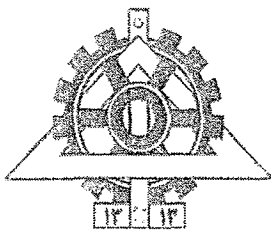


APAC



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده های فنی  
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

بررسی نوین الکتروشیمیایی حاصل از SCC نمونه های  
جوشکاری شده فولاد کم کربن و زنگ نزن ۳۱۶

نگارش

سید علی محمد حقگو

اساتید راهنما

دکتر محسن صارمی

دکتر سعیدرضا الله کرم

استاد مشاور

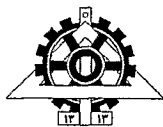
دکتر حسن فرهنگی

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۱

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی مواد، گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

بهمن ماه ۱۳۸۶

۹۳۸۲۵



## تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب سید علی محمد حقگو تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی این جانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سید علی محمد حقگو

امضاء دانشجو:

اهدا

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که همواره برای ادامه تحصیل من مناسب ترین شرایط ممکن را فراهم کرده، و به برادران و خواهرانم که همیشه مشتوق و پشتیبان من بوده اند.

## چکیده

خوردگی تنش<sup>۱</sup> و به دنبال آن شکست های ناگهانی فلزات خصوصا در محل های جوش از مشکلات بزرگ صنایع مختلف می باشد. حساس شدن نسبت به خوردگی مرزدانه ای حین عملیات جوشکاری در فولاد های زنگ نزن عامل تشدید کننده خوردگی تنش در آنها می باشد. اخیرا تلاش های بسیاری به منظور مانیتورینگ خوردگی تنش بوسیله نويز الکتروشیمیایی صورت گرفته است. در این پژوهش به کمک تکنیک الکتروشیمیایی بازفعالسازی پتانسیوکینتیک<sup>۲</sup> و روش اچ کردن الکترولیتی اسید اگزالیک، همچنین میکروآنالیز طیف سنجی اشعه X متفرق کننده انرژی (EDX)، درجه حساسیت نمونه های جوشکاری شده فولاد زنگ نزن ۳۱۶ بررسی شد. همچنین با استفاده از یک دستگاه کشش با کرنش آهسته<sup>۳</sup>، شرایط خوردگی تنش برای نمونه های جوشکاری شده فولاد کربنی st37 و زنگ نزن ۳۱۶ به ترتیب در محلول NaOH و MgCl<sub>2</sub> با دمای ۸۰°C برقرار شد و نوسانات پتانسیل و جریان آنها تا شکست نمونه با استفاده از یک سیستم سه الکترودی ثبت گردید. پس از شکست نمونه ها تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح شکست آنها گرفته شد. نتایج بازه زمانی نويز الکتروشیمیایی مطابقت خوبی با جوانه زنی ترک ها در نمونه داشت. همچنین دقایقی قبل از شکست نهایی، تغییرات منحصر بفردی در نمودارهای پتانسیل و جریان مشاهده شد که میتواند نشان دهنده نزدیک شدن زمان شکست باشد.

**کلمات کلیدی:** خوردگی تنش، نويز الکتروشیمیایی، حساس شدن، فولاد کربنی st37، فولاد زنگ نزن ۳۱۶

<sup>1</sup> Stress Corrosion Cracking

<sup>2</sup> Electrochemical Potentiokinetic Reactivation

<sup>3</sup> Slow Strain Rate Test

## تقدیر و تشکر

در اینجا از زحمات و راهنماییهای جناب آقای دکتر محسن صارمی تشکر و قدردانی فراوان مینمایم و اذعان میکنم که بنده در خدمت ایشان علاوه بر مطالب فراوان علمی، درس زندگی نیز آموختم.

همچنین لازم میدانم که از زحمات و راهنماییهای جناب آقای دکتر سعیدرضا الله کرم و مشاوره آقای دکتر مسن فرهنگی تشکر نمایم و از آقایان دکتر چنگیز دهقانیان و دکتر کورش شیروانی که داوری این پایان نامه را عهده دار شدند کمال قدردانی را داشته باشم.

