

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی متالورژی و مواد/گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر خوردگی حفره ای و وقوع حفرات ناپایدار

فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵

نگارنده:

محبوبه غلامی

اساتید راهنما:

دکتر محمد هادی موید- دکتر علی داودی

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به روح پدر عزیزم

تورا به من هدیه دادند

و من امروز تمامی خود را به تو هدیه خواهم کرد؛ اگر بپذیری

امروز بی نهایت دلتنگ پدرم هستم....

قسم به روح عزیزات که هیچ گاه

یادش گوه مند تو از دل نمی رود

تا دامن کفن نکشم زیر پای خاک

نقش تو هم دمی ز مقابل نمی رود....

خدایا تو آنی که من می خواهم، پس مرا آنی بساز که تومی خواهی...

«سپاس خداوند را که هر چه دارم از اوست، بزرگترین امید و ماورد در *نقطه نقطه زندگی*»

اینک که به یاری خداوند این کار به پایان رسید، بر خود لازم می دانم که از تمامی کسانی که مرا در این راه یاری کردند تشکر نمایم.

از پدر عزیزم که همواره بزرگترین حامی و مشوق من برای حرکت در راه علم و معرفت بود و همیشه بهترین امکانات را چه از نظر مادی و چه معنوی برای آرامش من فراهم نمود سپاسگزارم. دریغ که نماند تا پایان راهی را که دعاهایش آغاز آن بود را ببیند و بزرگترین حسرت زندگی را رقم زد.

قدردان زحمات بی دریغ مادر مهربانم هستم که تا به یاد دارم سایبانی برای آرامش من بود.

از اساتید اندیشمند و بزرگوایم جناب آقایان دکتر موید و دکتر داودی که راهنمایی ها و نگاه مهربانانه ایشان همواره گره گشای مشکلات اینجانب در طی راه بود سپاسگزارم و مدیون بزرگی و تواضع ایشان نه فقط در این دوران بلکه در تمام مدت عمر خود می باشم.

از اساتید محترم جناب آقایان دکتر کیانی رشید و دکتر میرجلیلی که زحمت داوری این کار را بر عهده گرفته و نقدهای سازنده خود را به من هدیه می کنند کمال تشکر را دارم.

در نهایت از تمامی دوستانم در آزمایشگاه خوردگی که چه در ابتدای راه، در مسیر انجام و در پایان کار خواهرانه و برادرانه یاریام کردند سپاسگزارم و بدانند گرمای محبت و دوستی آن ها همیشه همراهم خواهد ماند.

چکیده

در این پژوهش تأثیر دمای عملیات حرارتی آنیل انحلالی بر خوردگی حفره ای و وقوع حفرات ناپایدار فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید بررسی شده و تأثیر احتمالی رسوبات بر خوردگی در نظر گرفته شده است. ابتدا نمونه‌ها در دماهای ۱۰۵°C، ۱۱۵°C و ۱۲۵°C آنیل انحلالی و سپس در آب کوئنچ شدند. ریزساختار به روش متالوگرافی و استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شد. مقاومت به خوردگی حفره‌ای فولاد در دماهای مختلف آنیل در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید با انجام آزمون پتانسیودینامیک در دمای ۶۵°C و پتانسیل ۸۰ mV و آزمون پتانسیواستاتیک در دما و پتانسیل قبل، و همچنین دمای ۴۳°C و پتانسیل ۸۰۰ mV بررسی گردید. از روش‌های آماری برای نشان دادن تأثیر دمای آنیل بر پتانسیل حفره‌دار شدن فولاد استفاده شد. نقش دمای آنیل بر شروع خوردگی حفره‌ای با بهره‌گیری از روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های دیگران، شامل شدت جریان، طول عمر، شعاع و حاصل‌ضرب پایداری حفرات ناپایدار به همراه نرخ جوانه‌زنی حفرات ناپایدار؛ مطالعه گردید.

