

بررسی هم بستگی بین نتایج آزمون کاهش وزن و آزمایش DLEPR در اندازه گیری حساسیت به خوردگی بین دانه‌ای فولاد زنگ نزن ۳۱۶

مجتبی سلطانپور^{۱*}، محمود پاکشیر^۲، فاطمه صفاری^۳، مهدی تنه کار^۴

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرضا، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، شهرضا، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات بروجرد، لرستان، ایران

*Mojtaba_sol@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۱۳، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۰۷)

چکیده

در این تحقیق درجه حساسیت به خوردگی بین دانه‌ای به وسیله روش دو حلقه‌ای در فولاد ۳۱۶ با درجه‌های متفاوت حساس شدن در سرعت‌های اسکن و غلظت‌های متفاوت، با استفاده از روش دو حلقه‌ای پتانسیو کینتیک راکتیواسیون الکتروشیمیایی (EPR) تعیین شده است. هم‌چنین آزمایش‌های کاهش وزن اسیدی (practice B & C) نیز بر روی ساختارهای مختلف فولاد حساس شده ۳۱۶ انجام شد و نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج به دست آمده از آزمایش دو حلقه‌ای ربط داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از دو آزمایش فوق و مشاهده ضریب هم بستگی بین این دو آزمایش، بهترین هم‌خوانی و هم بستگی در بین نتایج در حالت 0.05 M KSCN و $1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ و سرعت اسکن 3 V/hr و دمای 30°C درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است و با توجه به این حالت نسبت Ir:Ir برای هر ساختار به دست آمده و محدود Ir:Ir برای ساختارهای مختلف حساس شده به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی:

خوردگی بین دانه‌ای، روش EPR، فولاد زنگ نزن ۳۱۶

۱- مقدمه

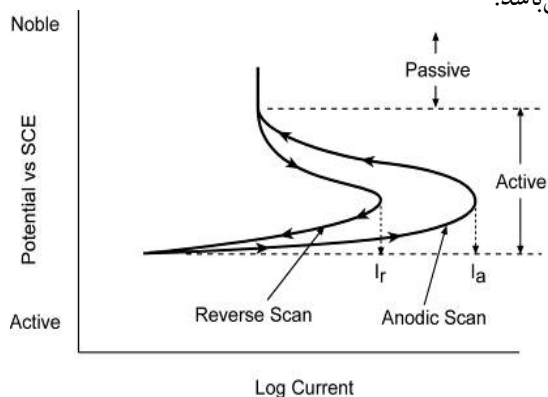
می‌گیرند [۱-۲]. از آنجا که خوردگی بین دانه‌ای یکی از جدی‌ترین مشکلات به کارگیری فولادهای ضدزنگ می‌باشد، دستورالعمل‌های متعددی جهت اندازه‌گیری استعداد این فولادها به این نوع خوردگی وجود دارد. این دستورالعمل‌ها، به صورت آزمایش‌های استاندارد تحت عنوان ASTM A262 به رسمیت شناخته شده‌اند و به طور وسیعی جهت بررسی فولادهای

بزرگ‌ترین عیب فولادهای ضد زنگ آستنیتی، خوردگی بین دانه‌ای در اثر حساس شدن و ایجاد رسوبات کاربیدی در اطراف مرز دانه‌ها است. این اتفاق در اثر عملیات حرارتی در حین انجماد قطعات ریخته‌گری شده و یا در اثر جوشکاری این نوع فولادهای ضد زنگ رخ می‌دهد. این در صورتی است که این فولادها در محدوده‌هایی بین $800-500^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد قرار

پسیو، پلاریزه می‌شود، این پلاریزاسیون باعث تشکیل لایه پسیو روی تمام سطح نمونه می‌شود. زمانی که روبش پتانسیل در جهت مخالف انجام شود و پتانسیل با همان سرعت اسکن تا پتانسیل خوردگی کاهش یابد، باعث شکسته شدن فیلم پسیو روی مناطق تخلیه شده از کرم می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، دو حلقه تشکیل می‌شود یکی حلقه آندی و دیگر حلقه راکتیواسیون، ارزیابی این روش نشان می‌دهد که I_a ماکزیمم جریان فعال شدن یا اکتیواسیون است و I_r ماکزیمم جریان راکتیواسیون که به درجه حساس شدن نمونه بستگی دارد. I_r برای نمونه‌هایی که حساس نشده‌اند، کوچک است در حالی که برای نمونه‌های حساس شده، افزایش می‌یابد. نسبت ماکزیمم جریان تولید شده در آزمون دو حلقه‌ای $I_r:I_a$ به جای مساحت زیر حلقه برگشتی در روش تک حلقه‌ای استفاده می‌شود [۸].