در پایان نیز از شرکت ملی گاز ایران به خاطر مساعدت های مالی، تشکر مینمایم.

## فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- مروری بر منابع	۵
۱-۲- مروری بر پدیده SCC	۶
۲-۲- مکانیسم SCC	۸
۳-۲- تاثیر پتانسیل الکتروشیمیایی بر خوردگی تنشی	۱۰
۴-۲- مراحل وقوع خوردگی تنشی	۱۱
۵-۲- تشخیص خوردگی تنشی	۱۳
۶-۲- خوردگی و خوردگی تنشی در نواحی جوشکاری شده	۱۴
۷-۲- خوردگی مرز دانه ای	۱۶
۸-۲- مروری بر روش نوین الکتروشیمیایی	۱۸
۱-۸-۲- منابع نوین در سیستم های الکتروشیمیایی	۲۰
۲-۸-۲- اندازه گیری نوین الکتروشیمیایی	۲۱
۳-۸-۲- تفسیر نوین الکتروشیمیایی	۲۲
۴-۸-۲- روشهای استفاده از نوین جریان و پتانسیل بطور همزمان	۲۸
۹-۲- بررسی SCC بوسیله روش نوین الکتروشیمیایی	۲۹
۱-۹-۲- مروری بر تعدادی از فعالیت های انجام شده	۳۰
۳- روش انجام پژوهش	۴۱
۱-۳- مواد اولیه و آنالیز شیمیایی	۴۲
۲-۳- جوشکاری	۴۲
۳-۳- نمونه سازی	۴۳
۴-۳- عملیات حرارتی	۴۳
۵-۳- محلولهای خورنده مورد استفاده	۴۴
۱-۵-۳- محلول ۲۵٪ کلراید منیزیم داغ	۴۴
۲-۵-۳- محلول هیدروکسید سدیم داغ	۴۴
۶-۳- تجهیزات استفاده شده برای انجام تست SCC	۴۵
۱-۶-۳- دستگاه کشش	۴۵
۲-۶-۳- محفظه محلول	۴۶
۳-۶-۳- ثبت کننده نوسانات پتانسیل و جریان	۴۷
۴-۶-۳- SEM جهت بررسی سطح شکست نمونه ها	۴۷
۷-۳- مواد لازم و تجهیزات استفاده شده برای انجام تست اچ اسید آگزالیک و EPR	۴۷
۱-۷-۳- تست اسید آگزالیک	۴۷

۴۷.....	۲-۷-۳- تست بازفعالسازی الکتروشیمیایی
۴۹.....	۴- نتایج و بحث
۵۰.....	۴-۱-۱- SCC فولاد زنگ نزن ۳۱۶ بدون جوشکاری و عملیات حرارتی
۵۰.....	۴-۱-۱-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۵۴.....	۴-۱-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۵۶.....	۴-۱-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۵۸.....	۴-۲- SCC فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده
۵۸.....	۴-۲-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۶۰.....	۴-۲-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۶۲.....	۴-۲-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۶۳.....	۴-۳- SCC فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده به روش قطع و وصل
۶۴.....	۴-۳-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۶۶.....	۴-۳-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۶۷.....	۴-۳-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۶۸.....	۴-۴- SCC فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده بروش کشش با سرعت بسیار کم
۶۹.....	۴-۴-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۷۲.....	۴-۴-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۷۳.....	۴-۴-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۷۴.....	۴-۵- SCC فولاد زنگ نزن ۳۱۶ حساس شده در دمای ۷۵۰°C به مدت ۵ ساعت
۷۵.....	۴-۵-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۷۷.....	۴-۵-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۷۸.....	۴-۵-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۷۹.....	۴-۶- SCC فولاد زنگ نزن جوشکاری و عملیات حرارتی شده در محلول ۲۵٪ کلرید منیزیم اسیدی شده
۸۰.....	۴-۶-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۸۳.....	۴-۶-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۸۴.....	۴-۶-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست
۸۶.....	۴-۷- SCC فولاد کربنی St37 جوشکاری شده در محلول ۱٪ NaOH
۸۶.....	۴-۷-۱- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه زمانی
۸۸.....	۴-۷-۲- بررسی نوسانات پتانسیل و جریان در بازه فرکانسی
۸۹.....	۴-۷-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست



۸-۴- بررسی حساس شدن نمونه های جوشکاری شده و عملیات حرارتی شده فولاد زنگ نزن ۳۱۶ نسبت به خوردگی

مرز دانه ای ..... ۹۲

۸-۴-۱- تست اچ اسید اگزالیک ..... ۹۲

۸-۴-۲- تست الکتروشیمیایی بازفعالسازی پتانسیو کینتیک ..... ۹۵

۹-۴-۹- ضمیمه ..... ۹۸

۹-۴-۱- اثر روشن شدن دستگاه ..... ۹۸

۹-۴-۲- اثر گرم و سرد شدن محلول بالای  $80^{\circ}\text{C}$  ..... ۹۹

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ..... ۱۰۲

- مراجع ..... ۱۰۴

## فهرست جدول ها

۴۲	جدول ۱-۳- آنالیز شیمیایی آلیاژهای مورد استفاده در این پژوهش
۹۷	جدول ۱-۴- وضعیت عمومی پیشنهاد شده برای درجه حساسیت های متفاوت در استاندارد ASTM G EPR-90
۹۷	جدول ۲-۴- مقادیر Q (شارژ) و $P_a$ (درجه حساس شدن) برای نمونه های ۱، ۵ و ۲۵ ساعت عملیات حرارتی

## فهرست شکل ها و تصاویر

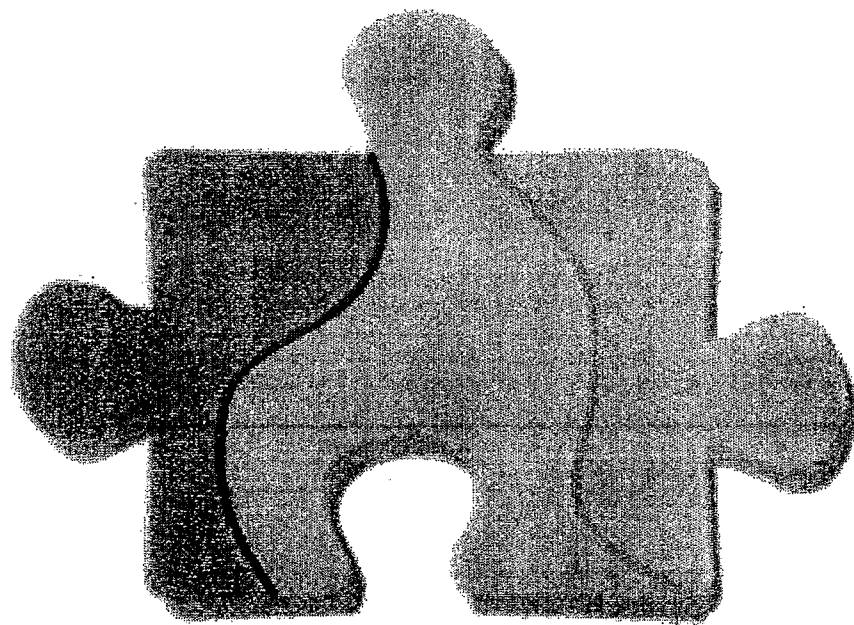
- شکل ۱-۲-۱- رابطه بین مقدار تنش اعمالی و زمان شکست. ۷
- شکل ۲-۲-۲- نمودار پلاریزاسیون آندی. محدوده های پتانسیلی که در آن SCC اتفاق می افتد. ۱۱
- شکل ۲-۲-۳- نمودار سرعت رشد ترک بر حسب شدت تنش. ۱۲
- شکل ۲-۲-۴- شبکه ترکهای بسیار ریز خوردگی تنشی بین نواحی جوشکاری شده. ۱۴
- شکل ۲-۲-۵- شماتیکی از مدار لازم برای اندازه گیری همزمان نویز پتانسیل و جریان. ۲۲
- شکل ۲-۲-۶- تاثیر اردر MEM بر روی منحنی طیف توانی. ۲۵
- شکل ۲-۲-۷- نوسانهای نوع یک مشاهده شده در نویز جریان و پتانسیل الکتروشیمیایی. ۳۵
- شکل ۲-۲-۹- نوسانهای نوع دوم مشاهده شده در نویز جریان و پتانسیل الکتروشیمیایی. ۳۵
- شکل ۳-۱-۱- شماتیکی از پیک V شکل نمونه ها و نحوه برش آنها. ۴۲
- شکل ۳-۲-۲- ابعاد نمونه های کششی در این پژوهش. ۴۳
- شکل ۳-۳-۳- تصویری از دستگاه کشش با کرنش آهسته مورد استفاده در این پژوهش. ۴۵
- شکل ۳-۴-۴- تصویری از محفظه و کمر بند حرارتی دور آن. ۴۶
- شکل ۴-۱-۱- نحوه قرار دادن ناچ در نمونه ۵۰
- شکل ۴-۲-۲- نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C ۵۲  
بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶.
- شکل ۴-۳-۳- تصاویر ماکرو از محل شکست نمونه ناچ زده شده و اثر محصولات خوردگی روی آن. ۵۳
- شکل ۴-۵-۵- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶. ۵۵
- شکل ۴-۶-۶- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C در آزمایش کشش با کرنش آهسته. ۵۷
- شکل ۴-۷-۷- نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده. ۵۹
- شکل ۴-۸-۸- تصویر ماکرو از محل شکست نمونه جوشکاری شده. ۶۰
- شکل ۴-۹-۹- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده. ۶۱
- شکل ۴-۱۰-۱۰- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C در آزمایش کشش با کرنش آهسته. ۶۳
- شکل ۴-۱۱-۱۱- نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته با روش قطع و وصل در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده. ۶۴

