

ارزیابی ریزساختار و مقاومت به خوردگی مقطع جوش کاری شده آلیاژ Al5083-H321 توسط روش جوش کاری قوسی فلز-گاز در محیط آب دریا

فاطمه بداغی^{*}، مسعود عطاپور و مرتضی شمعانیان

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۰۲ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷)

چکیده - آلازهای ^{xxx} آلوم دلال دارا بودن خواص ویژه در صنعت کاربردهای فراوان دارند. رفتار خوردگی آن آلا از در ای از جمله آب در آلا جمله مسا است که مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارد. این بزرگ در صنعت و ناز به اتصال ده ای آلازها، در ای پژوهش بررسی تعداد پاس جوش کاری ریزساختار و رفتار خوردگی جوش آلا از آلوم Al5083-H321 پرداخته. منظور ای آلا از مذکور روش جوش کاری فلز-گاز (GMAW) استفاده از پرکننده ER5183 که، دو و پاس جوش کاری. منظور ارز منظور ارز ساختار بکروسکو، از متالوگراف نوری و الکترون استفاده ای ارز خواردگی از طرق اندازه ای. ل مدار باز، آزمون غوطه‌وری در محلول ۳.۵٪ NaCl و آزمون ای پلاریزاسیون انجام شد. ای پژوهش نشان داد که مقاطع جوش کاری آلا از Al5083 با دو پاس با توجه به مقدار Ecorr مقادیر $0.087 \times 10^6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ و 0.4395 V دارای مقاومت به خوردگی ای نسبت به آلا ای ای است.

واژگان کلیدی: رفتار خوردگی، آب در Al5083 جوش کاری -گاز

Microstructure and Corrosion Behavior Investigation of Al5083-H321 GMAW Weldment in Sea Water

F. Bodaghi^{*}, M. Atapour and M. Shamanian

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

* مسئول مکاتبات پست الکترونیکی: fatemeh.bodaghi85@yahoo.com

Abstract: Aluminium 5xxx alloys excellent properties make them suitable for many industrial applications. The corrosion behavior of this alloy family in industrial environments such as sea water is the main focus of many researches. Due to need for joining large segments of this alloys, the effect of single as well as multipass (double and triple pass) gas metal arc welding (GMAW) on microstructure and corrosion behavior of Al5083-H321 alloy was studied. For this purpose, ER5183 filler metal was used. Microstructures were evaluated using optical and scanning electron microscopy (SEM). Corrosion measurements were performed using open circuit potential test, immersion test in 3.5%NaCl solution and polarization tests. Results indicated that the corrosion resistance of the two passes weldment was improved in comparison with the base metal and its i_{corr} and E_{corr} were equal to $0.087 \times 10^{-6} (\mu\text{A}/\text{cm}^2)$ and $-0.4395 (\text{V})$, respectively.

Keywords: Corrosion behavior, Sea water, Al5083, Gas-metal arc welding

۱- مقدمه

انبساط گرمایی، رفتار ذوب و هدایت الکتریکی از عوامل مؤثر بر جوش کاری آلومینیم هستند [۵]. ریزساختار فلز جوش آلیاژهای عملیات حرارتی ناپذیر شامل دانه‌های ستونی و رونشتسی^۱ با ریزساختار سلولی یا سلولی-دندریتی است که دارای اجزای اولیه یوتکنیکی بین دندریتی $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_6$ در آلیاژهای سری ۱xxx و ۳xxx و Si در آلیاژهای ۴xxx و Mg_3Al_2 در آلیاژهای ۵xxx است [۶].

با توجه به کاربرد وسیع آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ در صنعت به ویژه صنایع دریایی و نیاز به اتصال دهی صفحات این آلیاژ به منظور تولید قطعات بزرگ صنعتی و عدم مطالعه رفتار خوردگی مقاطع جوش کاری شده آلیاژ با چند پاس متوالی، هدف از این پژوهش بررسی دقیق ریزساختار و مقاومت به خوردگی مقاطع جوش کاری شده آلیاژ و تاثیر تعداد پاس جوش کاری بر خواص خوردگی مقطع جوش این آلیاژ در محیط آب دریا است.

