oil and gas industry, Journal of Oil, Gas and Petrochemical Technology 9(1) (2022) 39-48.
- [14] R.G. Kelly, J.R. Scully, D. Shoesmith, R.G. Buchheit, Electrochemical techniques in corrosion science and engineering, CRC Press2002.
- [15] B. Łosiewicz, M. Popczyk, M. Szklarska, A. Smołka, P. Osak, A. Budniok, Application of the scanning kelvin probe technique for characterization of corrosion interfaces, Solid State Phenomena, Trans Tech Publ, 2015, pp. 369-382.
- [16] E. Rahimi, A. Rafsanjani-Abbasi, A. Imani, S. Hosseinpour, A. Davoodi, Correlation of surface Volta potential with galvanic corrosion initiation sites in solid-state welded Ti-Cu bimetal using AFM-SKPFM, Corrosion Science 140 (2018) 30-39.
- [17] W. Tait, An introduction to electrochemical corrosion testing for practicing engineers and scientists. 1994, Racine, WI: Pair O Docs Publications.