- ۶۵ شکل ۴-۱۲- تصویر ماکرو از محل شکست نمونه جوشکاری شده.
- ۶۷ شکل ۴-۱۳- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته با روش قطع و وصل در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده.
- ۶۸ شکل ۴-۱۴- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C در آزمایش کشش با کرنش آهسته با روش قطع و وصل.
- ۶۹ شکل ۴-۱۵- نوسانهای جریان و پتانسیل ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته با روش بار تقریباً ثابت، در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده.
- ۷۰ شکل ۴-۱۶- تصاویر ماکرو از محل شکست نمونه جوشکاری شده.
- ۷۱ شکل ۴-۱۷- تصاویر SEM از ترکهای سطحی و خوردگی حفره ای نمونه جوشکاری شده.
- ۷۲ شکل ۴-۱۸- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته با روش کشش با سرعت بسیار کم در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده.
- ۷۴ شکل ۴-۱۹- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری شده در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C در آزمایش کشش با کرنش آهسته با روش کشش بسیار آهسته.
- ۷۵ شکل ۴-۲۰- نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ حساس شده در انتهای آزمایش.
- ۷۶ شکل ۴-۲۱- تصویر ماکرو از نمونه حساس شده شکسته شده (a) و تصویر میکروسکوپ نوری از روی سطح نمونه با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر (b).
- ۷۷ شکل ۴-۲۲- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ حساس شده.
- ۷۹ شکل ۴-۲۳- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ عملیات حرارتی شده در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ و در دمای ۸۰°C در آزمایش کشش با کرنش آهسته.
- ۸۰ شکل ۴-۲۴- نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ اسیدی شده و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری و حساس شده.
- ۸۱ شکل ۴-۲۵- دو نمونه پرش در پتانسیل نشاندهنده جوانه زنی ترک
- ۸۲ شکل ۴-۲۶- تصاویر SEM از محل شکست نمونه جوشکاری و حساس شده و ترک های سطحی روی آن.
- ۸۴ شکل ۴-۲۷- نمودار PSD بدست آمده برای نوسانهای جریان (a) و پتانسیل (b) ناشی از پدیده SCC در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ اسیدی شده و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری و حساس شده