۲- روش انجام پژوهش

برای مطالعه تاثیر تعداد پاس‌ها بر ریزساختار و مقاومت به خوردگی مقطع جوش آلیاژ Al5083-H321، ورقه‌های این آلیاژ با ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول ۱ توسط روش جوش کاری قوسی فلز-گاز (GMAW) با استفاده از الکتروود ER5183 (جدول ۱) که متداول ترین فلز پرکن مورد استفاده در صنعت برای این آلیاژ است، به صورت تک پاسه، دو پاسه و سه پاسه جوش کاری شدند. در جدول ۲ طراحی ناحیه جوش و مشخصه‌های جوش کاری مشاهده می‌شود. پس از جوش کاری،

آلیاژهای کار شده سری ۵xxx با توجه به دارا بودن خواص عالی هم‌چون استحکام بالا، شکل پذیری خوب، مقاومت به خوردگی و جوش پذیری، در گذشته برای کاربردهای وسیعی از جمله بدنه وسایل نقلیه، قطارها، کشتی‌ها یا مخازن تبریدی مورد توجه قرار داشتند. به طور کلی این آلیاژها بهترین ترکیب استحکام و مقاومت به خوردگی را در بین همه آلیاژهای آلومینیم دارا هستند [۱]. در بین آلیاژهای سری ۵xxx، آلیاژ ۵۰۸۳ که یک آلیاژ عملیات حرارتی ناپذیر است، در حالت نورد شده استحکام بالایی دارد اما رفتار الکتروشیمیایی مناسبی ارائه نمی‌دهد [۲]. مقاومت به خوردگی بالای آلیاژهای آلومینیم به دلیل تشکیل لایه اکسید محافظ روی سطح آن هاست و خوردگی زمانی رخ می‌دهد که لایه محافظ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ناپایدار یا دارای عیوبی باشد [۳]. مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیم به طور شدید وابسته به ترکیب شیمیایی آن‌ها است و براساس گزارش‌ها حضور مقادیر کم آهن و گوگرد در ترکیب شیمیایی آلیاژهای آلومینیم با توجه به عدم حلالیت آن‌ها در زمینه آلومینیم و تشکیل فازهای غنی از آهن و گوگرد منجر به تشدید خوردگی می‌شود. این عناصر در حضور اکسیژن و سایر اکسیدها نسبت به زمینه آلومینیمی رفتار کاتدی دارند و خوردگی شدن زمینه آلومینیمی اطراف را شدت می‌بخشد [۴]. آلومینیم را می‌توان با روش‌های مختلفی اتصال داد که شامل جوش کاری‌های ذوبی و مقاومتی، لحیم‌کاری سخت و نرم، اتصال دهی چسبان و روش‌های مکانیکی هم‌چون پیچ و مهره و پیچ است. روکش اکسید آلومینیم، هدایت گرمایی، ضربه

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ Al5083 و الکترود ER5183 (درصد وزنی)

عنصر	Al	سایر عناصر	Zn	Ti	Cr	Mg	Mn	Cu	Fe	Si
بقیه	Al5083		۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۴-۴/۹	۰/۴-۱	۰/۱	۰/۴	۰/۴
بقیه	Er5183		۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۴/۳-۵/۲	۰/۵-۱	۰/۱	۰/۴	۰/۴

جدول ۲- جزئیات فرایند جوش کاری

جزئیات اتصال	سرعت حرکت قوس (ipm/pass)	ولتاژ (V)	شدت جریان (A)	قطبیت	قطر کلاس	فلز پرکن	جریان
	۲۴-۳۰	۲۲	۱۴۵	DCEP	۱/۲ mm	A5-10	

پنج بار مورد آزمون قرار داده شد و میانگین نتایج به دست آمده به عنوان نمودار پلاریزاسیون نمونه ارائه و مقادیر چگالی جریان خوردگی و پتانسیل خوردگی نمونه از آن استخراج شد.

قطع عرضی و سطح بالایی قطعات مورد ارزیابی ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی رویشی (SEM) و تحلیل عنصری EDS قرار گرفت.

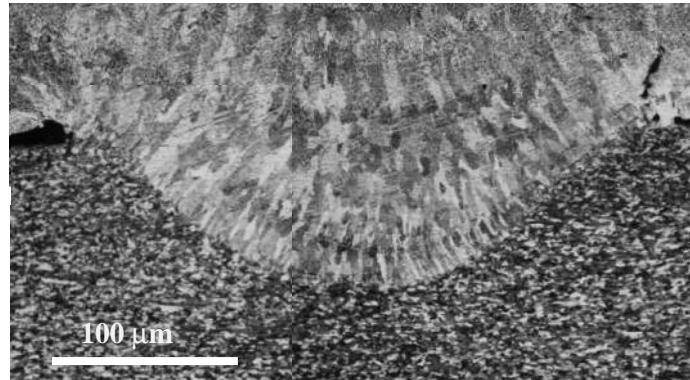
مقاومت به خوردگی مقاطع جوش در محلول $\frac{3}{5} \text{NaCl}$ مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از هر قطعه دو نمونه یکی تنها شامل فلز جوش و دیگری شامل منطقه جوش، منطقه متاثر از گرمایش (HAZ) و فلز پایه تهیه شد. آلودگی سطحی نمونه ها بعد از سنباده زنی و پولیش توسط آلتراسونیک در آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه پاکسازی شد و پس از توزیز، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول $\frac{3}{5} \text{NaCl}$ غوطه ور شدند. بعد از ۲۴ ساعت دومرتبه فراورده های خوردگی و آلودگی های سطح نمونه ها توسط آلتراسونیک زدوده شد و پس از خشک کردن، نمونه ها توزیز شدند. سپس سطوح نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی رویشی ارزیابی شدند.