هدف از این تحقیق بررسی حساسیت به خوردگی بین دانه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ با دو روش الکتروشیمیایی و کاهش وزن اسیدی و تعیین هم بستگی بین نتایج به دست آمده از این دو روش می‌باشد.



شکل (۱): شمانیکی از طرز کار روش دو حلقه‌ای EPR [۸]

ضدزنگ به کار می‌روند [۳]. یکی از محدودیت‌های این آزمایش‌ها استفاده از محیط‌های خاص به جای محیط‌های واقعی می‌باشد. یا اینکه ممکن است این فلزات در برابر خوردگی‌های توأم با تنش، حفره‌ای و یکنواخت مصون نباشند، اما در بسیاری از مواد ارتباطی منطقی خوبی بین پاسخ آزمایش‌ها و کارایی فولاد در عمل وجود دارد.

به منظور داشتن یک روش آزمایش غیرمخرب و کمی و هم‌چنین سریع، تحقیقات زیادی انجام شد که منجر به آزمایش EPR گردید. تاریخچه و مرور آزمایش EPR توسط کیهال (Cihal) و استیفک (Stefec) ارائه شد [۴]. بررسی حساسیت فولادهای ضدزنگ به وسیله پلاریزاسیون پتانسیوسینتیک برای اچ کردن مرزدهانه‌ها توسط کیهال و پرازاک (Prazak) در سال ۱۹۹۵ شروع شد. سی سال قبل یک نیاز به اندازه‌گیری کمی حساس شدن در جوش‌های لوله راکتور هسته‌ای احساس شد. کلراک (Clarke) ابتدا روش تک حلقه در آزمایش EPR را کشف کرد که به صورت کمی حساس شدن را اندازه‌گیری می‌کند [۵].

این تکنیک برای مشاهده حساس شدن فولادهای ضدزنگ به خصوص نوع ۳۰۴ توسط مجیدی (Majidi) و استرایکر (Streicher) در سال ۱۹۸۴ مورد بررسی قرار گرفته است [۶]. تکنیک‌های الکتروشیمیایی EPR کمی و غیرمخرب و سریع هستند و توسط ASTM برای تعیین مقدار حساسیت فولاد ۳۰۴ و ۳۰۴L استاندارد شده است [۷]. هم‌چنین این آزمایش می‌تواند مقدار حساسیت فولادهای ضدزنگ دیگر را نیز مشخص کند. در روش دو حلقه‌ای ابتدا نمونه به صورت آندی در طول منطقه فعال پلاریزه می‌شود و سپس راکتیواسیون در جهت مخالف اتفاق می‌افتد. وقتی نمونه با یک سرعت مشخص اسکن به صورت آندی از پتانسیل خوردگی تا یک پتانسیل در ناحیه

جدول (۱): ترکیب شیمیایی نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ استفاده شده جهت عملیات حرارتی و آزمایش‌های خوردگی (درصد وزنی) (آنالیز توسط SEM انجام شده است)

نوع فولاد	C	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	S	Ti
۳۱۶	۰/۰۸	۱۷/۷۶	۲/۱۷	۱۱/۲۵	۰/۷	۱/۸۱	۰/۱	-

جدول (۲): عملیات حرارتی آنیل و همگن کردن فولادهای زنگ نزن ۳۱۶

زمان و دمای عملیات حرارتی
آنیل محلولی در دمای 1065°C برای ۹۰ دقیقه + کوئنچ در آب

می یابد. منحنی های بدست آمده مورد آنالیز قرار گرفتند تا جریان اکتیواسیون و راکتیواسیون بدست آید. در تمام آزمایشات از محلول تازه استفاده شده است و هم چنین دمای محلول آزمایش به وسیله ترموستات در طول آزمایش کنترل شده تا در تمام مدت آزمایش دما ثابت باشد. نمونه هایی که در مورد آن ها آزمایش تکرار شد مجدداً با سمباده های ۸۰۰ و ۱۲۰۰ و سپس با پولیش آلومینا تا $0.3\ \mu\text{m}$ تمام کاری شدند. نمونه هایی از فولادهای ۳۱۶ انتخاب شدند که متغیرهای آزمایش مطابق جدول (۳) می باشد.