بررسی‌های متالوگرافی نشان داد که نمونه‌ها دارای ریزساختار متشکل از فاز فریت و آستنیت بوده و با افزایش دمای آنیل انحلالی میزان فاز فریت افزایش پیدا می‌کند و همچنین آنیل انحلالی در دمای ۱۲۵°C منجر به تشکیل رسوبات نامطلوب از نوع نیتريد کروم می‌گردد. آزمون‌های الکتروشیمیایی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محیط محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید کاهش پتانسیل حفره دار شدن با افزایش دمای آنیل را از ۱۰۵°C تا ۱۲۵°C حدود ۵۷ mV نشان داد. آزمون پتانسیواستاتیک نیز نشان داد که شدت جریان، شعاع و حاصل‌ضرب پایداری به عنوان معیاری برای رشد پایدار حفرات ناپایدار با افزایش دمای آنیل تا ۱۲۵°C افزایش پیدا می‌کند. طبق نتایج، فرکانس وقوع حفرات با افزایش دمای آنیل تا ۱۲۵°C افزایش کمی را نشان می‌دهد. برآیند این عوامل منجر شده است که پتانسیل حفره‌دار شدن فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در اثر افزایش دمای آنیل تا ۱۲۵°C کاهش پیدا کند. رسوبات نیتريد کروم تشکیل شده در نمونه آنیل دمای ۱۲۵°C به عنوان مکان مستعد جوانه زنی حفره عمل نمی‌کنند. به نظر می‌رسد تأثیر این ذرات بیشتر در ضعیف کردن لایه پسیو به علت مصرف نیتروژن و کروم دو عنصر موثر در مقاومت به خوردگی لایه رویین می‌باشد. کلمات کلیدی:

فولاد دوفازی، خوردگی حفره ای، دمای آنیل انحلالی، بررسی حفرات ناپایدار، نیتريد کروم

فهرست مطالب

- ۱.....مقدمه..... ۱
- ۲..... معرفی ماده و عملیات حرارتی..... ۲
- ۳..... هدف انجام پژوهش..... ۳
- ۴..... روش انجام پژوهش..... ۴
- ۵..... مروری بر مطالعات انجام شده..... ۵
- ۶..... ۱-۲- فولادهای زنگ نزن دوفازی..... ۶
- ۷..... ۱-۱-۲- نقش عناصر آلیاژی در فولادهای زنگ نزن دوفازی..... ۷
- ۱۰..... ۲-۲- عملیات حرارتی فولادهای زنگ نزن دوفازی..... ۱۰
- ۱۱..... ۱-۲-۲- بررسی تأثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار فولاد دوفازی بر اساس دیاگرام فازی..... ۱۱
- ۱۳..... ۲-۲-۲- تأثیر افزایش دمای آنیل انحلالی بر ریزساختار فولاد دوفازی..... ۱۳
- ۱۶..... ۱-۲-۲-۲- رسوب فاز نیتريد کروم (Cr_2N) در اثر سرد کردن از دماهای آنیل انحلالی..... ۱۶
- ۱۷..... ۲-۲-۲-۲- مکانیزم جوانه زنی رسوبات نیتريد کروم در فولادهای زنگ نزن دوفازی..... ۱۷
- ۱۸..... ۳-۲- خوردگی در فولادهای زنگ نزن..... ۱۸
- ۱۹..... ۱-۳-۲- خوردگی حفره ای..... ۱۹

- ۲۲.....مراحل حفره دارشدن.....۱-۱-۳-۲
- ۲۳.....حفرات ناپایدار.....۲-۳-۲
- ۲۷.....تعیین معیار پایداری حفرات.....۳-۳-۲
- ۲۹.....اثریتانسیل بر پایداری حفرات.....۱-۳-۳-۲
- ۲۹.....احتمال رخ دادن خوردگی حفره ای.....۴-۲
- ۳۲.....تأثیر عملیات حرارتی و فازهای ثانویه بر روی خوردگی حفره ای فولادهای زنگ نزن.....۵-۲
- ۳۷.....هدف انجام پژوهش.....۶-۲
- ۳۹.....مواد و روش انجام آزمون ها.....
- ۴۱.....مواد آزمون و روش آماده سازی نمونه ها.....۱-۳
- ۴۱.....روش تهیه نمونه ها.....۲-۱-۳
- ۴۱.....نمونه های تخت.....
- ۴۱.....نمونه های میله ای شکل.....
- ۴۲.....عملیات حرارتی.....۲-۳
- ۴۳.....بررسی های متالوگرافی.....۳-۳

