

پایش ترک خوردن ناشی از خوردگی و تنش (SCC) در نمونه‌های آلیاژی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و برنج به روش نوسان‌های الکتروشیمیایی

محسن صابویی (دانشیار)

اکرم نوری‌دلاور (کوشناس ارشد)

دانشکده‌ی فنی - گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه تهران

در این پژوهش، نوسان‌های الکتروشیمیایی^۱ جریان و پتانسیل نمونه‌های آلیاژی فولادزنگ نزن ۳۰۴ حساس شده در محلول اسیدی ۲۵٪ کلراید منیزیم و همچنین برنج ۳۰-۷۰ در محلول ماتسون، طی پدیده‌ی ترک‌خوردگی ناشی از خوردگی و تنش^۲ (SCC) مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد هر دو آلیاژ، پدیده‌ی شروع و رشد ترک بر اثر تغییرات آنی و همزمان در جریان و پتانسیل قابل مشاهده است. اما این تغییرات در نوسان‌های جریان مشخص‌تر است. مشخصه‌ی ایجاد ترک اولیه در نمونه‌ی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با تغییرات آنی در پتانسیل و جریان همراه است که به آرامی بازیابی می‌شود و رشد نهایی ترک بر اثر تغییرات شدید در جریان و پتانسیل مشاهده می‌شود. در نمونه‌ی برنجی نیز رشد ترک با تغییرات آنی جریان و پتانسیل همراه است که به‌طور کامل بازیابی نمی‌شود. داده‌های به دست آمده از جریان و پتانسیل در محدوده‌ی زمانی، به‌وسیله‌ی تابع تبدیل فوریه‌ی سریع به محدوده‌ی فرکانسی تبدیل شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت، مشخص شد که تغییرات جریان و پتانسیل، با شروع رشد ترک و در نهایت شکست قطعه ارتباط دارد، و این ارتباط می‌تواند مبنای پایش پدیده‌ی SCC در این آلیاژها باشد.

۱. مقدمه

برخوردار است که شاید بتوان از آن در زمینه‌ی پایش SCC استفاده کرد.

لوتو^۳ و کوتیس^۴ نوسان الکتروشیمیایی ایجاد شده در طول SCC برنج آلفا را در محلول ماتسون از طریق تجزیه و تحلیل با روش آنتروپی بیشینه بررسی کرده است.^[۷] آنها به این نتیجه رسیدند که انحراف معیار نتایج واضح‌تری را ارائه می‌دهند و ترک خوردن نمونه‌ها در اکثر موارد بیشترین دامنه‌های نوسانات و بزرگ‌ترین انحراف معیار را می‌دهد. لوتو و کوتیس مطالعات مشابهی را در خصوص یک آلیاژ آلومینیوم در محلول کلراید سدیم ۳/۵٪^[۸] و فولاد کربنی با استحکام بالا در محلول کلراید سدیم ۳/۵٪، به‌همراه سولفید سدیم ۵۰ ppm^[۹] انجام داده و به نتایجی مشابه نتایج به دست آمده در مورد برنج آلفا دست پیدا کردند. آنها داده‌های مربوط به فولاد کربنی را با استفاده از روش‌های آنتروپی بیشینه و تبدیل فوریه آنالیز کردند، و در نهایت به این نتیجه رسیدند که جوانه‌زنی ترک و شکست نمونه بالاترین چگالی‌های طیف توانی را ارائه می‌دهند.

در این پژوهش، نوسانات الکتروشیمیایی تولید شده در طول پدیده‌ی SCC نمونه‌های برنجی در محلول ماتسون و همچنین نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با درجه‌ی حساسیت متوسط اندازه‌گیری شده و در محدوده‌ی زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین داده‌های به‌دست آمده در محدوده‌ی زمانی، با استفاده از روش تبدیل فوریه‌ی

ترک خوردن ناشی از خوردگی و تنش یکی از مشکلات بزرگ اکثر صنایع به‌شمار می‌رود به‌طوری که انهدام‌های زودرس زیادی در سیستم‌هایی که تحت تنش‌های کم‌تراز حد تسلیم‌شان هستند، رخ می‌دهد. علی‌رغم وجود روش‌های مختلف به‌منظور شناسایی و بررسی پدیده‌ی خوردگی، هنوز روش مناسبی برای پایش ترک خوردن ناشی از خوردگی و تنش (SCC) وجود ندارد. بنابراین استفاده از روشی که بتواند به پیش‌بینی شکست تجهیزات بر اثر پدیده‌ی SCC کمک کند، می‌تواند برای صنایع مختلف مفید واقع شود.

