بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی- گروه مهندسی متالورژی و مواد

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی و مواد -گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

بررسی تأثیر دمای عملیات حرارتی آنیل انحلالی بر دمای بحرانی حفره دار شدن فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵

استاد راهنما:

دکتر محمدهادی مؤید

نگارش:

معصومه نقی‌زاده

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی آموختم.

پروردگار یکتا را سپاس که سلامتی عطا فرمود و نعمت آموختن بخشید.

کلامی شایسته‌ی مقامت ندارم، پدرم همیشه بر دستان پر مهرت بوسه خواهم زد.

تا به یاد دارم دعایت بدرقه‌ی راهم و دلگرمیت پشتیبانم بود، مادرم برای همه‌ی خوبی‌هایت سپاس.

شوق آموختن و امید به خدمت را به من هدیه کردید؛ جناب آقای دکتر مؤید، برای همه‌ی راهنمایی‌هایتان در انجام این پایان‌نامه تشکر می‌کنم.

راستی، صفا و یاری شما را که ذکر نامتان در اینجا مقدور نیست می‌ستایم.

چکیده:

در این پژوهش تأثیر دمای عملیات حرارتی آنیل انحلالی بر دمای بحرانی حفره دارشدن (CPT) فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید بررسی شده و مکانیزم تغییر CPT به روش الکترود مدادی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است.

ابتدا نمونه‌ها در دماهای ۱۰۵۰ °C، ۱۱۵۰ °Cو ۱۲۵۰ °C آنیل انحلالی شدند. بررسی‌های متالوگرافی نمونه‌ها نشان داد که آنیل انحلالی در دمای ۱۲۵۰ °C منجر به تشکیل رسوبات نیتریدی از نوع نیترید کروم می‌گردد. آزمون‌های الکتروشیمیایی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و پتانسیواستاتیک در دو محیط هوازدایی شده و هوازدایی نشده از محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید نشان داد که CPT در نمونه‌های آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C و ۱۱۵۰ °C یکسان و در نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۲۵۰ °C، به میزان ۸ °C کم‌تر است. نتایج همچنین نشان‌دهنده‌ی عدم تأثیر اکسیژن محلول بر CPT بود.

در ادامه، به‌منظور مطالعه‌ی مکانیزم کاهش CPT در نمونه‌ی آنیل انحلالی‌شده در دمای ۱۲۵۰ °C نسبت به نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C، مکانیزم تاثیر دمای آنیل انحلالی بر CPT آلیاژ ۲۲۰۵ با استفاده از الکترود مدادی مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله آزمایشات انجام‌شده با استفاده از الکترود مدادی به قطر ۸۰ µm، جهت مطالعه‌ی یک تک‌حفره‌ی در حال رشد نشان داد که در دمای ۶۵ °C غلظت اشباع کاتیون‌ها در محلول حفره و همچنین شدت جریان انحلالی حد (i_{lim}) (شدت جریان تحت کنترل نفوذ درحضور لایه‌ی نمک) برای نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در ۱۲۵۰ °C نسبت به نمونه‌ی آنیل انحلالی‌شده در ۱۰۵۰°C کم‌تر است. علاوه بر این با استفاده از الکترود مدادی به قطر ۲۰۰ µm و با در نظر گرفتن محلول ۵ مولار اسید کلریدریک، شدت جریان بیشینه (i_{crit}) در دماهای مختلف بررسی شد و نشان داد که این شدت جریان در نمونه‌ی آنیل انحلالی‌شده در دمای ۱۲۵۰ °C با شیب بیش‌تری نسبت به دما افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر منابع ۵

۲-۱- فولادهای زنگ‌نزن دوفازی ۶

۲-۱-۱- عملیات حرارتی فولادهای زنگ نزن دوفازی ۷

۲-۱-۱-۱- بررسی تأثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار فولاد دوفازی براساس دیاگرام فازی ۸