۲-۴- آزمایش های اسیدی کاهش وزن

در آزمایش فریک سولفات - اسید سولفوریک (ASTM A 262 practice B) محلول آزمایش زیرهود آماده می شود. ۲۳۶ میلی لیتر از اسید سولفوریک به ۴۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه شده به منظور جلوگیری از جوش آمدن در اثر افزایش تدریجی حرارت و حفظ غلظت محلول، اضافه می شود. سپس، ۲۵ گرم $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ به محلول اسید سولفوریک اضافه می شود. قبل از اینکه سولفات فریک به طور کامل در اسید حل شود نباید نمونه ها همراه با غلاف در محلول غوطه ور شوند. در طول دوره جوشش ۱۲۰ ساعته، رنگ محلول باید کنترل شود و وقتی به رنگ سبز تیره تغییر کرد، ممانعت کننده سولفات فریک باید اضافه شود.

در آزمایش اسید نیتریک (ASTM A 262 practice C)، اسیدنیتریک ۶۵٪ تازه حرارت داده می شود تا به جوش آید و نمونه در این شرایط برای یک دوره ۴۸ ساعته قرار می گیرند. از آنجایی که در میان نمونه های حساس شده، رشد Cr^{6+} در محلول سرعت خوردگی را تسریع می کند، بنابراین بیشتر از یک دوره ۴۸ ساعته انجام نشد. برای آزمایش های اسیدی هفت عدد فولاد زنگ نزن ۳۱۶ با درجات مختلف حساس شدن با ترازوی

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- آماده سازی نمونه ها

در ابتدا نمونه هایی از فولاد زنگ نزن ۳۱۶ مطابق جدول (۱) انتخاب شدند و پس از عملیات حرارتی همگن شدن (جدول ۲)، عملیات حرارتی حساس شدن در محدوده دمایی ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد و زمان های ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه روی آن ها انجام شده است و فولادها با بیشترین درجه حساسیت توسط بررسی ریز ساختارها و آزمون DLEPR مشخص شدند. نمونه ها به صورت میله هایی به قطر ۸ میلی متر و اندازه یک سانتی متر تهیه شده اند.

۲-۲- آزمایش اسید اگزالیک

آزمایش اچ با اسید اگزالیک (ASTM A 262 , partice A) سریع و غیر مخرب است اما مقدار کمی حساسیت به خوردگی را مشخص نمی کند. به وسیله یک اچ کردن سریع می توان تنها قابل قبول بودن مواد را تایید کرد و نمی توان با استفاده از این آزمایش آن ها را رد کرد (در صورتی که در آن ها کاربید مشاهده شود). در این آزمایش نمونه به عنوان آند در محلول الکترولیت اسید اگزالیک ۱۰٪ و در دانسیته جریان $1\ \text{mA}/\text{m}^2$ در دمای مشخص قرار می گیرد

۲-۳- آزمایش DLEPR

برای مشخص کردن درجه حساسیت به خوردگی بین دانه ای، پتانسیل به دقت توسط پتانسیواستات کنترل شد و جریان در طول اسکن بر عکس و اسکن آندی اندازه گیری شد. در حالت کلی، ابتدا نمونه به مدت ۵ دقیقه در شرایط پتانسیل باز (Open Circuit) قرار می گیرد تا E_{Corr} یا پتانسیل خوردگی به دست آید. سپس اسکن آندی از پتانسیل خوردگی تا $+0.3\text{V vs SCE}$ با سرعت اسکن $6000\ \text{mv}/\text{h}$ ادامه می یابد و سپس اسکن کاتدی شروع می شود تا پتانسیل خوردگی ادامه

سانتی گراد و زمان ۳۰ دقیقه)، Dual (فولاد حساس شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۲۰ دقیقه) و Ditch (فولاد حساس شده در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۲۰ دقیقه) می باشد. بررسی انجام آزمایش DLEPR به منظور اندازه گیری درجه حساسیت به خوردگی بین دانه‌ای، دمای آزمایش در 1 ± 30 درجه سانتی گراد ثابت نگه داشته شد و پارامترهای H_2SO_4 ، KSCN و سرعت اسکن متغیر می باشند. نتایج آزمایش DLEPR برای ساختار Step نشان می دهد که در هر کدام از ترکیب پارامترهای آزمایش، رفتار راکتیواسیون نامحسوسی به دست آمده است. اما تمام نمونه‌های حساس شده، در درجه‌های مختلف، یک رفتار قابل تشخیص را نشان می دهند که در شکل (۳) به وضوح نمودارهای پلاریزاسیون مشاهده می شود.