اصطلاح «نوسان الکتروشیمیایی» به نوسان‌های جریان و پتانسیل ایجاد شده بر روی سطح الکتروده، طی یک فرایند الکتروشیمیایی اطلاق می‌شود. مطالعات متعدد انجام شده بر روی نوسان‌های الکتروشیمیایی ایجاد شده در سیستم‌های خوردگی نشان داده است که انواع مختلف خوردگی از قبیل حفره‌دار شدن^[۱-۵] خوردگی خستگی^[۶]، خوردگی میکروبی^[۷]، SCC^[۸-۱۲] از مشخصه‌های نوسان‌های مربوط به خود برخوردارند، و بنابراین می‌توان از نوسان‌های الکتروشیمیایی به‌عنوان روشی برای پایش خوردگی استفاده کرد. مطالعات انجام شده بر روی نوسان‌های الکتروشیمیایی ناشی از پدیده‌ی SCC در فلزات و آلیاژهای مختلف، نشان داده است که ایجاد ترک و مراحل مختلف رشد آن در اکثر فلزات و آلیاژها از نوسان‌هایی با مشخصه‌های معینی

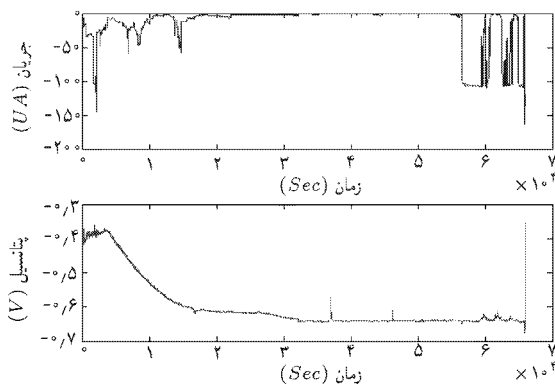
جدول ۱. ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد آزمایش.

Mn	Si	C	Pb	Ni	Cr	Zn	Cu	Fe	مواد
-	-	-	۰٫۰۷	-	-	۲۹٫۸۸-۳۲٫۸۸	۶۷-۷۰	۰٫۰۵	برنج
۲	۱	۰٫۰۸		۸-۱۰٫۵	۱۸-۲۰	-	-	۷۲٫۹	فولاد زنگ نزن ۳۰۴

و الکتروود مرجع از جنس پلاتین اندازه‌گیری شده است. داده‌های به دست آمده، هر نیم ثانیه یک بار توسط رایانه ذخیره شده‌اند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. فولاد زنگ نزن ۳۰۴ حساس شده به مدت شش ساعت در محلول اسیدی و داغ کلراید منیزیم ۲۵٪
نوسان‌های جریان و پتانسیل ناشی از پدیده‌ی SCC فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در محلول اسیدی و داغ کلراید منیزیم ۲۵٪ در شکل ۲ نشان داده شده است. چنان که در این شکل دیده می‌شود، در ابتدای انجام آزمایش نوسان‌های شدیدی در جریان مشاهده می‌شود که ممکن است مربوط به خوردگی فولاد و شکسته شدن لایه‌ی غیرفعال آن باشد. متناسب با این نوسان‌ها، پتانسیل ابتدا با نوسان‌های زیاد به سمت پتانسیل‌های مثبت متمایل می‌شود و سپس با یک شیب نسبتاً تند به سمت پتانسیل‌های منفی‌تر می‌رود که این تغییرات جریان و پتانسیل را می‌توان به فعالیت‌های سطح نمونه و مرحله‌ی حفره‌زایی نسبت داد. بعد از گذشت حدود ۳۰۰۰ ثانیه پتانسیل و جریان هر دو، مقدار تقریباً ثابتی پیدا می‌کنند. در محدوده‌ی زمانی بین ۳۰۰۰ تا ۵۶۰۰۰ ثانیه نوسان‌های خاصی در جریان و پتانسیل مشاهده نمی‌شود، مگر دو پرش مشخص در پتانسیل و جریان که در شکل ۳ با بزرگ‌نمایی بالاتر دیده می‌شوند؛ که این تغییرات پتانسیل و جریان کاملاً همزمان‌اند و نشان‌دهنده‌ی واکنش‌های سطحی است که توضیح داده می‌شود. این دو پرش خاص در پتانسیل، که به صورت افزایش آنی بروز کرده و به آرامی بازبایی می‌شوند براساس مطالعات انجام شده توسط سایر



شکل ۲. نوسان‌های جریان و پتانسیل ناشی از پدیده‌ی SCC فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در محلول اسیدی و داغ کلراید منیزیم ۲۵٪.