۲-۱-۲- تأثیر افزایش دمای آنیل انحلالی بر ریزساختار فولاد دوفازی ۱۲

۲-۱-۲-۱- رسوب فاز نیترید کروم (Cr_2N) در اثر سرد کردن از دماهای آنیل انحلالی ۱۴

۲-۱-۲-۲- مکانیزم جوانه‌زنی رسوبات نیترید کروم در فولادهای زنگ‌نزن دوفازی ۱۵

۲-۲- خوردگی در فولادهای زنگ‌نزن ۱۷

۲-۲-۱- خوردگی موضعی ۱۷

۲-۲-۱-۱- خوردگی حفره‌ای ۱۸

۲-۲-۲- مراحل حفره‌دار شدن ۲۲

۲-۲-۲-۱- مرحله‌ی جوانه زنی یا شروع حفره‌دارشدن ۲۲

۲-۲-۲-۲- مرحله‌ی رشد حفره‌ی ناپایدار و معیار لازم برای پایدار شدن رشد حفره ۲۴

۲-۲-۲-۲-۱- تشکیل پوشش متخلخل و رشد حفره ۲۵

۲-۲-۳- تشکیل لایه‌ی نمک در حفرات خوردگی ۲۶

۲-۲-۴- مدل رشد حفره ۳۰

۲-۲-۵- نقش عناصر آلیاژی در فولادهای زنگ‌نزن دوفازی ۳۲

۲-۲-۶- دمای بحرانی حفره‌دار شدن ۳۴

۲-۲-۶-۱- تأثیر دما بر خوردگی حفره‌ای ۳۵

۲-۲-۶-۲- روشه‌ای تعیین دمای بحرانی حفره‌دارشدن ۳۶

۲-۲-۶-۳- تأثیر اکسیژن محلول روی دمای بحرانی حفره‌دار شدن ۳۷

۲-۲-۶-۴- تأثیر عملیات حرارتی بر روی CPT ۳۷

۲-۲-۶-۵- تئوریهای ارائه شده در رابطه با دمای بحرانی حفره دارشدن ۳۹

فصل سوم: روش انجام آزمایشات ۴۱

۳-۱- مواد آزمون و روش آماده‌سازی نمونه‌ها ۴۳

۳-۱-۱- روش تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها ۴۳

۳-۱-۱-۱- نمونه‌های میله‌ای شکل ۴۳

۳-۱-۱-۲- نمونه‌های تخت ۴۴

۳-۱-۱-۳- نمونه‌های الکترود مدادی ۴۴

۳-۲- عملیات حرارتی ۴۷

۳-۳- بررسی‌های متالوگرافی ۴۸

۳-۳-۱- روش حکاکی نمونه‌ها ۴۸

۳-۳-۲- بررسی به کمک میکروسکوپ نوری ۴۸

۳-۳-۳- بررسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۴۸

۳-۳-۴- تعیین کسر فریت به آستنیت ۴۹

۳-۳-۴-۱- بررسی متالوگرافی ۴۹

۳-۳-۴-۲- تحلیل تصاویر جهت محاسبه‌ی کسر فریت به آستنیت در دماهای آنیل انحلالی مختلف ۴۹

۳-۴- آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی ۵۰

۳-۴-۱- طراحی سل آزمون ۵۰

۳-۴-۲- هوازدایی محلول آزمون ۵۲

۳-۴-۳- شرح آزمون‌های الکتروشیمیایی انجام شده ۵۲

۳-۴-۳-۱- بررسی دمای بحرانی حفره‌دار شدن ۵۲

۳-۴-۳-۲- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر شدت جریان رویینگی ۵۴

۳-۴-۳-۳- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر شدت جریان حد به کمک الکترود مدادی ۵۴

۳-۴-۳-۴- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی برشدت جریان بحرانی به کمک الکترود مدادی ۵۵

فصل چهارم: بحث و تحلیل نتایج ۵۷

۴-۱- بررسی‌های ریزساختاری ۵۸

۴-۱-۱- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر تشکیل فازهای ثانویه در فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ ... ۶۱

۴-۲- آزمون‌های خوردگی جهت بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر دمای بحرانی حفره‌دارشدن ۶۶

۴-۲-۱- بررسی رفتار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول هوازدایی‌شده‌ی ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید ۶۶

۴-۲-۱-۱- ارائه‌ی نمودار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک سیکلی فولاد آنیل انحلالی شده در دمای ۱۲۵۰°C جهت حصول اطمینان از خوردگی حفره‌ای در دمای ۴۵ °C ۷۴

۴-۲-۲- بررسی رفتار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول هوازدایی‌نشده‌ی ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید ۷۶

۴-۲-۳- بررسی رفتار پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید ۸۲

۴-۳- بررسی مکانیزم تأثیر دمای آنیل انحلالی بر CPT توسط الکترود مدادی ۸۸

۴-۳-۱- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر محلول حفره و شدت جریان حد با استفاده از الکترود مدادی به روش حفره‌ی مصنوعی ۸۹

۴-۳-۱-۱- بررسی منطقه‌ی تحت کنترل نفوذ ۹۲

۴-۳-۱-۲- بررسی تغییرات عمق حفره برحسب زمان ۹۵

۴-۳-۱-۳- محاسبه‌ی شدت جریان حد و غلظت اشباع کاتیون‌ها به روش پلاریزاسیون معکوس ۹۶