- شکل ۴-۲۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ جوشکاری و حساس شده شکسته شده در محلول کلرید منیزیم ۲۵٪ اسیدی شده، دمای ۸۰°C و بوسیله دستگاه کشش با کرنش آهسته.
- شکل ۴-۲۹- توسانات جریان (a) و پتانسیل (b) تولید شده در طول SCC فولاد کربنی St37 جوشکاری شده در محلول ۱٪ NaOH و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه SSRT
- شکل ۴-۳۰- پسیو شدن، انحلال، باز پسیو شدن در منحنی پتانسیل
- شکل ۴-۳۱- نمودار PSD مربوط به توسانات جریان (a) و پتانسیل (b) تولید شده در طول SCC فولاد کربنی St37 جوشکاری شده در محلول ۱٪ NaOH و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه SSRT.
- شکل ۴-۳۲- تصاویر SEM از سطح شکست فولاد کربنی St37 جوشکاری شده که در محلول ۱٪ NaOH و در دمای ۸۰°C بوسیله دستگاه SSRT شکسته شده است.
- شکل ۴-۳۳- تصویر نمونه شکسته شده، تصاویر میکروسکوپ نوری از نقاط مختلف سطح نمونه اچ شده و نتایج سختی سنجی نمونه.
- شکل ۴-۳۴- تصاویر SEM با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر از سطوح اچ الکترولیتی شده نمونه های فولاد ۳۱۶ زنگ نزن. ۱ ساعت (a)، ۵ ساعت (b)، ۲۵ ساعت (c) عملیات حرارتی شده، جوشکاری شده (d) و جوشکاری و عملیات حرارتی شده (e).
- شکل ۴-۳۵- نتایج میکروآنالیز طیف سنجی اشعه X متفرق کننده انرژی (EDX) از نمونه ۵ ساعت حساس شده، (a) آنالیز از مرز دانه، (b) آنالیز از داخل یک دانه.
- شکل ۴-۳۶- نمودار EPR برای نمونه های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ عملیات حرارتی شده، جوشکاری شده و جوشکاری و عملیات حرارتی شده
- شکل ۴-۳۷- اثر روشن شدن دستگاه (از ثانیه ۳۰۰۰ به بعد دستگاه روشن شده است).
- شکل ۴-۳۸- اثر حرارت دادن به سیستم از دمای ۸۰°C تا ۹۰°C
- شکل ۴-۳۹- اثر سرد کردن سیستم از دمای ۹۰°C تا ۸۰°C

## فصل اول :

### مقدمه



شکست ناگهانی فلزات خصوصاً در محل‌های جوش به دلیل ترک‌های ناشی از خوردگی و تنش، از مشکلات مهم در صنایع مختلف می‌باشد. در خوردگی تنش شکست در نتیجه قرار گیری آلیاژ تحت تنش کششی در محیط خورنده خاص اتفاق می‌افتد. هنگامیکه فولاد‌های زنگ‌نزن آستنیتی تحت عملیاتی همچون جوشکاری و یا در دماهای بین  $800^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$  قرار می‌گیرند، احتمال خوردگی مرز دانه‌ای آنها در اثر رسوب و جدایش کاربیدهای کروم در مرز دانه‌ها افزایش یافته که این عامل موجب تشدید خوردگی تنش مرز دانه‌ای در آنها می‌شود.

تخریب‌های ناشی از خوردگی تنش توسط روش‌های بازرسی فنی معمول که نشان‌دهنده تغییرات ضخامت دیواره هستند، قابل تشخیص نیستند. ترک‌ها که عموماً تشکیل یک شبکه را می‌دهند بسیار ریز هستند. روش‌های غیر مخرب پیشرفته گوناگونی برای تشخیص خوردگی تنش در حال گسترش هستند اما هنوز هیچکدام از آنها برای استفاده وسیع در عمل کاربرد ندارند. بازرسی چشمی برای تشخیص این شبکه‌ها بی‌فایده است. اگر این ترک‌ها درشت‌تر باشند عموماً با محصولات خوردگی پر می‌شوند که باز هم تشخیص آنها را مشکل می‌سازد.