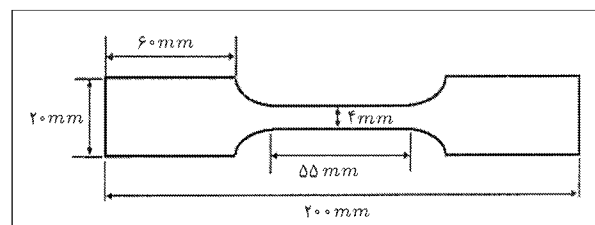
سریع در محدوده‌ی فرکانسی نیز بررسی شده‌اند؛ شاید بتوان روش قابل استفاده‌ی به‌منظور پیش‌بینی شکست ناشی از SCC ارائه کرد.

۲. آزمایشات

مواد مورد استفاده در این آزمایش عبارت‌اند از: آلیاژ برنج و فولاد زنگ نزن ۳۰۴، که ترکیب شیمیایی اسمی این آلیاژها در جدول ۱ آورده شده است. ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه‌های فولادی ابتدا در دمای $105^{\circ}C$ در محیط گاز آرگون و به مدت ۳۰ دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و در آب سرد شده‌اند و سپس به مدت ۶ ساعت در دمای $65^{\circ}C$ حساس شده‌اند. قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها به‌وسیله‌ی کاغذهای کربید سیلیکون با درجه‌ی ۶۰۰ پولیش شده، با آب مقطر شست‌و شو داده شده و سپس با استون چربی‌زدایی شده‌اند.

محلول مورد استفاده در آزمایش SCC فولادزنگ نزن عبارت است از محلول اسیدی شده‌ی ۲۵٪ کلراید منیزیم، که براساس استاندارد ASTM G36-37 تهیه شده است. نمونه‌های برنجی نیز در محلول ماتسون که براساس استاندارد ASTM G37-49 ساخته شده است، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. همچنین نمونه‌ها تحت بار ثابت (نمونه‌ی فولاد زنگ‌نزن تحت بار ۳۰۰ مگاپاسکال و نمونه‌ی برنجی تحت بار ۲۰۰ مگاپاسکال) مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. به‌منظور تسریع در پدیده‌ی SCC، آزمایش‌ها در دمای نزدیک به دمای جوش محلول‌ها انجام شده است.

نوسان الکتروشیمیایی جریان با استفاده از یک جریان‌سنج با مقاومت بسیار کم^۵، بین یک الکتروود کاری تحت تنش و یک الکتروود کمکی بدون تنش و از جنس نمونه‌ی کاری اندازه‌گیری شده است. همچنین نوسان الکتروشیمیایی پتانسیل نیز به‌طور همزمان با نوسان جریان و توسط یک ولت‌متر با مقاومت داخلی بالا، بین الکتروود کاری

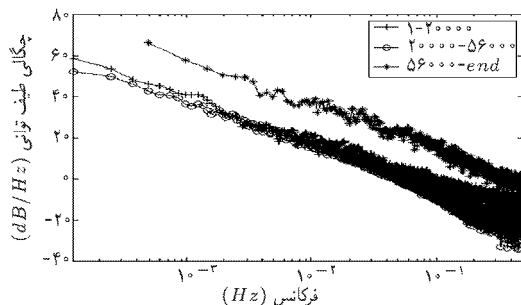


شکل ۱. ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش.

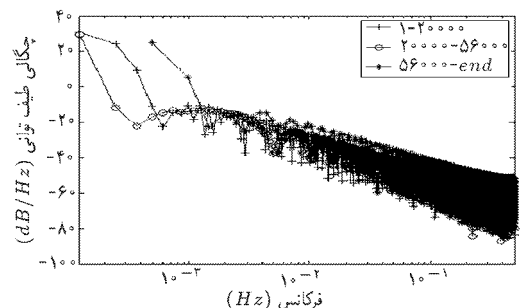
می‌شوند به سه دسته تقسیم می‌کنیم که نمودارهای چگالی طیف توانی^۶ (نمودار PSD) مربوط به جریان در این بازه‌های زمانی در شکل ۴ نشان داده است.

نمودار PSD مربوط به بازه‌ی زمانی اول بالاتر از نمودار بازه‌ی زمانی دوم قرار گرفته است که با مشاهدات مربوط به شکل ۲ مطابقت دارد؛ زیرا همان‌طور که در این شکل نشان داده شده نوسان‌های بازه‌ی زمانی دوم نسبت به بازه‌ی زمانی اول کم‌تر بوده و دامنه‌ی کم‌تری نیز دارند. نمودار مربوط به بازه‌ی زمانی سوم که مربوط به نوسان‌های ناشی از رشد نهایی ترک و انهدام نمونه است، کاملاً بالاتر از دو نمودار دیگر قرار گرفته، در حالی که نمودارهای مربوط به دو بازه‌ی زمانی اول و دوم در فرکانس‌های بالاتر هم‌پوشانی دارند.