- ۳-۳-۱- روش حکاکی نمونه ها..... ۴۳
- ۳-۳-۲- بررسی به کمک میکروسکوپ نوری..... ۴۳
- ۳-۳-۳- تعیین کسرفریت به آستنیت و بررسی ریزساختار پس از آزمون..... ۴۳
- ۳-۳-۴- تحلیل تصاویر جهت محاسبه ی کسرفریت به آستنیت در دماهای آنیل انحلالی مختلف..... ۴۴
- ۳-۴-۴- آزمون های الکتروشیمیایی خوردگی..... ۴۵
- ۳-۴-۱- آماده سازی نمونه ها..... ۴۵
- ۳-۴-۲- محلول ها..... ۴۵
- ۳-۴-۳- طراحی محفظه آزمون..... ۴۵
- ۳-۵-۵- شرح آزمون های الکتروشیمیایی..... ۴۷
- ۳-۵-۲- آزمون پتانسیودینامیک برای بررسی و تعیین پتانسیل حفره دار شدن..... ۴۷
- ۳-۵-۳- آزمون پتانسیواستاتیک جهت اندازه گیری و بررسی حفرات ناپایدار..... ۴۸
- نتایج، بحث و تحلیل..... ۴۹
- ۴-۱-۱- بررسی های ریزساختاری..... ۵۰
- ۴-۱-۱- بررسی تغییر کسرفریت به آستنیت..... ۵۰

۲-۱-۴- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر تشکیل فازهای ثانویه در فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۰۵.....۲۲۰۵	۵۲
۲-۴- آزمون های خوردگی.....	۵۴
۱-۲-۴- پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک.....	۵۴
۱-۱-۲-۴- پتانسیل حفره دار شدن.....	۵۵
۲-۲-۴- پلاریزاسیون پتانسیو استاتیک و بررسی حفرات ناپایدار.....	۵۸
۱-۲-۲-۴- جریان حفره، شعاع حفره و حاصل ضرب پایداری.....	۶۲
۲-۲-۲-۴- بیشینه ی جریان، طول عمر، شعاع و حاصل ضرب پایداری حفرات ناپایدار به عنوان تابعی از دمای آنیل.....	۶۹
۳-۴- بررسی ریز ساختار پس از آزمون.....	۷۹
۴-۴- فرکانس وقوع حفرات ناپایدار.....	۸۰
۱-۴-۴- اثر پتانسیل بر فرکانس وقوع حفرات ناپایدار.....	۸۴
نتیجه گیری.....	۸۷
مراجع.....	۹۰
Abstract.....	۹۶

فهرست جداول

جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده در این تحقیق. ۴۰.....

جدول ۲-۳: تاریخچه ی عملیات حرارتی فولاد اولیه. ۴۱.....

جدول ۱-۴: مقادیر پتانسیل حفره دار شدن برای سه دمای آنیل مختلف. ۵۶.....

جدول ۲-۴: مقدار میانه ی جریان بیشینه حفرات ناپایدار برای نمونه های آنیل دماهای مختلف در دمای

۶۵°C ، پتانسیل ۸۰ mV و دمای ۴۳°C ، پتانسیل ۸۰۰ mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل

در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم. ۷۱.....

جدول ۳-۴: مقدار میانه ی طول عمر حفرات ناپایدار برای نمونه های آنیل دماهای مختلف در دمای

۶۵°C ، پتانسیل ۸۰ mV و دمای ۴۳°C ، پتانسیل ۸۰۰ mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل

در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم. ۷۳.....

جدول ۴-۴: مقدار میانه ی مقادیر شعاع برای نمونه های آنیل دماهای مختلف در دمای ۶۵°C ، پتانسیل

۸۰ mV و دمای ۴۳°C ، پتانسیل ۸۰۰ mV در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم. ۷۴.....

جدول ۵-۴: مقدار میانه ی مقادیر حاصل ضرب پایداری برای نمونه های آنیل دماهای مختلف در دمای

۶۵°C ، پتانسیل ۸۰ mV و دمای ۴۳°C ، پتانسیل ۸۰۰ mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل

در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم. ۷۷.....