اندازه‌گیری نويز الكتروشیمیایی یا عبارتی تغییرات ناگهانی پتانسیل خوردگی و یا جریانی که توسط واکنش خوردگی ایجاد شده است شامل پایش جریان عبوری از بین دو الکترود در حال خورده شدن و همچنین پایش پتانسیل این دو الکترود نسبت به یک الکترود مرجع می‌باشد. اندازه‌گیری نويز الكتروشیمیایی برای مطالعه‌های خوردگی، اولین بار توسط ایورسون<sup>1</sup> در سال ۱۹۶۸ انجام گرفت که همزمان با او تیاگی<sup>۲</sup> نويز الكتروشیمیایی را در مهندسی الكتروشیمی مورد آزمایش قرار داد. پایش پروسه‌های خوردگی با استفاده از این روش از زمان معرفی (بیش از ۲۰ سال قبل) توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

روش نويز الكتروشیمیایی در میان سایر تکنیک‌های الكتروشیمیایی مانیتورینگ، مورد توجه می‌باشد و استفاده از نويز الكتروشیمیایی دارای فواید ویژه‌ای می‌باشد:

<sup>1</sup> Iverson

<sup>2</sup> Tyagai

- اندازه‌گیری‌ها هیچ مشکلی برای سیستم در حال کار ایجاد نمی‌کند و بنابراین می‌تواند برای سیستم‌های واقعی بکار برده شود.

- ابزار مورد نیاز برای اندازه‌گیری‌ها نسبتاً ساده هستند و فرایندهای خوردگی موضعی که پایش آنها توسط دیگر روش‌ها مشکل است، سیگنالهایی با شدت بالا را در نویز الکتروشیمیایی بدست می‌دهند.

در حالیکه نویز الکتروشیمیایی دارای اطلاعات گرانبهایی در رابطه با فرایندهای الکتروشیمیایی است، محققین هنوز به توافق کلی در مورد انتخاب بهترین روش تجزیه و تحلیل و استخراج اطلاعات نرسیده‌اند و این تا حدی بدلیل اینست که بهترین روش، با توجه به نوع فرایند تحت مطالعه، تغییر می‌کند. اما عموماً دو روش عمده برای تجزیه و تحلیل اطلاعات نویز الکتروشیمیایی مطرح است؛ تحلیل در بازه زمانی و تحلیل در بازه فرکانسی.

به منظور ارزیابی قابلیت روش نویز الکتروشیمیایی در مطالعه و ثبت ترک خوردن ناشی از SCC، سیستم‌های گوناگونی با خصوصیت‌های مشخص مطالعه شده‌اند. نیومن<sup>1</sup> و سیرادزکی<sup>2</sup> اولین کسانی بودند که بر روی این مسئله کار کرده‌اند. تحقیق بر روی مانیتورینگ SCC و دیگر گونه‌های خوردگی آلیاژهای مختلف به کمک روش نویز الکتروشیمیایی همچنان ادامه دارد.

در این پژوهش سعی شده‌است که شرایط SCC را به روش کشش با کرنش آهسته بر روی دو آلیاژ پر مصرف صنعتی SS.316 و st37 که قبلاً جوشکاری شده‌اند، برقرار کرده و با استفاده از روش نویز الکتروشیمیایی به مانیتورینگ این پدیده پرداخته شود. اطلاعات نویز بدست آمده سپس در دو بازه زمانی و فرکانسی تجزیه و تحلیل شده و همچنین نمونه‌های شکسته شده از قسمت سطح شکست توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>3</sup> بررسی شده‌اند.