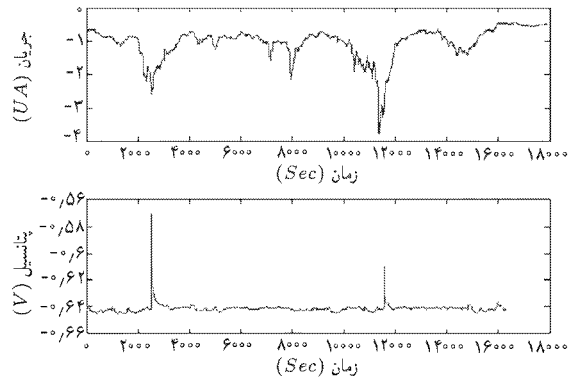
در شکل ۵ نمودارهای PSD مربوط به نوسان‌های پتانسیل در سه بازه‌ی زمانی بالا ترسیم شده است که در اینجا نیز تشخیص مرحله‌ی رشد ترک از سایر مراحل امکان‌پذیر است. ترتیب قرارگرفتن نمودارها همانند شکل ۴ است و نمودارهای هر سه بازه در فرکانس‌های بالا هم‌پوشانی دارند. دلیل آن است که همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، نوسان‌های پتانسیل در بازه‌های زمانی مختلف حساسیت کم‌تری نسبت به جریان دارند و بنابراین دامنه‌ی تغییرات پتانسیل نیز نسبت به جریان کم‌تر است. در این شکل نیز نمودار مربوط به رشد نهایی ترک و انهدام نمونه در بالاترین سطح قرار گرفته است.



شکل ۴. نمودارهای PSD مربوط به جریان برای نمونه‌ی فولاد زنگ نزن ۳۰۴.



شکل ۵. نمودارهای PSD مربوط به پتانسیل برای نمونه‌ی فولاد زنگ نزن ۳۰۴.

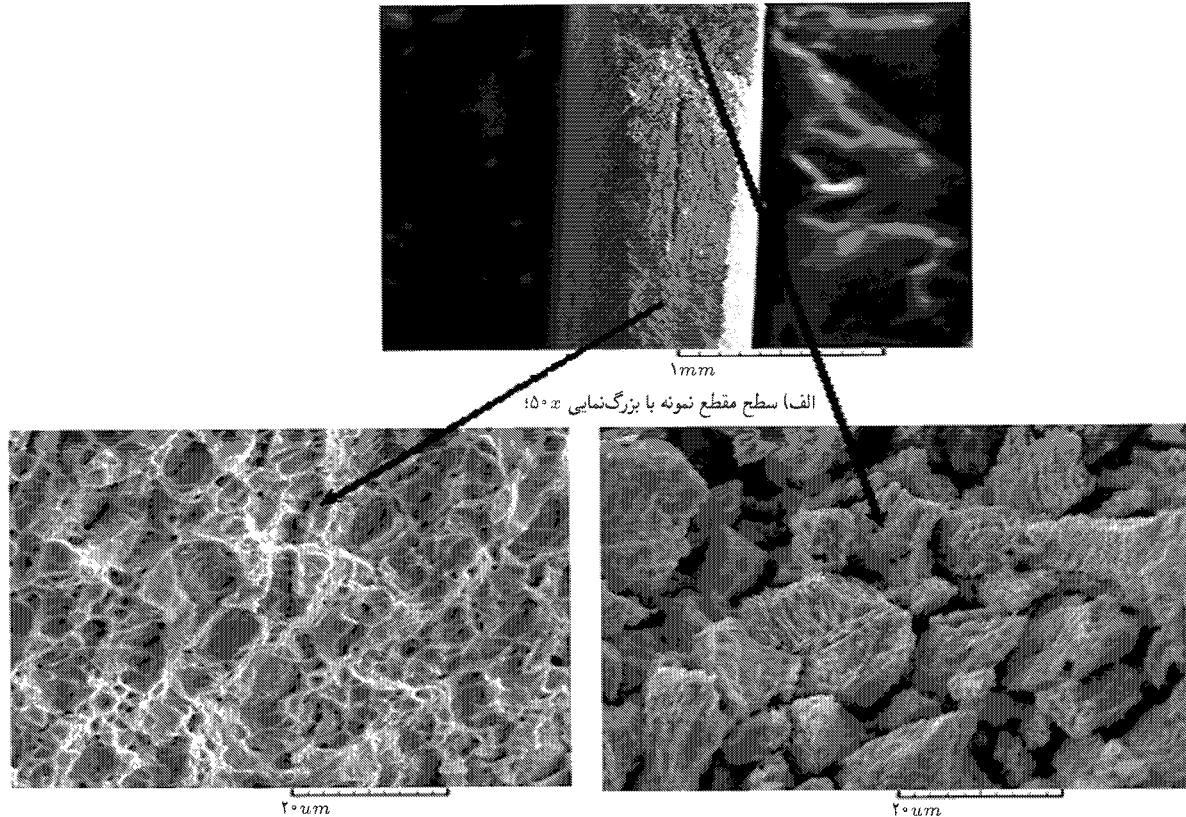


شکل ۳. نمودار مشخصه‌ی جریان و پتانسیل ناشی از ایجاد ترک در نمونه‌ی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در محلول اسیدی و داغ کلراید منیزیم ۲۵٪.