فهرست اشکال

شکل ۱-۲: ریزساختار متداول فولادهای زنگ‌نزن دوفازی، یک زمینه فریتی پیوسته با جزایر آستنیتی. ۷

شکل ۲-۲: الف) منحنی رفتار آندی آلیاژهای M (نیتروژن ۰/۰۲) و N (نیتروژن ۰/۲۲) در ۴ مولار هیدروکلرید اسید با نرخ روبش ۸ میلی ولت بر ثانیه، ب) منحنی های پلاریزاسیون آندی چند سیکلی منحنی های پلاریزاسیون جزئی آهن، کروم و نیکل (آندی) و نیتروژن (کاتدی) در محلول اسید، نشان دهنده تقاطع در سرعت انحلال. ۰. ۱۰

شکل ۳-۲: دیاگرام فازی Fe70%-Cr-Ni. ۱۱

شکل ۴-۲: دیاگرام رسوب گذاری همدمای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ (دیاگرام مربوط به DSS 2507 و DSS 2304). ۱۲

شکل ۵-۲: دیاگرام پایداری فازیمحاسبه شده با نرم افزار Thermocalc برای فولاد ۲۲۰۵ بر حسب درصد نیتروژن. ۱۴

شکل ۶-۲: نمودار درصد فازی بر حسب دما برای آلیاژ 2205SAF با ترکیب Fe-22Cr-5.5Ni-3Mo-1.7Mn-0.4Si-0.14N-0.24C. ۱۵

شکل ۷-۲: تأثیر دما و مدت زمان آنیل انحلالی بر درصد حجمی فریت در فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵. ۱۶

شکل ۸-۲: الف) رسوبات نیتريد کروم، به صورت حفرات میله ای شکل در فاز زمینه (درفاز فریت) در فولاد ۲۵۰۷ آنیل انحلالی شده در دمای °C ۱۲۵۰ (تصویر میکروسکوپ نوری) [۳]. ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی شده در دمای °C ۱۲۵۰. ۱۷

شکل ۲-۹: رفتار خوردگی فلزی که دارای رفتار فعال-غیرفعال است بر حسب قدرت اکسیدکنندگی محلول (پتانسیل الکتروود). ۱۹

شکل ۲-۱۰: الف) نمودار تغییرات جریان تعدادی حفره‌ی ناپایدار تشکیل شده در اثر پلاریزاسیون فولاد AISI 304 در پتانسیل ۰/۱ ولت در محلول دارای ۱ مولار یون کلراید. ب) یک حفره ناپایدار تشکیل شده در پلاریزاسیون در پتانسیل ۰/۱ ولت در همان محلول. ۲۴

شکل ۲-۱۱: شکل شمایی حفره‌ی ناپایدار، پوشش تشکیل شده بر روی آن و روزنه‌ی پوشش برای یک فولاد زنگ‌نزن، a عمق یا شعاع حفره است. ۲۵

شکل ۲-۱۲: الف) سطح یک آلیاژ زنگ‌نزن سوپر دوفازی آنیل شده در دمای 1250°C پس از آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محلول LiCl، ب) منحنی‌های پلاریزاسیون میکروالکتروشیمیایی استنیت و زمینه فریت با نیتريد کروم آلیاژ آنیل شده در دمای 1250°C ، (در ۳ مولار کلرید ریک اسید و دمای 23°C). ۳۵

شکل ۳-۱: متمایز کردن فاز فریت و آستنیت با استفاده از نرم‌افزار MIP، فاز تیره زمینه فریت و فاز روشن آستنیت می‌باشد. (فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، آنیل انحلالی شده در دمای 1050°C). ۴۴

شکل ۳-۲: تصویر شماتیک محفظه الکتروشیمیایی استفاده شده در آزمون‌های خوردگی. ۴۶

شکل ۴-۱: تصاویر متالوگرافی از مقطع عرضی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول ۲۰ درصدوزنی NaOH، آنیل انحلالی شده در دمای الف) 1050°C ، ب) 1150°C و پ) 1250°C ۵۰

شکل ۴-۲: کسر حجمی فاز فریت بر حسب دمای آنیل انحلالی. ۵۱

شکل ۳-۴ : تصاویر متالوگرافی فولاد زنگ نزن دو فازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول
حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی شده در دمای الف - 105°C ، ب- 115°C و پ- 125°C ۵۳