نمودارهای پلاریزاسیون تألف برای فلز جوش هر نمونه و فلز پایه به طور جداگانه توسط دستگاه Invium در محلول $\frac{3}{5} \text{NaCl}$ در محدوده پتانسیل -250 تا $+600$ ولت نسبت به پتانسیل مدار باز، تهیه شدند. برای این کار هر نمونه

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ریزساختار مقاطع جوش کاری شده

همان گونه که از شکل ۱ استنباط می شود، انجام دادن فلز جوش توسط مکانیزم رونشستی (اینتکسیال) بر فصل مشترک فلز جوش / آلیاژ پایه شروع و به صورت دندربیتی تا نواحی فوقانی فلز جوش ادامه یافته است. انجام دادن رونشستی را می توان به مشارکت فلز پایه در تشکیل حوضچه مذاب بر سطح آن و ذوب بخشی از دانه های فلز پایه در فاز مذاب نسبت داد. در این شرایط بخش های باقیمانده از دانه های یاد شده به عنوان مراکز جوانه زنی عمل می نماید و ترشوندگی کامل فاز مذاب با آن ها موجب کاهش قابل ملاحظه انرژی فعال سازی جوانه زنی می شود. بنابراین برای انجام دادن تنها کافی است اتم ها از فاز مذاب به سطح زیر لایه بپیوند [۷]. به علاوه در شکل ۱، رشد رقابتی



شکل ۱- ریزساختار پاس ریشه نمونه دو پاس، نشان دهنده انجام رونشستی فلزجوش که در هر سه نمونه قابل مشاهده بود

جوش کاری ضخامت نمونه (g) افزایش می‌یابد. از این رو حداکثر دما (T_p) کاهش می‌یابد. در این صورت سرعت سردشدن (ε) طبق رابطه (۲) [۷] کاهش می‌یابد. کاهش ۴ طبق رابطه (۳) [۷] موجب افزایش فاصله بین بازوهای دندربیتی (d) می‌شود. بنابراین می‌توان گفت با افزایش تعداد پاس جوش کاری فاصله بین بازوهای دندربیتی افزایش می‌یابد (شکل ۲).

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{t} = \frac{T_p - T_0}{t} \quad (2)$$