محققین^[۹]، مشخصه‌ی ایجاد ترک در نمونه هستند. همزمان با این تغییرات پتانسیل، نوسان‌های مشابهی نیز در جریان مشاهده می‌شود که به‌صورت کاهش و افزایش آهسته‌ی جریان می‌تواند ناشی از ایجاد ترک باشد.

از ثانیه‌ی ۱۵۶۰۰۰ به بعد نوسان‌های شدید در جریان و پتانسیل ثبت شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود این نوسان‌ها به‌صورت موج‌های چهارگوشی هستند که تا انهدام نهایی نمونه ادامه پیدا می‌کنند و از آنجا که پس از مشاهده‌ی این نوسان‌ها نمونه دچار شکست شد، ممکن است این نوسان‌ها با رشد مرحله‌ی ترک در نمونه مرتبط باشند، به این ترتیب که ابتدا ترک اصلی رشد می‌کند و سطح آزادی از فلز در معرض محلول خورنده قرار می‌گیرد. بنابراین جریان خوردگی به‌شدت به‌سمت مقادیر منفی تمایل پیدا کرده و با گذشت مدت زمانی این سطح آزاد فلز که در معرض محلول خورنده قرار گرفته، غیرفعال می‌شود و دوباره جریان به سمت مقادیر نزدیک به صفر میل پیدا می‌کند. این روند به‌طور فزاینده‌ی بیش می‌رود تا آنجا که سطح مقطع نمونه به اندازه‌ی کوچک می‌شود که میزان تنش اعمالی بیش‌تر از حد‌استحکام نهایی نمونه می‌شود و در نهایت نمونه می‌شکند. نوسان‌های پتانسیل مربوط به رشد نهایی ترک با نوسان‌های جریان متناسب نیست و الگوی مشخصی ندارد، و فقط نوسان‌های شدید پتانسیل قبل از شکست نهایی مشاهده می‌شود. در هنگام شکست پیک ناشی از شکست ظاهر می‌شود که نسبت به پیک‌های دیگر بزرگ‌تر بوده و در شکل ۲ منعکس شده است. بنابراین تغییرات جریان و پتانسیل قبل از شکست نهایی، یا به‌عبارت دیگر مرحله‌ی رشد ترک، کاملاً با مراحل دیگر متفاوت است و می‌تواند به‌عنوان معیار پیش‌بینی شکست به‌کار رود.

داده‌های به‌دست آمده در محدوده‌ی زمانی به‌وسیله‌ی تابع تبدیل فوریه‌ی سریع، در محدوده‌ی فرکانسی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بدین منظور بازه‌ی زمانی را با توجه به شکل نوسان‌هایی که مشاهده

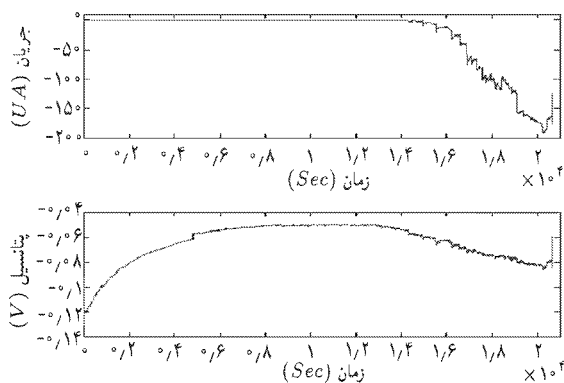


الف) سطح مقطع نمونه با بزرگنمایی ۵۰x؛

ج) تصویر شکست ترد با بزرگنمایی ۲۰۰۰.

ب) تصویر خوردگی مرزدانه‌یی با بزرگنمایی ۲۰۰۰؛

شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح شکست نمونه‌ی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در محلول اسیدی و داغ کلراید منیزیم ۲۵٪.



شکل ۷. نوسان‌های جریان و پتانسیل برنج (۳۰-۷۰) ناشی از پدیده‌ی SCC تحت بار ثابت ۱۸۰ MPa در محلول.