مهمترین هدف این پژوهش کسب توانایی در آگاهی از زمان شکست قطعه قبل از وقوع پیوستن آن به کمک روش نویز الکتروشیمیایی می‌باشد که برای دو آلیاژ بررسی شده در این پژوهش، نتایج قابل

<sup>1</sup> Newman

<sup>2</sup> Sieradzki

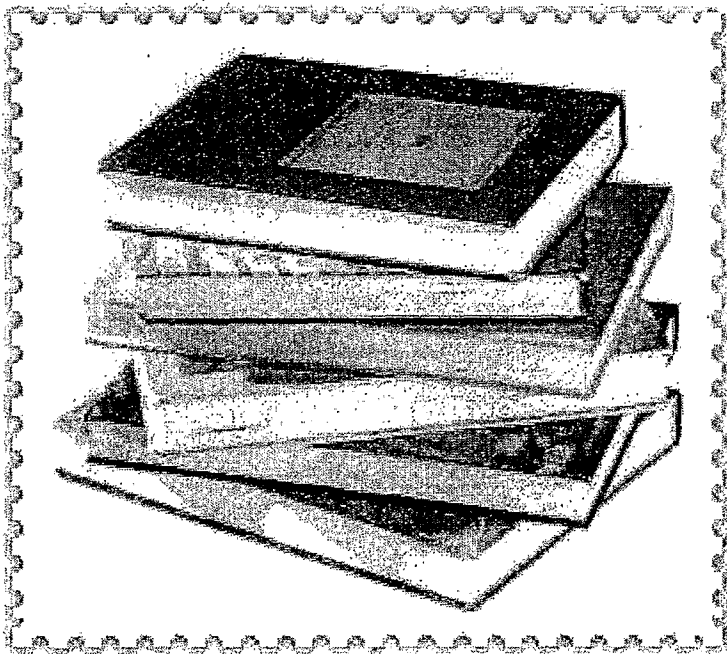
<sup>3</sup> Scanning Electron Microscopy (SEM)



قبولی بدست آمد. پر واضح است که اگر در صنعت شکست قطعات پیش بینی شود، از وقوع حادثه های مهیبی همچون تخریب سازه ها، آتش سوزی و انفجار و آلودگی محیط زیست و ... جلوگیری می شود. در فصل دوم این پژوهشنامه مروری بر منابع مربوط به این پژوهش انجام گرفته است، در فصل سوم به شرح روش انجام آزمایشها پرداخته شده است و در فصل چهارم نیز نتایج بدست آمده مورد شرح و تفسیر قرار گرفته است. نتیجه گیری کلی از این پژوهش نیز در فصل پنجم آورده شده است.

## فصل دوم :

### مروری بر منابع



## ۲-۱- مروری بر پدیده SCC

خوردگی تنش شکستی است که در نتیجه قرار گرفتن یک آلیاژ در یک تنش کششی و در محیط خورنده خاص ایجاد می‌شود [۱]. نمونه‌های بیشماری از خوردگی تنش ثبت شده‌اند که بدون هیچگونه علائم یا اختلال قبلی و معمولاً بصورتی مخرب و همراه با تلفات جانی رخ داده‌اند. ظاهراً خوردگی تنش برای اولین بار به نام ترک فصلی<sup>۱</sup> برای آلیاژ برنج که در محیط آمونیاکی قرار گرفته بود، گزارش شد و یک مشکل بزرگی برای جعبه‌های کارتریجی آتش‌نشانی در هر دو جنگ جهانی بوجود آورده بود. از تعداد حدود ۵۰۰۰ کشتی تجاری که در دوران جنگ دوم جهانی ساخته شدند در بیش از هزار مورد ترکهای رشد کرده با ابعاد قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد [۱].

بطور کلی سه شرط باید به صورت همزمان برای ایجاد پدیده خوردگی تنش وجود داشته باشد که عبارتند از: محیط خورنده، آلیاژ حساس به پدیده خوردگی تنش و تنش کششی [۲].