$$d = b(\varepsilon)^{-n} \quad (b = 2-3) \quad (3)$$

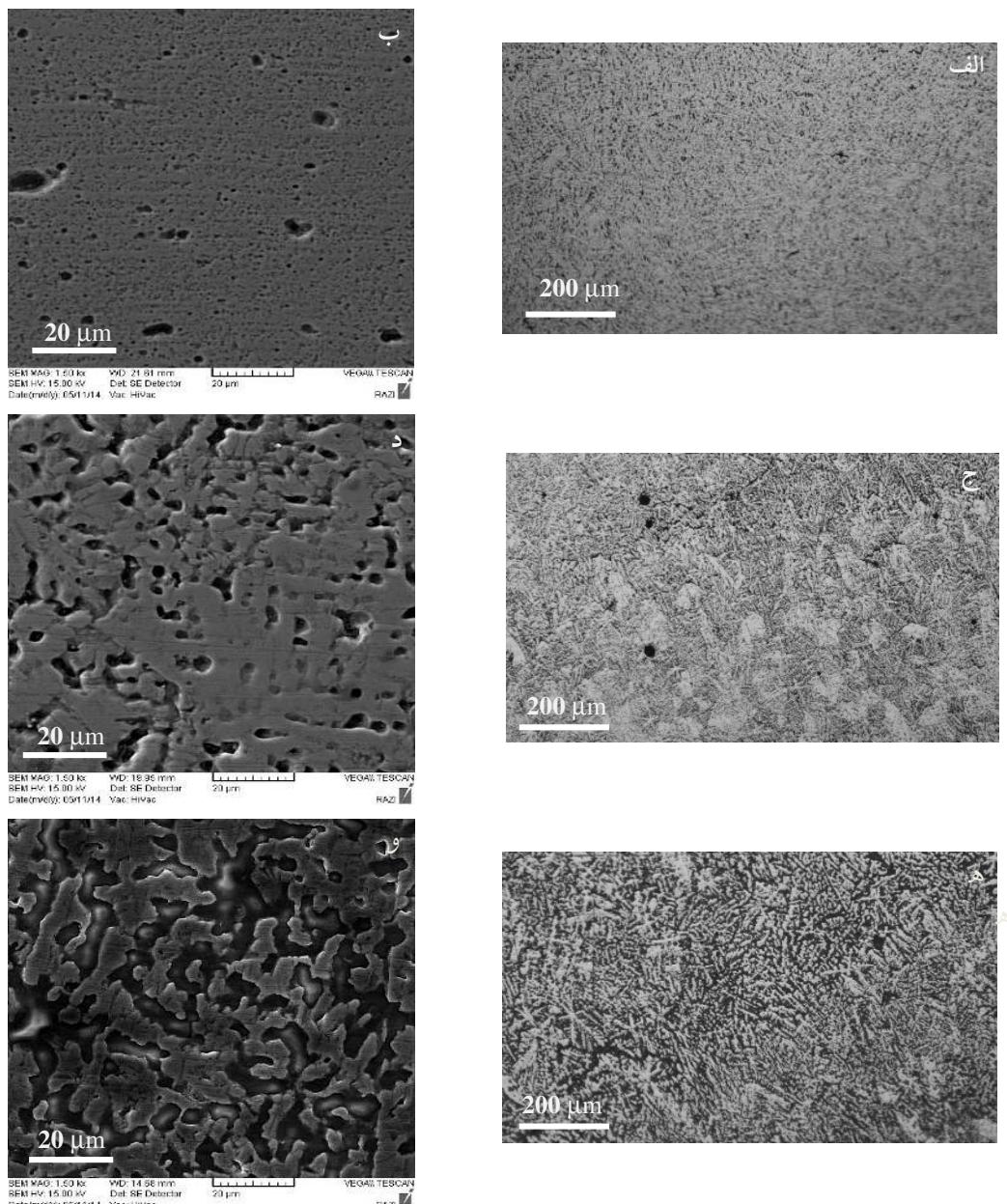
۲-۳- نتایج آزمون غوطه‌وری و پلاریزاسیون تافل
در شکل ۳ نمودار کاهش وزن نمونه‌ها پس از غوطه‌وری برای ۲۴ ساعت در محلول ۳.۵% NaCl ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نمونه تک پاس بیشترین کاهش وزن را در هر دو حالت نشان می‌دهد. بررسی سطوح در معرض محلول خورنده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل ۴ نشان داده شده است. تصاویر SEM نشان داده که تعداد حفره‌ها در نمونه تک پاس بیشتر است و همان‌گونه که دیده می‌شود قطر بزرگترین حفره‌ها در نمونه دو پاس کمی بیشتر از سایر نمونه‌ها است اما عمق حفره بسیار کمتر است. با توجه به کمتر بودن تعداد حفره‌ها در نمونه دو پاس، کاهش وزن نمونه دو پاس کمتر از سایر نمونه‌ها است.

دندربیت‌های فاز جامد تشکیل شده در حوضچه مذاب به‌وضوح قابل مشاهده است که می‌تواند در نتیجه رقابت دندربیت‌ها برای رشد در جهت حداکثر گرادیان دمایی (عمود بر فصل مشترک فلزجوش /آلیاژ پایه) واقع شدن آن‌ها در جهت آسان رشد باشد. این حالت در نمونه تک پاس و در پاس اول نمونه‌های دو پاس و سه پاس قابل مشاهده است.

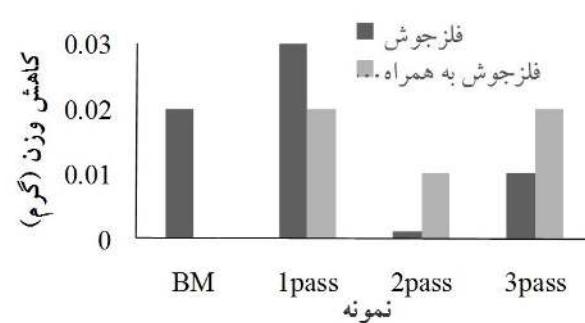
به‌طور جزئی تر ریزساختار قطعات مشاهده شده توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد پاس جوش کاری فاصله بین بازوهای دندربیتی افزایش یافته است. ریزساختار ارائه شده مربوط به پاس دوم نمونه دو پاس و پاس سوم نمونه سه پاس است. رابطه ۱ ارتباط متغیرهای فرایند را نشان می‌دهد [۷].