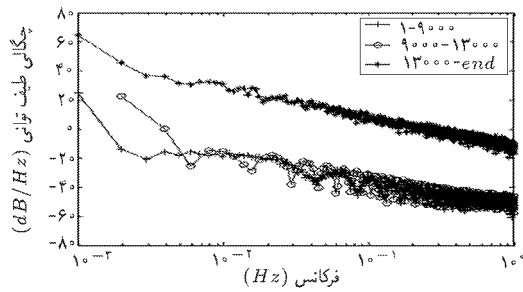
یافته و به مقدار کم باز یابی می‌شود؛ و در نهایت پیک مربوط به شکست نمونه مشاهده می‌شود. پتانسیل نیز به مرور زمان مثبت‌تر می‌شود تا این که در ثانیه‌ی ۱۳۷۰۰۰ام به مقدار ثابتی می‌رسد و بعد ثانیه‌ی ۱۳۷۰۰۰ام همانند جریان به صورت پله‌یی کاهش می‌یابد و به سمت مقادیر منفی‌تر میل می‌کند.

شکل ۸ نوسان‌های مربوط به جریان و پتانسیل را از ثانیه‌ی

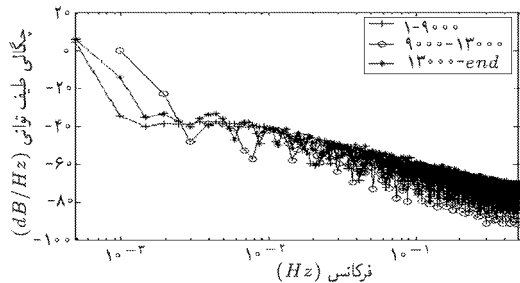
تصویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به سطح شکست این نمونه‌ی فولادی در شکل ۶ آورده شده است. سطح شکست نیز نشان‌دهنده‌ی شکست دو مرحله‌یی نمونه است (شکل ۶الف)، در مرحله‌ی اول (شکل ۶ب) رشد اولیه‌ی ترک در اثر خوردگی مرزدانه‌یی بوده که باعث جدایش دانه‌ها شده، و در مرحله‌ی دوم که تنش اعمالی بر روی سطح مقطع نمونه به بیش از حد استحکام آن می‌رسد، شکست نمونه به صورت ترد و ناگهانی اتفاق افتاده است که شکل دیمپلی آن به‌وضوح مشاهده می‌شود (شکل ۶ج). چنان که مشاهده می‌شود، نتایج شکست‌نگاری با نوسان‌های پتانسیل و جریان متناسب است. این تصاویر حاکی از سازوکار دو مرحله‌یی یا چندمرحله‌یی شکست فولادهای آستنیتی است.

۲.۳. بررسی نوسان نمونه‌ی برنج (۳۰-۷۰) در محلول ماتسون
نوسان‌های جریان و پتانسیل برنج (۳۰-۷۰) ناشی از پدیده‌ی SCC تحت بار ثابت (۱۸۰ MPa) در محلول ماتسون در شکل ۷ نشان داده شده است.

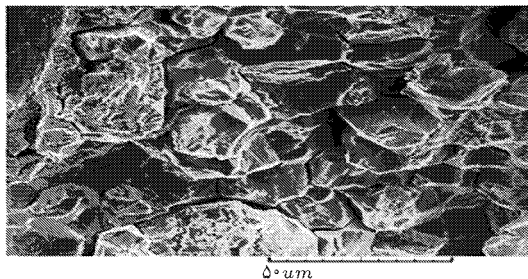
تا ۱۳۷۰۰۰ ثانیه‌ی اولیه نوسان‌های خاصی در جریان مشاهده نمی‌شود. پس از آن دیده می‌شود که جریان به صورت پله‌یی کاهش



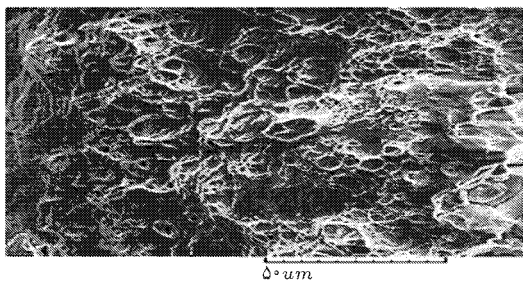
شکل ۹. نمودارهای PSD مربوط به جریان برای برنج ۳۰-۷۰.



شکل ۱۰. نمودارهای PSD مربوط به پتانسیل برای برنج ۳۰-۷۰.