به طور کلی آنچه که در این جداول مشاهده شده است، این است که برای تمام نمونه‌ها، ترکیب KSCN برای افزایش پتانسیل پسیو شدن صرفنظر از سرعت اسکن، موثرتر از H_2SO_4 می باشد. به علاوه، در شرایط آزمایش یکسان، تمام نمونه‌ها رفتار اکتیواسیون مشابه دارند و جریان راکتیواسیون رفتار پیچیده‌ای از خود نشان می دهد که به غلظت H_2SO_4 و KSCN و سرعت اسکن وابسته است.

در سرعت اسکن کم، نمودار راکتیواسیون مقداری پهن تر شده است که این به خاطر مقداری افزایش در خوردگی یکنواخت به جای خوردگی بین دانه‌ای می باشد زیرا مقدار زیادی شار الکتریکی انتقال یافته است، بدون اینکه در جریان راکتیواسیون، تغییری ایجاد شود.

مقدار کم I_r در سرعت اسکن بالا، به احتمال زیاد به خاطر نداشتن زمان کافی برای شکستن فیلم پسیو به صورت مؤثر، در طول اسکن برگشتی می باشد. بنابراین I_a ، تقریباً تغییرات آنچنانی ندارد و تغییرات سرعت اسکن روی I_r به صورت قابل توجه تأثیر می گذارد.

با دقت ۰/۰۰۰۰۱ قبل و بعد از آزمایش، وزن آن‌ها اندازه گیری شد. در نهایت سرعت خوردگی بر حسب کاهش وزن بر حسب اینچ در ماه (i_{pm}) محاسبه و گزارش شد.

جدول (۳): پارامترهای آزمایش DLEPR برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶

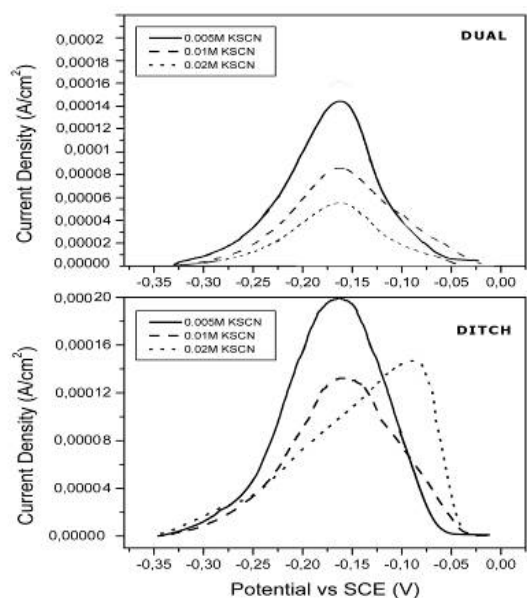
کد آزمایش	$H_2SO_4(M)$	KSCN(M)	Scan(V/hr)
۱	۰/۵	۰/۰۰۵	۱
۲			۳
۳			۶
۴			۹
۵		۰/۰۱	۱
۶			۳
۷			۶
۸			۹
۹			۳
۱۰			۶
۱۱	۱/۰	۰/۰۰۵	۱
۱۲			۳
۱۳			۶
۱۴			۹
۱۵		۰/۰۱	۱
۱۶			۳
۱۷			۶
۱۸			۹
۱۹	۱/۵	۰/۰۲	۳
۲۰			۶
۲۱		۰/۰۰۵	۶
۲۲			۰/۰۱
۲۳	۰/۰۲		