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4.13VYg\rho C}{Q} + \frac{1}{T_m - T_0} \quad (1)$$

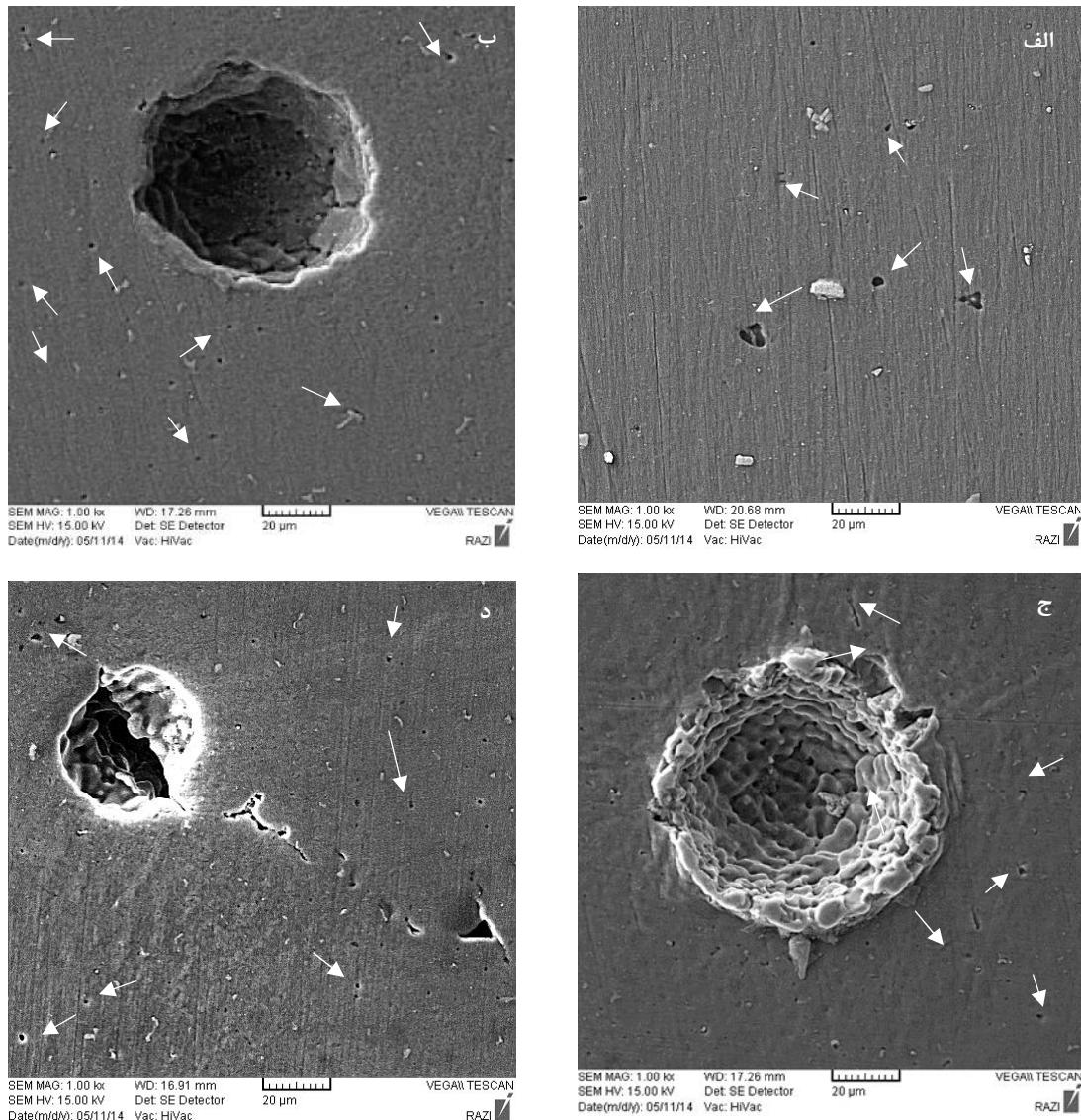
در این رابطه T_p ماکزیمم دما در فاصله Y از مرکز جوش، V سرعت جوش کاری بر حسب m/s , Y فاصله از مرکز جوش و g ضخامت (هر دو بر حسب m), ρC ظرفیت گرمایی حجمی آلیاژ بر حسب J/m^3 .K و T_m نقطه ذوب آلیاژ و T_0 دمای اولیه قطعه کار (هر دو بر حسب کلوین) و Q گرمایی ورودی به قطعه کار بر حسب وات هستند. در صورت ثابت درنظر گرفتن سایر پارامترهای مربوط به فرایند جوش کاری و یا مشخصات آلیاژ برای تمام نمونه‌ها، می‌توان گفت با افزایش تعداد پاس