شکل ۴-۴ : تصویر متالوگرافی فولاد زنگ نزن دو فازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول
حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی شده در دمای 125°C ۵۳

شکل ۵-۴ : نمودارهای پلاریزاسیون پتانسیودینامیک با نرخ روبش پتانسیل $30\text{mV}/\text{min}$ در محلول ۳/۵
درصد وزنی کلرید سدیم در دمای 65°C برای دماهای مختلف آنیل ۵۴

شکل ۶-۴ : نمودار توزیع تجمعی پتانسیل حفره دار شدن فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای مختلف آنیل به دست
آمده از آزمون پتانسیودینامیک در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۵۶

شکل ۷-۴ : نمودار فاصله ی اطمینان ۹۵ درصد پتانسیل حفره دار شدن فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای مختلف
آنیل به دست آمده از آزمون پتانسیودینامیک در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۵۷

شکل ۸-۴ : نمودار تغییرات جریان بر حسب زمان به دست آمده از آزمون پتانسیواستاتیک در 80mV
نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم در دمای 65°C ؛ الف) نمونه
آنیل 105°C ، ب) نمونه ی آنیل 115°C ؛ پ) نمونه ی آنیل 125°C ۶۰

شکل ۹-۴: انواع تغییرات جریان بر حسب زمان موجود در پژوهش الف و ب (انواع حفره ناپایدار نمونه ی
آنیل 125°C در دمای 65°C و پتانسیل 80mV ب) جوانه در نمونه آنیل 125°C در دمای 43°C
و پتانسیل 800mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم ۶۱

شکل ۴-۱۰: تغییرات جریان و شدت جریان محاسبه شده بر حسب زمان برای حفرات ناپایدار در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C (الف) حفرات بزرگ نمونه 105°C (ب) حفرات بزرگ نمونه 125°C (پ) حفره کوچک نمونه 105°C (ت) حفره کوچک نمونه 125°C ۶۴

شکل ۴-۱۱: تغییرات جریان و شدت جریان محاسبه شده بر حسب زمان برای حفره ی ناپایدار نمونه آنیل در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۵

شکل ۴-۱۲: تغییرات جریان و شعاع نیمکره محاسبه شده بر حسب زمان برای حفره ی ناپایدار نمونه آنیل در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۶

شکل ۴-۱۳: تغییرات جریان و حاصل ضرب پایداری بر حسب زمان برای حفره ی ناپایدار نمونه ی آنیل در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۷

شکل ۴-۱۴ : تغییرات جریان و شدت جریان بر حسب زمان برای یک حفره ی ناپایدار نمونه آنیل در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۸

شکل ۴-۱۵: تغییرات جریان و شعاع نیمکره محاسبه شده بر حسب زمان برای حفره ی ناپایدار نمونه آنیل شده در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۸

شکل ۴-۱۶: تغییرات جریان و حاصل ضرب پایداری بر حسب زمان برای حفره ی ناپایدار نمونه ی آنیل در 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۶۹

شکل ۴-۱۷: تغییرات جریان بر حسب زمان دو حفره ی دارای همپوشانی نمونه ی 125°C در 80 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم و در دمای 65°C ۷۰

شکل ۴-۱۸: نمودار توزیع تجمعی جریان بیشینه ی حفرات ناپایدار فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای آنیل مختلف در الف) دمای 65°C و پتانسیل 80 mV ب) دمای 43°C و پتانسیل 800 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم..... ۷۱

شکل ۴-۱۹: نمودار توزیع تجمعی طول عمر حفرات ناپایدار فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای آنیل مختلف در الف) دمای 65°C و پتانسیل 80 mV ب) دمای 43°C و پتانسیل 800 mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم..... ۷۳

شکل ۴-۲۰: نمودار توزیع تجمعی شعاع حفرات ناپایدار محاسبه شده با استفاده از قانون فارادی برای دماهای آنیل مختلف در الف) دمای 65°C و پتانسیل 80 mV و ب) دمای 43°C و پتانسیل 800 mV ، نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم..... ۷۵