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمایش اسید اگزالیک و DLEPR

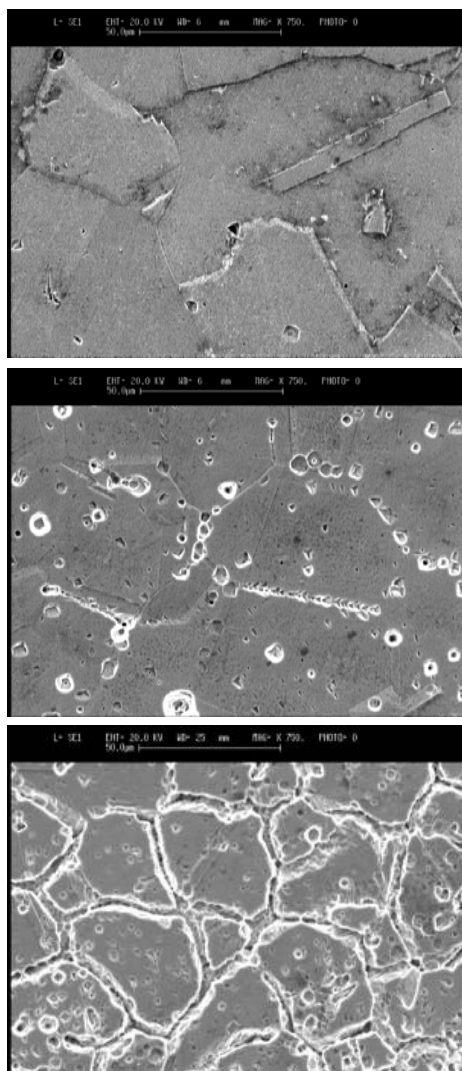
با توجه به نتایج ریز ساختار فولادهای ۳۱۶ حساس شده در شکل (۲)، سه فولاد با ساختارهای مختلف انتخاب شد که شامل ساختارهای Step (فولاد حساس شده در دمای ۵۰۰ درجه

در شکل (۳) نمودارهای پلاریزاسیون نمونه‌های Dual و Ditch داده شده است. با توجه به آن فولاد ۳۱۶ با ساختار Dual علی‌رغم اینکه مرزدانه‌های آن نسبت به خوردگی بین دانه‌ای مقاوم‌تر از ساختار Ditch است، بیشتر در معرض خوردگی قرار گرفته است. هم‌چنین مشاهده شده است که در غلظت‌های بالای $KSCN$ ، افت پیدا می‌کند. هم‌چنین این همراه با تغییر در شکل منحنی راکتیواسیون می‌باشد. شکل (۴) منحنی‌های راکتیواسیون را برای نمونه‌های با ساختار Dual و Ditch در غلظت‌های متفاوت $KSCN$ نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش غلظت $KSCN$ ، کم می‌شود، اما شکل منحنی هم به سمت پتانسیل بالاتر خم می‌شود. این مشاهده برای ساختار Ditch، برجسته‌تر است. دلیل این اثر را می‌توان به وسیله مشاهدات روی یک اثر مشابه که در آلیاژ اینکونل ۶۰۰ به وجود آمده، تا اندازه‌ای توضیح داد.

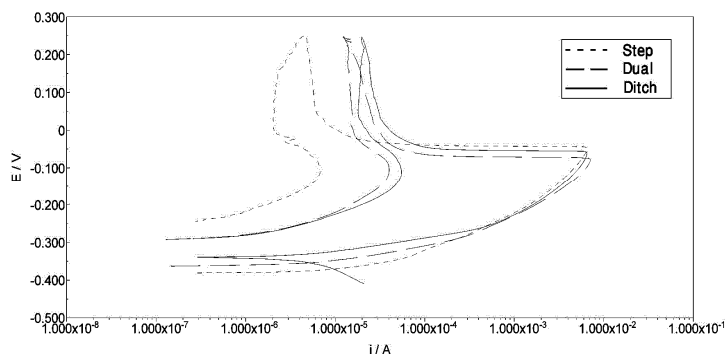


شکل (۴): نمودار راکتیواسیون برای نمونه‌های Dual, Ditch با استفاده از آزمایش DLEPR با غلظت‌های متفاوت $KSCN$.

در این تحقیق، نمودارهای راکتیواسیون دو پیک متمایز به چند منحنی راکتیواسیون پیچ خورده‌اند که نویسنده این تحقیق به وسیله مقایسه ساختار آلیاژها به این نتیجه رسیده است که انواع



شکل (۲): از بالا به پایین تصویر SEM ساختارهای Dual و Ditch در بزرگنمایی ۷۵۰ برابر.