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی رویشی از الف و ب) نمونه تک پاس، ج و د) نمونه دو پاس و ه و و) نمونه سه پاس



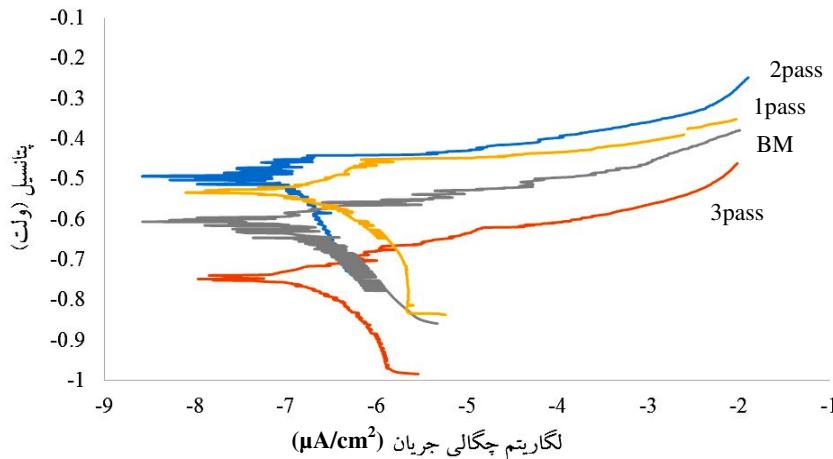
شکل ۳- نمودار کاهش وزن نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول ۳.۵٪ NaCl



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول ۳.۵% NaCl:
ا) فلزپایه، ب) فلز جوش نمونه تک پاس، ج) فلزجوش نمونه دو پاس (پیکان‌ها نشان‌دهنده حفره‌های ریز هستند)

یکواخت‌تر منیزیم در مناطق مختلف شده است. سرعت سرد شدن کم‌تر در نمونه سه پاس باعث نفوذ بیش‌تر سایر عناصر به مناطق بین دندانی و تشکیل مناطق کاتدی نسبت به زمینه آلومینیمی شده است و در نتیجه تشدید خوردگی را به همراه دارد. در مورد نمونه تک پاس با توجه به کم‌تر بودن حجم فلز پرکن مورد استفاده، مقدار کم‌تری منیزیم نسبت به دو نمونه دیگر به ناحیه جوش وارد می‌شود و درنتیجه مقاومت به خوردگی این نمونه کم‌تر است. گفتنی است که نمودار

نمودارهای پلاریزاسیون نمونه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۵ و جدول ۳ استنباط می‌شود، با توجه به مقدار i_{corr} و E_{corr} محاسبه شده از نتایج آزمون پلاریزاسیون تافل، نمونه دو پاس بهترین رفتار خوردگی را از خود نشان می‌دهد که با نتایج آزمون غوطه‌وری هم در تطابق است. این رفتار بهتر را می‌توان به توزیع مناسب‌تر و یکنواخت‌تر منیزیم در ساختار این نمونه مربوط دانست. در واقع سرعت سرد شدن متوسط در این نمونه منجر به توزیع



شکل ۵- نمودار پلاریزاسیون تافل در محلول ۳.۵٪ NaCl

می دهد عبارت است از:



قدرت اسیدی در مناطق آندی باعث نشر تدریجی هیدروژن به صورت واکنش کاتدی ثانویه (در حفره) می شود:



از آنجا که محلول NaCl شامل مقدار مشخصی اکسیژن است، واکنش کاتدی اصلی در مناطق کاتدی احیا اکسیژن خواهد بود:



در نتیجه واکنش کاتدی غلظت هیدروکسید افزایش می یابد. از این رو pH موضعی قلیایی می شود و واکنش ۷ رخ می دهد:



و سپس $\text{Al}(\text{OH})_3$ به Al_2O_3 تبدیل می شود:



عموماً گزارش شده است که حضور یون های کلریدی در محیط منجر به خوردگی حفره ای آلیاژ های آلومینیم می شود. چندین مکانیزم مختلف برای نشان دادن نقش یون های کلرید در خوردگی حفره ای فلزات غیرفعال مثل آلیاژ های آلومینیم، بیان شده است [۱۰-۱۲]. طبق مدل عیوب نقطه ای [۱۳]، یون های کلرید با جاهای خالی مثبت رقابت می کنند و جایگزین اکسیژن در فیلم اکسیدی می شوند و تشکیل کلرید فلزی می دهند و در

جدول ۳- جریان و پتانسیل خوردگی حاصل از

آزمون پلاریزاسیون تافل

نمونه	چگالی جریان خوردگی ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	ولتاژ خوردگی (V)
فلز پایه	$0/156 \times 10^{-9}$	-۰/۶۰۶
تک پاس	$0/246 \times 10^{-9}$	-۰/۵۳۳۵
دو پاس	$0/087 \times 10^{-6}$	-۰/۴۹۳۵
سه پاس	$0/149 \times 10^{-6}$	-۰/۷۴۸۵

پلاریزاسیون فلز پایه با مطالعات گذشته انجام شده بر این فلز [۸] و آلیاژ آلومینیم سری ۷xxx [۹] در محلول Cl NaCl مطابقت دارد و همگی حاکی از فعال بودن این آلیاژ ها در این محیط کلریدی است. با در نظر گرفتن هم زمان اختلاف کم در مقدار i_{corr} نمونه ها، مشکلات ذاتی آزمون تافل و مشاهده های کیفی که نشان دهنده مقدار i_{corr} کمتر از یک میکروآمپر بر سانتی متر مربع است [۸] می توان فرض کرد که جوش کاری تاثیری در افزایش نرخ خوردگی قطعات ندارد، بلکه در حالت دو پاس فلز جوش رفتار تاحدودی بهتر از فلز پایه از خود ارائه می دهد. واکنش آندی جزئی که در مناطق آندی (مانند داخل حفره) طی خوردگی موضعی آلیاژ های آلومینیم در محلول NaCl رخ

جدول ۴. نتایج تحلیل عنصری EDS (درصد اتمی)

نمونه	دندریت‌ها	بین دندریت‌ها	دندریت‌ها	بین دندریت‌ها	نمونه عناصر
دو پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Mg
					6
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Al
					94/58
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Mg
					3/57
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Al
					96/43
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Mg
					28/66
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Al
					2/24
سه پاس	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	DENDRIT HAs	BETWEEN DENDRIT HAs	Mg
					69/1

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر تاثیر تعداد پاس جوش کاری بر ریزساختار و رفتار خوردگی آلیاژ Al5083-H321 مورد مطالعه قرار داده شد و نتایج زیر حاصل شد:

۱. ساختار فلز جوش به صورت انجماد رونشستی و با رشد رقابتی دندریت‌ها در جهت حداکثر گرادیان دمایی است و با افزایش تعداد پاس جوش کاری، در اثر کاهش سرعت سرد شدن، فاصله بین بازوهای دندریتی افزایش می‌یابد.

۲. تحلیل‌های عنصری حاکی از آن است که سرعت سرد شدن متوسط در نمونه دو پاس موجب توزیع بهتر و یکنواخت‌تر منیزیم در نمونه جوش کاری شده با دوپاس است.

۳. با وجود آن‌که انتظار می‌رود فلز جوش مقاومت به خوردگی کم‌تری نسبت به آلیاژ پایه داشته باشد ولی نتایج آزمون غوطه‌وری و پلاریزاسیون در محلول 3.5%NaCl برای آلیاژ ER5183 جوش کاری شده با فلز پرکن Al5083 حاکی از رفتار بهتر نمونه جوش کاری شده با دو پاس حتی نسبت به آلیاژ پایه است که مربوط به توزیع یکنواخت‌تر منیزیم و تشکیل لایه غیرفعال اکسیدی پایدارتر در این نمونه می‌شود.

واژه‌نامه

1. epitaxial

نتیجه منجر به تخریب فیلم اکسیدی و شروع حفره‌دار شدن می‌شوند. بنابراین محصول خوردگی تشکیل شده در محلول AlCl₃ با pH NaCl مختشی معمولاً شامل Al(OH)₃, Al₂O₃ و AlCl₃ می‌شود [۱۴].

با توجه به تصاویر SEM (شکل ۴) می‌توان گفت حضور کلر در محلول خورنده منجر به تشکیل تعداد حفره‌های بیش‌تر و با عمق بیش‌تر در نمونه تک پاس شده است. از تصاویر ریزساختاری مشخص است که نسبت سطح نواحی آندی به کاتدی در نمونه تک پاس نسبت به دو نمونه دیگر بسیار کم‌تر است. لذا واکنش آندی به صورت مرکزی و با شدت بیش‌تر رخ می‌دهد و بنابراین شدت حفره‌دار شدن در این نمونه افزایش می‌یابد.