الف) تصویر خوردگی مرزانه‌یی با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ در اوایل رشد ترک؛

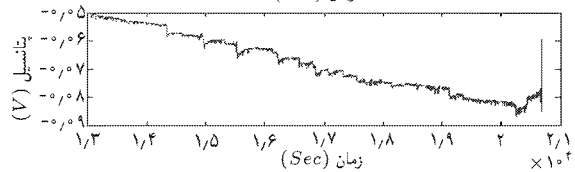
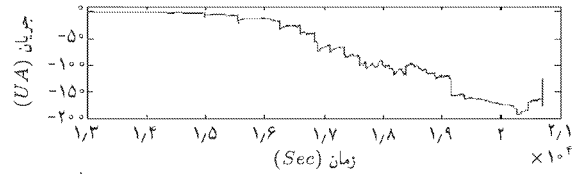


ب) تصویر شکست ترد با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ از سطح مقطع نمونه در رشد نهایی شکست.

شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به نمونه‌ی برنج (۳۰-۷۰) ناشی از پدیده‌ی SCC تحت بار ثابت ۱۸۰ Mpa.

دوم شکست ترد بدلیل افزایش تنش موضعی بر اثر کاهش سطح مقطع رخ داده است.

این تصاویر نشان‌دهنده‌ی این حقیقت است که نقش خوردگی در ایجاد ترک‌های اولیه و تولید مواضع تنش‌زا و توسعه‌ی SCC بسیار



شکل ۸. نوسان‌های جریان و پتانسیل برنج (۳۰-۷۰) ناشی از پدیده‌ی SCC تحت بار ثابت ۱۸۰ Mpa در محلول ماتسون.

۱۳۶۰۰۰م به بعد نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات پله‌یی جریان و پتانسیل با بزرگ‌نمایی بالاتر مشاهده می‌شود که به‌طور قابل توجهی همزمان با یکدیگر اتفاق می‌افتد. با توجه به نوسان‌های جریان در نمونه‌ی برنجی مشاهده می‌شود که در این نمونه جریان همانند فولاد زنگ نزن ۳۰۴ قادر به بازیابی کامل نیست و این احتمالاً نشان‌دهنده‌ی آن است که رشد ترک در نمونه‌ی برنجی سریع‌تر از نمونه‌ی فولادی است، چرا که قبل از آن که سطح جدیدی از برنج که در اثر رشد ترک در معرض محلول خورنده قرار گرفته است به‌وسیله‌ی محصول خوردگی اکسید مس سیاه‌رنگ کاملاً غیرفعال شود، مرحله‌ی دیگر از رشد ترک آغاز می‌شود. در این نمونه نیز تغییر وضعیت^۲ در جریان و پتانسیل و تغییرات ناگهانی آنها کاملاً با ایجاد و رشد ترک متناسب است.

همانند نمونه‌ی فولادی، نوسان‌های جریان و پتانسیل در نمونه‌ی برنجی را از بازه‌ی زمانی، توسط تابع تبدیل فوریه‌ی سریع، تبدیل به بازه‌ی فرکانسی کرده و آن را مورد بررسی قرار داده‌ایم. در شکل ۹ نمودارهای PSD مربوط به جریان در سه بازه‌ی زمانی مختلف که براساس شکل نوسان‌های مشاهده شده در جریان و پتانسیل انتخاب شده‌اند، نشان داده شده است. چنان که در این شکل مشاهده می‌شود نمودار مربوط به رشد ترک و انهدام نهایی نمونه‌ی برنجی کاملاً بالاتر از دو نمودار دیگر قرار گرفته و نمودارهای مربوط به بازه‌های اول و دوم در فرکانس‌های بالاتر با هم هم‌پوشانی دارند. نمودار مربوط به بازه‌ی زمانی دوم نیز در فرکانس‌های پایین بالاتر از نمودار اول قرار گرفته است. نمودارهای PSD مربوط به پتانسیل نیز در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نمودار مربوط به رشد ترک و انهدام نمونه در فرکانس‌های پایین، نسبت به بازه‌ی زمانی دوم در سطح پایین‌تری قرار گرفته است.

شکل ۱۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به سطح مقطع شکست نمونه‌ی برنجی را نشان می‌دهد. این نمونه نیز همانند نمونه‌ی فولادی، با خوردگی مرزانه‌یی منهدم شده است، و شکست در آن دارای دو مرحله است که در مرحله‌ی اول جدایش دانه‌ها و در مرحله‌ی

از جدایش دانه‌ها در اثر خوردگی مرز دانه‌ی نباشد و بازیابی آرام حاکی از غیرفعال شدن دوباره‌ی ناحیه‌ی نوک ترک و توقف موقت رشد آن باشد. رشد ترک با نوسان‌های شدیدتر و ناگهانی جریان و پتانسیل همراه است که بازیابی نمی‌شود و نشان‌دهنده‌ی فقدان غیرفعال شدن در این مرحله است.