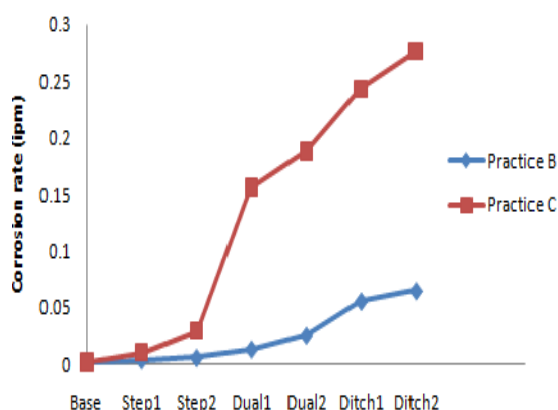


شکل (۳): نمودارهای پلاریزاسیون برای نمونه‌های Dual و Ditch, Step در شرایط آزمایش $0.1M KSCN + 5M H_2SO_4$ و سرعت اسکن $6V/hr$

خوردگی محسوس تر می شود. پیش بینی می شود زمانی که ساختار Ditch کاملاً تشکیل شد بعد از آن دیگر سرعت خوردگی خیلی زیاد نمی شود، زیرا افزایش زمان باعث نفوذ دوباره کرم به مناطق خالی از کرم شود و آن مناطق دوباره غنی از کرم شود.

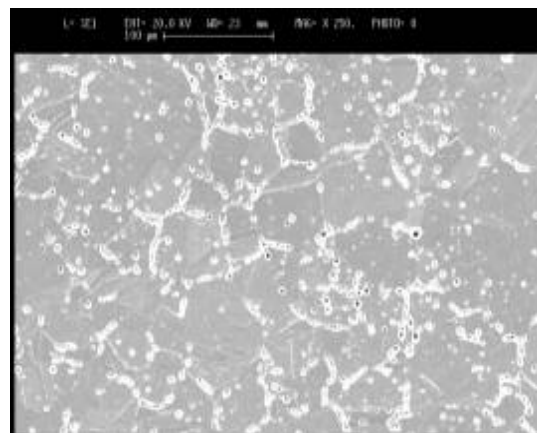
جدول (۴): نتایج آزمایش کاهش وزن برای فولاد AISI ۳۱۶ با توجه به 262 ASTM A

نمونه	Practice B	Practice C
	ipm	ipm
حساس نشده	۰/۰۰۱۹۰	۰/۰۰۲۰۸
(Step 1) ۵۰-۳۰	۰/۰۰۴۱۱	۰/۰۱۰۴
(Step 2) ۵۰-۱۲۰	۰/۰۰۶۱۶	۰/۰۲۹۶۲
(Dual 1) ۶۰-۱۲۰	۰/۰۱۳۴۴	۰/۱۵۶۴۳
(Dual 2) ۶۵-۱۲۰	۰/۰۲۵۷۲	۰/۱۸۸۰۷
(Ditch 1) ۷۵-۱۲۰	۰/۰۵۵۷۰	۰/۲۴۳۱۱
(Ditch 2) ۸۰-۱۲۰	۰/۰۶۴۸۱	۰/۲۷۵۸۴



شکل (۶): نتایج آزمایش های کاهش وزن اسیدی برای فولاد AISI ۳۱۶ مطابق با 262 ASTM A

دیگری از خوردگی در این آلیاژ اتفاق افتاده است. نمودارهای پیچ خورده در پتانسیل های بالا نشان بر وجود خوردگی حفره ای (pitting) در این آلیاژ دارد [۹].



شکل (۵): تصویر SEM از فولاد با ساختار Ditch بعد از آزمون DLEPR در غلظت بالای KSCN در بزرگنمایی ۷۵۰ برابر

در اینجا نیز خم شدن نمودار اکتیواسیون به خاطر ترکیب شدن دو خوردگی در یک زمان می باشد. ریزساختار فولاد ۳۱۶ با ساختار Ditch بعد از آزمایش DLEPR در غلظت بالای KSCN دوباره بررسی شده است و نتیجه آن در شکل (۵) قابل مشاهده است.

با توجه به شکل به طور قطع یک اتفاق دیگری غیر از خوردگی بین دانه های روی سطح فلز اتفاق افتاده است. البته به طور قطع نمی توان این اتفاق را خوردگی حفره ای تلقی نمود. اما با توجه به اتفاق مشابه در تحقیق روی آلیاژ اینکونل و هم چنین مشاهده حفره های روی سطح فولاد می توان نتیجه گرفت که خوردگی حفره ای نیز اتفاق افتاده است [۹-۱۰].