نتایج EDS مناطق مختلف ریزساختاری نمونه دو پاس و سه پاس که در جدول ۴ ارائه شده است، بیانگر بالاتر بودن درصد منیزیم در همه مناطق نمونه دو پاس نسبت به نمونه سه پاس است. اشاره شده است که بالاتر بودن درصد منیزیم باعث بهبود خواص خوردگی آلیاژ‌های آلومینیم و کاهش حفره‌دار شدن و شکست فیلم اکسیدی می‌شود [۴].

همان‌گونه که از نمودار شکل ۳ مشخص است در حضور فلز پایه حفره‌دار شدن نمونه‌ها در محیط 3.5%NaCl شدت گالوانیکی ایجاد شده در نمونه‌ها خوردگی می‌یابد. در واقع حالت گالوانیکی ایجاد شده در نمونه‌ها خوردگی را جز در مورد نمونه تک پاس شدت می‌بخشد. دلیل این عدم تشدید خوردگی در نمونه تک پاس، نزدیکی ساختاری و ترکیب شیمیایی فلز جوش در نمونه تک پاس به آلیاژ پایه است.

مراجع

1. Popovic, M. and Romhanji, E., "Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Al-Mg Alloy Sheet with High Mg Content", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.125–126, pp. 275–280, 2002.
2. Kim, S.J., Han, M.S., Kim, S.K. and Jang, S.K., "Improvement of Hydrogen Embrittlement and Stress Corrosion Cracking by Annealing for Al-4.4Mg-0.6Mn Alloy", *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 21, pp. s17–s22, 2011.
3. Berkeley, D.W., Sallam, H.E.M. and Nayeb-Hashemi, H., "The Effect of pH on the Mechanism of Corrosion and Stress Corrosion and Degradation of Mechanical Properties of AA6061 and Nextel 440 Fiber-Reinforced AA6061 Composite", *Corrosion Science*, Vol. 40, No. 2/3, pp. 141-153, 1998.
4. Brillas, E., Cabot, P.L., Centellas, F., Garrido, J.A., Peñrez, E. and Rodríguez, R.M., "Electrochemical Oxidation of High-Purity and Homogeneous Al-Mg Alloys with Low Mg Contents", *Electrochimica Acta*, Vol. 43, No. 7, pp. 799-812, 1998.
5. ASM Handbook, *Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, ASM International, Vol. 2, 10th ed., 1990.
6. ASM Handbook, *Welding, Brazing and Soldering*, ASM International, Vol. 6, 10th ed., 1993.
7. Kou, S., *Welding metallurgy*, 2nd ed., John Wiley & sons, USA, 2003.
8. Wang, Y., Gupta, R.K., Sukiman, N.L., Zhang, R., Davies, C.H.J. and Birbilis, N., "Influence of Alloyed Nd Content on the Corrosion of an Al-5Mg Alloy", *Corrosion Science*, Vol. 73, pp. 181–187, 2013.
9. Rout, P.K., Ghosh, M.M. and Ghosh, K.S., "Effect of Solution pH on Electrochemical and Stress Corrosion Cracking Behavior of a7150 Al-Zn-Mg-Cu Alloy", *Materials Science & Engineering A*, Vol. 604, pp. 156–165, 2014.
10. Mendoza, A.R. and Corvo, F., "Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion of Nonferrous Metals", *Corrosion Science*, Vol. 42, pp.1123–1147, 2000.
11. Lunt, T.T., Scully, J.R., Brusamarello, V., Mikhailov, A.S. and Hudson, J.L., "Spatial Interactions among Localized Corrosion Sites Experiments and Modeling", *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 149, pp. 163-173, 2002.
12. Luente, A.M. and Scully, J.R., "Pitting and Alkaline Dissolution of an Amorphous Nanocrystalline Alloy with Solute-Lean Nanocrystals", *Corrosion Science*, Vol.49, pp.2351-2361, 2007.
13. Macdonald, D.D., "The Point Defect Model for the Passive State", *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 139, pp. 3434-3449, 1992.
14. Wang, B., Zhang, L., Su, Y., Mou, X., Xiao, Y. and Liu, J., "Investigation on the Corrosion Behavior of Aluminum Alloys 3A21 and 7A09 in Chloride Aqueous Solution", *Materials and Design*, Vol. 50, pp.15–21, 2013.