شکل ۴-۲۱: نمودار توزیع تجمعی حاصلضرب پایداری حفرات ناپایدار فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای آنیل مختلف در الف) دمای 65°C و پتانسیل 80 mV و ب) دمای 43°C و پتانسیل 800 mV ، نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم..... ۷۷

شکل ۴-۲۲: تصاویر متالوگرافی از مقطع عرضی فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ پس از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک، حکاکی شده در محلول ۲۰ درصد NaOH، آنیل انحلالی شده در دمای الف - 105°C ، ب - 115°C و پ - 125°C ۸۰

شکل ۴-۲۳: نمودار فرکانس تشکیل حفرات ناپایدار سه نمونه آنیل مختلف به عنوان تابعی از زمان، به دست آمده از آزمون پتانسیواستاتیک با فرکانس $0.2/\text{s}$ در محلول $3/5$ درصد وزنی کلرید سدیم الف) دمای 65°C و پتانسیل 80mV (ب) دمای 43°C و پتانسیل 800mV ، بازه ی خطا نشان دهنده ی اطمینان 95% است. ۸۱

شکل ۴-۲۴: نمودار مقایسه ای فرکانس وقوع حفرات ناپایدار فولاد ۲۲۰۵ برای دماهای آنیل مختلف در الف) دمای 65°C و پتانسیل های 180mV ، 130mV ، 80mV (ب) دمای 43°C و پتانسیل های 800mV و 700mV نسبت به الکتروود مرجع کالومل در محلول $3/5$ درصد وزنی سدیم کلرید. ۸۵

فصل اول

مقدمه

معرفی ماده و عملیات حرارتی

فولادهای زنگ‌نزن گروهی از فولادهای پرآلیاژ بر پایه Fe-Cr و Fe-Cr-Ni و Fe-Cr-C می‌باشند. برای زنگ‌نزن شدن این فولادها باید حاوی حداقل ۱۲ wt٪ کروم باشند. این مقدار کروم اجازه‌ی شکل‌گیری یک لایه اکسید سطحی رویین که از اکسیداسیون و خوردگی فلز زیر لایه جلوگیری می‌کند را می‌دهد. به دلیل تنوع زیاد فولادهای زنگ‌نزن محدوده گسترده‌ای از خواص مطلوب قابل دسترسی است و آن‌ها را می‌توان در مصارف زیادی به کار برد.

فولادهای زنگ‌نزن دوفازی یک دسته‌ی میانی از فولادهای فریتی و آستنیتی هستند که به دلیل داشتن مقادیر بالای عناصر آلیاژی کلیدی در مقاومت به خوردگی (کروم، مولیبدن و نیتروژن) دارای عدد معادل مقاومت به حفره‌دار شدن (PRE_N) بالا و در نتیجه مقاومت به خوردگی حفره‌ای بسیار خوب هستند. عملیات حرارتی یکی از عواملی است که بر روی مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ‌نزن دوفازی موثر است. دماهای آنیل مختلف می‌تواند کسر فاز فریت و آستنیت را تغییر دهد، توزیع عناصر آلیاژی در هر فاز را تعدیل کند و در نتیجه مقاومت به خوردگی هر فاز را تغییر دهد. از طرف دیگر دمای عملیات حرارتی نادرست می‌تواند منجر به ایجاد فازهای ثانویه ناخواسته شود. در این فولادها در دماهای پایین‌تر از $1000^{\circ}C$ فازهای نیتريد کروم (CrN و Cr_2N)، چي (χ) و سیگما (σ)، آلفاپرایم (α') و اپسیلون (ϵ) از نظر ترمودینامیکی پایدارند اما در دماهای بالاتر از $1000^{\circ}C$ تنها فاز فریت و آستنیت پایداری دارند. فولادهای زنگ‌نزن دوفازی برای داشتن ترکیب مناسبی از خواص فریت (α) و آستنیت (γ)، غالباً در شرایطی از عملیات حرارتی به کار می‌روند که ریزساختار آن‌ها حاوی کسر یکسانی از این دو فاز باشد، اما این آلیاژها ممکن است در شرایط کاری تحت سیکل‌های عملیات حرارتی مختلفی قرار گیرند که باعث تغییر تعادل فازها و نیز تغییرات ریزساختاری گردد. از آنجا که با افزایش دمای آنیل کسر حجمی فاز فریت نسبت به آستنیت افزایش می‌یابد و از طرفی حلالیت نیتروژن در فاز فریت از آستنیت کم‌تر است،

در نتیجه، فوق اشباع شدن فاز فریت از نیتروژن، تشکیل فاز ثانویه نیتريد کروم در فرایند سرد کردن از دماهای بالا را امکان‌پذیر می‌کند.