۳-۲- نتایج آزمایش کاهش وزن

نتایج برای روش های اسیدنیتریک و سولفات فریک-اسیدسولفوریک در جدول (۴) و شکل (۶) داده شده است. هر دو آزمایش اسیدی نتایج مشابهی دارند. سرعت خوردگی با تغییر ساختار از Step به Dual و Ditch افزایش می یابد و با تغییر از یک ساختار به ساختار دیگر، سرعت

در این جدول ارتباط معنی دار هنگامی حاصل می شود که مقدار P Value کمتر از ۰/۰۵ باشد که در این حالت ارتباط قوی برقرار است. بعد از انجام دادن آزمون ضریب هم بستگی برای نتایج آزمون های کاهش وزن و DLEPR، در آزمایش های با کد ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۱۹ هم بستگی خوبی مشاهده شده است (جدول ۵). آزمایش شماره ۱۵ با سرعت اسکن 1 v/hr انجام شده است. همان طور که قبلاً اشاره شد، سرعت های اسکن خیلی بالا یا خیلی پائین نتایج قابل قبولی را به همراه نخواهد داشت. بنابراین عاقلانه این است که از این آزمایش با سرعت اسکن خیلی کم چشم پوشی نمود. هم چنین آزمایش های ۹، ۱۰ و ۱۹، محلول آزمایش شامل 2 M KSCN می باشد، که در این شرایط در طول اسکن برگشتی، نه تنها خوردگی بین دانه ای اتفاق می افتد، بلکه خوردگی حفره ای نیز رخ می دهد و این حالت برای فولادها با ساختار Ditch نیز بیشتر اتفاق می افتد. آزمایش ۷، نیز تنها هم بستگی خوبی با آزمایش کاهش وزن C دارد. هم چنین در آزمایش با کدهای ۷، ۹ و ۱۰ به خاطر مقدار کم H_2SO_4 ، به نظر می رسد دقت نیز کم باشد. تنها آزمایشی که باقی می ماند آزمایش با کد ۱۲ است که فرضیه منفی برای شرایط انجام این آزمایش وجود ندارد و هم بستگی بسیار خوبی با آزمایش کاهش وزن اسیدی برقرار کرده است. این آزمایش در شرایط $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ و 0.05 M KSCN و سرعت اسکن 3 v/hr انجام شده است و بهترین نتیجه آزمون DLEPR برای بدست آوردن خوردگی بین دانه ای را شامل می شود. با توجه به نتایج آزمایش کد ۱۲ برای هر سه نمونه با ساختارهای مختلف، می توان نتیجه گرفت که نسبت Ir/Ia (درجه حساسیت) برای نمونه با ساختار Step برابر ۰/۰۴۶، برای ساختار Dual برابر ۰/۲۲ و برای ساختار Ditch برابر ۲/۳۰ می باشد. مشاهده می شود که با تغییر ساختار از Step به Dual تقریباً درجه حساسیت ۵ برابر شده و با تغییر ساختار از Dual به Ditch، ۱۰ برابر حساس تر شده است. پس می توان نتیجه گرفت که با تغییر ساختارها از Step به Dual و از Dual به Ditch خوردگی بین دانه ای بسیار شدیدتر خواهد شد.

این قسمت از تحقیق هدف تعیین درجه حساسیت به خوردگی بین دانه ای برای فولاد ۳۱۶ AISI با استفاده از روش DLEPR می باشد. بنابراین نتایج آزمایش DLEPR باید مقداری توسط آزمایش کاهش وزن اسید پیش بینی شود. برای این که مشخص شود چه ترکیبی از پارامترهای DLEPR بهترین حالت را به وجود می آورد باید نتایج این آزمون با نتایج آزمون کاهش وزن اسیدی ربط داده شوند (Correlation) که نتایج آن در جدول (۵) داده شده است.