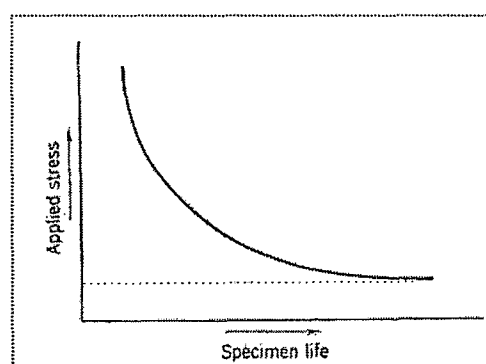
ترک ناشی از خوردگی تنش معمولاً در محیط‌هایی رخ می‌دهد که خوردگی در آنها به شدت موضعی بوده و خوردگی عمومی زیادی را شاهد نیستیم. بیشتر ساختارهای فلزی در شرایط محیطی خاص دارای آلیاژهای مستعد به خوردگی تنش می‌باشند و ساختار متالورژیکی داخلی در تعیین احتمال این نوع خوردگی بسیار با اهمیت می‌باشد. تغییرات در ترکیب، عملیات حرارتی، ساخت و فرآیندهای مکانیکی بر روی تمایل آلیاژ به ترک خوردگی تنش تأثیر می‌گذارد. مدارک تجربی به وضوح نشان می‌دهد که ساختار نه تنها بر حمله موضعی اولیه تأثیر می‌گذارد بلکه مسیر ترک خوردگی تنش و سرعت ترک خوردن را نیز تعیین می‌کند [۳].

با افزایش تنش تسلیم در فولادها حساسیت به خوردگی تنش در آنها افزایش می‌یابد [۴]. ترک خوردگی تنش هرگز به علت تنشهای سطحی فشاری بوجود نمی‌آید در واقع اعمال تنشهای فشاری سطحی می‌تواند به عنوان یک روش جلوگیری کننده نیز استفاده شوند. با افزایش مقدار تنش، زمان نهایی شکست کاهش می‌یابد اگرچه تنشهای زیاد (نسبت به نقطه تسلیم) عموماً برای ایجاد ترک لازم می‌باشد

<sup>۱</sup> Season Cracking

لیکن تنشهای مکرری که نسبت به نقطه تسلیم کوچک می‌باشند نیز قادر به ایجاد شکست می‌باشند [۳]. عموماً خوردگی تنشی در فولاد های کم استحکام با شکست درون دانه ای مشخص می‌شود در حالیکه شکست مرز دانه ای اکثراً در فولاد های پر استحکام دیده می‌شود [۴]. برای بسیاری از سیستمهای آلیاژی یک حد آستانه تنش وجود دارد. زیر حد تنش با افزایش زمان، شکست رخ نمی‌دهد. این نوع وابستگی کاملاً مشابه به آن چیزی است که در خستگی استاتیک شیشه و در ترک خوردن تأخیری فولادها مشاهده می‌شود و یک فاکتور مهم در فرایند ترک خوردن می‌باشد.

شکل ۱-۲ رابطه بین مقدار تنش اعمالی و زمان شکست را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که زیر تنش بحرانی شکست رخ نمیدهد [۳]. حد تنش آستانه برای مصونیت نسبت به SCC بستگی به درجه حرارت، ترکیب شیمیایی فلز و ترکیب شیمیایی محیط دارد. بطور کلی حد تنش آستانه بین ۱۰٪ تا ۷۰٪ تنش تسلیم است [۵].



شکل ۱-۲- رابطه بین مقدار تنش اعمالی و زمان

دامنه سرعت کرنش بحرانی توسط قدرت خوردندگی محیط، که خود تعیین کننده انحلال آندی و پسیو شدن است، مشخص میگردد. اگر سرعت کرنش بسیار بالا باشد، نمونه غالباً تحت بار مکانیکی شکسته می‌شود و محیط فرصت کافی برای اینکه نقش قابل توجهی در نوک ترک داشته باشد ندارد. بلعکس در سرعت های کرنش بسیار کم فیلم پسیو تشکیل شده در طول زمان زیاد آنقدر قدرت دارد که توسط کرنش بسیار آهسته شکسته نشود [۶].