پژوهش‌هایی که تاکنون در رابطه با بررسی تأثیر دماهای آنیل انحلالی روی مقاومت به خوردگی حفره‌ای فولادهای زنگ‌نزن دوفازی انجام گرفته‌اند، همگی بر پایه‌ی تغییرات عدد معادل مقاومت به حفره‌دار شدن (PREN) قرار داشته‌اند. نتیجه‌ی تحقیقات بر روی دمای بحرانی حفره‌دار شدن و پتانسیل خوردگی براساس دمای عملیات حرارتی آنیل این‌گونه گزارش شده است که چون با افزایش دمای آنیل انحلالی PREN در فاز فریت کاهش و در فاز آستنیت افزایش می‌یابد و نیز از آنجا که مقاومت به خوردگی حفره‌ای آلیاژهای دوفازی براساس مقاومت به حفره‌دار شدن فاز ضعیف‌تر تعیین می‌شود؛ می‌توان چنین نتیجه گرفت که در یک دمای بهینه بیش‌ترین مقاومت به خوردگی حفره‌ای برای یک آلیاژ معین قابل دستیابی است. از طرفی پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که وجود فازهای ثانویه در ساختار این فولادها منجر به فقر جزئی کروم در اطراف این فازها و در نتیجه کاهش مقاومت حفره دار شدن می‌گردد.

هدف انجام پژوهش

بیشتر تحقیقات انجام شده در مورد این موضوع با بررسی دمای بحرانی حفره دار شدن و پتانسیل حفره دار شدن صورت گرفته است اما تاکنون به صورت جدی تأثیر دمای آنیل انحلالی و ریزساختار فولاد دوفازی بر وقوع و ویژگی‌های رشد حفرات ناپایدار و احتمال تبدیل شدن آن‌ها به حفره پایدار مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین از آنجا که در اکثر این پژوهش‌ها نتایج با اکتفا به چند داده به دست آمده است و اساساً خوردگی ماهیت احتمالی دارد، استفاده از روش‌های آماری مطلوب‌تر به نظر می‌رسد. بنابراین در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از روش آماری بررسی دقیق‌تری روی تغییر رفتار حفرات ناپایدار و در نتیجه تغییر مقاومت به خوردگی با تغییر دمای آنیل انحلالی انجام پذیرد.

روش انجام پژوهش

به منظور بررسی تأثیر دمای عملیات حرارتی آنیل انحلالی و رسوبات تشکیل شده بر روی رفتار خوردگی فولاد زنگ‌نزن دو فازی ۲۲۰۵ در محلول مشابه آب دریا (۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید) ابتدا عملیات حرارتی انحلال سازی در سه دمای 1050°C ، 1150°C و 1250°C به مدت ۴۵ دقیقه و سپس کوئنچ سریع در آب بر روی این فولاد انجام شد. مقاومت به خوردگی حفره‌ای فولاد در دماهای مختلف آنیل در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید با انجام آزمون پتانسیودینامیک در دمای 65°C و پتانسیل 80 mV و آزمون پتانسیواستاتیک در دما و پتانسیل قبل و همچنین دمای 43°C و پتانسیل 800 mV مورد بررسی قرار گرفت. از روش‌های آماری برای نشان دادن تأثیر دمای آنیل و رسوبات بر پتانسیل حفره‌دار شدن فولاد استفاده شد. نقش دمای آنیل بر شروع خوردگی حفره‌ای با بهره‌گیری از روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های دیگران، شامل شدت جریان، طول عمر و حاصل‌ضرب پایداری حفرات ناپایدار به همراه نرخ جوانه‌زنی حفرات ناپایدار؛ مورد بررسی قرار گرفت.