جدول (۵): ضریب هم بستگی بین نتایج آزمون کاهش وزن و DLEPR

هم بستگی (معناداری)	Practice B	Practice C
کد آزمایش	Ir/Ia	Ir/Ia
۱	۰/۸۴۱ (۰/۱۶۸)	۰/۹۹۱ (۰/۰۸۵)
۲	۰/۹۴۰ (۰/۱۲۱)	۰/۹۹۶ (۰/۰۵۸)
۳	۰/۶۶۳ (۰/۳۳۸)	۰/۹۱۸ (۰/۲۵۹)
۴	۰/۷۵۸ (۰/۱۵۲)	۰/۹۶۳ (۰/۰۷۳)
۵	۰/۷۹۱ (۰/۱۹۰)	۰/۹۷۶ (۰/۱۴۰)
۶	۰/۸۲۵ (۰/۱۸۳)	۰/۹۸۷ (۰/۱۰۴)
۷	۰/۸۸۱ (۰/۱۱۳)	۰/۹۹۹ (۰/۰۳۴)
۸	۰/۹۵۴ (۰/۱۹۳)	۰/۹۹۱ (۰/۰۸۶)
۹	۰/۹۸۹ (۰/۰۴۵)	۰/۹۵۸ (۰/۰۲۸)
۱۰	۰/۹۹۹ (۰/۰۲۱)	۰/۹۹۱ (۰/۰۳۱)
۱۱	۰/۸۶۴ (۰/۱۳۶)	۰/۹۹۶ (۰/۰۵۷)
۱۲	۰/۹۹۷ (۰/۰۴۷)	۰/۹۸۹ (۰/۰۳۲)
۱۳	۰/۶۱۷ (۰/۲۷۶)	۰/۸۹۳ (۰/۱۹۷)
۱۴	۰/۹۹۷ (۰/۰۵۱)	۰/۸۶۸ (۰/۱۳۰)
۱۵	۰/۹۲۱ (۰/۰۲۵)	۰/۹۹۹ (۰/۰۲۴)
۱۶	۰/۸۶۶ (۰/۱۳۳)	۰/۹۹۶ (۰/۰۵۴)
۱۷	۰/۸۳۵ (۰/۱۷۱)	۰/۹۸۹ (۰/۰۹۲)
۱۸	۰/۶۷۱ (۰/۲۷۱)	۰/۸۰۱ (۰/۱۰۹)
۱۹	۰/۹۹۹ (۰/۰۱۹)	۰/۹۹۴ (۰/۰۴۸)
۲۰	۰/۹۷۸ (۰/۱۳۴)	۰/۹۷۴ (۰/۱۴۵)
۲۱	۰/۸۲۲ (۰/۱۹۸)	۰/۹۳۷ (۰/۰۷۹)
۲۲	۰/۸۱۱ (۰/۱۹۷)	۰/۹۸۳ (۰/۱۱۸)
۲۳	۰/۹۵۵ (۰/۰۹۲)	۰/۹۹۱ (۰/۰۸۷)

- [3] ASTM A 262-91, "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels", Annual Book of ASTM Standard, Vol 03.02, ASTM, p1-18, 1992.
- [4] V.Cihal and R.Stefec, On the Development of the Electrochemical Potentiokinetic Method, *Electrochimica Acta* 46 386, 2001.
- [5] W.L.Clarke and W.M.Romero, J.C. Dankoin, *Corrosion* 77, reprint no 180, National Association of Corrosion Engineers, 1974.
- [6] A.P.Majidi and M.A.Streicher, "Intergranular Corrosion of. Stainless Alloys", *Corrosion (NACE)*, 1984.
- [7] N.Lopez, M.Cid, M.Puiggali, I.Azkarate and A.Pelayo, *Materials Science and Engineering*, Vol 229, 1997.
- [8] F.Umemura, M.Akashi, T.Kawamoto and Boshoku Gijutsu (*Corr. Eng. Jpn.*), 29 163, 1980.
- [9] T.F.Wu and W.T.Tsai, "Effect of kscn and its Concentration on the Reactivation Behavior of Sensitized Alloy 600 in Sulfuric Acid Solution", *Corrosion Science*, 45 267, 2003.
- [10] T.F.Wu, T.P. Cheng and W. T. Tsai, "The Electrochemical Potentiokinetic Reactivation Behavior of Alloy 600", *Journal of Nuclear Materials*, 295 23, 2001.

۴- نتیجه گیری

آزمایش DLEPR نتایج کمی برای نمونه‌های فولاد ارائه می‌کند به منظور تخمین بهتر حساسیت به خوردگی بین دانه‌ای فولاد ضد زنگ ۳۱۶، نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج حاصل از آزمایش کاهش وزن اسیدی مورد ارزیابی قرار گرفته است و بهترین هم‌خوانی در حالت $1M H_2SO_4 + 0.05 MKSCN$ و سرعت اسکن $3V/hr$ و دمای 30 درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است. در نهایت محدوده I_r/I_a برای ساختارهای ditch , dual , step از فولاد ۳۱۶ به ترتیب $0.046-0$ ، $0.22-0.46$ ، 0.22 به بالا گزارش شده است.

۵- مراجع

- [1] V. Cihal, "Intergranular Corrosion of Steels and Alloys", Elsevier Science, 1984.
- [2] M. G. Fontana and N.D.Greene, *Corrosion Engineering*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, 1967.