- در نمونه‌های برنجی نوسان‌های حاصل از ایجاد و رشد ترک مشابه‌اند و به‌صورت کاهش پله‌ی همزمان در جریان و پتانسیل مشاهده می‌شود که این ممکن است ناشی از سازوکار متفاوت خوردگی و شکست در این دو نمونه باشد.
- سازوکار ذکر شده‌ی فوق در نمودارهای PSD رسم شده در بازه‌های زمانی مختلف نیز قابل مشاهده است که نمودار مربوط به رشد ترک و مرحله‌ی شکست نهایی به‌دلیل دارا بودن دامنه‌ی بالای نوسانی در بالاترین مقدار قرار می‌گیرد و این نمودار کمک مؤثری به بررسی داده‌های نوسان‌های الکتروشیمیایی می‌کند.

حساس است. چنانچه خوردگی مرز دانه‌ی اتفاق نمی‌افتاد، تنش اعمالی قادر به شکست نمونه نبود؛ به عبارت دیگر سازوکار پیشنهادی برخی از محققین که صرفاً مبتنی بر مکانیک شکست است، برای SCC قابل قبول نیست. به عکس سازوکار پیشنهادی حلالیت نوک ترک و به دنبال آن جدایش قابل قبول‌تر خواهد بود.

۴. نتیجه‌گیری

- با بررسی نتایج حاصله از تغییرات و نوسان‌های جریان و پتانسیل در آزمایش SCC فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ و برنج ۳۰-۷۰ می‌توان اذعان کرد که نوسانات الکتروشیمیایی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای تعیین شروع ترک خوردن و رشد ترک در نمونه‌های فلزی مورد استفاده قرار گیرد.
- ایجاد ترک در نمونه‌ی فولاد زنگ‌نزن با تغییرات ناگهانی جریان و پتانسیل و بازیابی آرام این تغییرات همراه است که ممکن است ناشی

پانوش

1. electrochemical noise
2. stress corrosion cracking
3. loto
4. cottis
5. zero resistant ammeter
6. power spectral density
7. transient

منابع

1. Haruna, Takumi; Morikawa, Yasuyuki; Fujimoto, Shinji; Shibata, Toshio. Electrochemical Noise Analysis for Estimation of Corrosion Rate of Carbon Steel in Bicarbonate Solution. *Corrosion Science*, **45** pp. 2093-2104 (2003).
2. Smulko, J.; Darowicki, K. Nonlinearity of Electrochemical Noise Caused by Pitting Corrosion, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **545**, pp. 59-63 (2003).
3. Cottis, R.A. Al-Awadhi, M.A.A. Al-Mazeedi, H. Turgoose. S. Measures for the Detection of Localized Corrosion With Electrochemical Noise. *Electrochimica Acta*, **46**, pp. 3665-3674 (2001).
4. Cheng, Y.F.; Wilmott, M. Luo. J.L. The Role of Chloride Ions in Pitting of Carbon Steel Studied by the Statistical Analysis of Electrochemical Noise. *Applied Surface Science*, **152**, pp. 161-168 (1999).
5. Roberge, P.R. Wang, S. and Roberge, R. Stainless Steel Pitting in Thiosulfate Solutions with Electrochemical Noise. *Corrosion*, **52**(10) (1996).
6. Leinenbach, Christian; Fleck, Claudia. Ei.er, Dietmar, The Cyclic Deformation Behavior and Fatigue Induced Damage of the Implant Alloy TiAl6Nb7 in Simulated Physiological Media. *International Journal of Fatigue*, **26**, pp. 857-864 (2004).
7. Nagiub, A. Mansfeld, F. Evaluation of Microbiology Influenced Corrosion Inhibition Using Electrochemical Noise Analysis. *Corrosion Science*, **43**, pp. 2001-2009 (2001).
8. Leban, M. Bajt, A. Legat. Detection and Differentiation Between Cracking Processes Based on Electrochemical and Mechanical Measurements. *Electrochimica Acta*, **49**, pp. 2795-2801 (2004).
9. Aballe, A. Newman, R.C. and Cottis, R.A. Corrosion Electrochemical Noise Study of Stress Corrosion Cracking of Sensitized 304 H in Thio-sulfate. Protection Center, UMIST.P.O.Box88, Sackville Street, Manchester M60 IQD (2003).
10. Loto, C.A. Cottis, R.A. Electrochemical Noise Generation During Stress Corrosion Cracking of Alpha-Brass, *Corrosion*, **43**, p. 499 (1987).
11. Loto, C.A. Cottis, R.A. Electrochemical Noise Generation During Stress Corrosion Cracking of High-Strength Aluminium AA7075-T6 Alloy, *Corrosion*, **45**, P. 136 (1989).
12. Loto, C.A. Cottis, R.A. Electrochemical Noise Generation During Stress Corrosion Cracking of High-Strength Carbon Steel, *Corrosion*, **46**, P. 12 (1990).