۴-۳-۱-۴- بررسی تأثیر دمای آنیل انحلالی بر انحلال آندی و شدت جریان بحرانی ۱۰۲

۴-۳-۲- بررسی نتایج حاصل از آزمون‌های الکترود مدادی ۱۱۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۱۱۲

فصل ششم: مراجع ۱۱۶

فهرست جداول

جدول ۳-۱: ترکیب شیمیایی فولاد مورداستفاده در این تحقیق. ۴۳

جدول ۳-۲: تاریخچه‌ی عملیات حرارتی فولاد اولیه ۴۷

جدول ۴-۱:مقادیر پتانسیل شکست در نمونه‌های آنیل انحلالی شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵۰، $^{\circ}C$ ۱۱۵۰و $^{\circ}C$ ۱۲۵۰ در محلول هوازدایی شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف. ۷۲

جدول ۴-۲: مقادیر پتانسیل شکست در نمونه‌های آنیل انحلالی شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵۰، $^{\circ}C$ ۱۱۵۰و $^{\circ}C$ ۱۲۵۰ در محلول هوازدایی‌نشده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف. ۸۰

جدول ۴-۳: میانگین و انحراف معیار مقادیر CPT تعیین شده به روش پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک با افزایش دما در دماهای آنیل مختلف در پتانسیل اعمالی ۷۰۰ mV vs. SCE، در محلول هوازدایی‌شده‌ی ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید. ۸۴

جدول۴-۴: میانگین و انحراف معیار مقادیر CPT تعیین شده به روش پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک با افزایش دما در دماهای آنیل مختلف در پتانسیل اعمالی ۷۰۰mV vs. SCE، در محلول هوازدایی نشده‌ی ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید. ۸۵

جدول ۴-۵: شدت جـــریان بیشینه‌ی میانگین به دست آمده از آزمون پـلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول ۵ مولار کلریدریک اسید در دماهای مختلف آزمون. ۱۰۶

فهرست شکل‌ها:

شکل ۲-۱: ریزساختار متداول فولادهای زنگ‌نزن دوفازی [۶]. ۷

شکل ۲-۲: دیاگرام فازی Fe70%–Cr–Ni [۸]. ۸

شکل ۲-۳: دیاگرام رسوب‌گذاری هم‌دما برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ (دیاگرام مربوط به DSS 2304 و DSS 2507) [۷]. ۹

شکل ۲-۴: دیاگرام پایداری فازی محاسبه شده با نرم‌افزار Termocalc برای فولاد ۲۲۰۵ برحسب درصد نیتروژن [۶]. ۱۱

شکل ۲-۵: نمودار درصد فازی برحسب دما برای آلیاژ SAF 2205 با ترکیب Fe-22Cr-5.5Ni-3Mo-1.7Mn-0.14N-0.24C 0.4Si- [۱۲]. ۱۳

شکل ۲-۶: تأثیر دما و مدت زمان آنیل انحلالی بر درصد حجمی فریت در فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ [۱۳]. ۱۴

شکل ۲-۷: رسوبات نیترید کروم، به صورت حفرات میله‌ای شکل در فاز زمینه (در فاز فریت) در فولاد ۲۵۰۷ آنیل انحلالی شده در دمای ۱۲۵۰ °C (تصویر میکروسکوپ نوری) [۱۵]. ۱۵

شکل ۲-۸: میزان حد حلالیت نیتروژن در فاز فریت و آستنیت [۹]. ۱۶

شکل ۲-۹: رفتار خوردگی فلزی که دارای رفتار فعال- غیرفعال است برحسب قدرت اکسیدکنندگی محلول (پتانسیل الکترود) [۱۷]. ۱۸

شکل ۲-۱۰: تصویر شماتیک از شکست لایه‌ی رویین و حفره‌ی خوردگی. ۱۹

شکل ۲-۱۱: منحنی شماتیک پلاریزاسیون آندی فلزی که مستعد به خوردگی حفره‌ای می‌باشد [۱۸]. ۲۱

شکل ۲-۱۲: مدل هندسه‌ی حفره‌ی مصنوعی (نمای سطح مقطع) با منحنی شماتیک غلظتی کیفی (بدون مقیاس) [۴۷]. ۲۹

شکل ۲-۱۳: نمودار شماتیک نشان‌دهنده‌ی i_{crit} و i_{lim} برحسب دما، براساس تئوری ارائه‌شده توسط سالیناس- براوو و نیومن در رابطه با دمای بحرانی حفره‌دارشدن [۷۴]. ۴۰

شکل ۳-۱: تصویر نمونه‌ی میله‌ای. ۴۴

شکل ۳-۲: تصویر شماتیک از نحوه‌ی آماده‌سازی الکترودهای مدادی (۱- برش ورق با ضخامت ۴۴۰ میکرون از شمش، ۲- برش سیم با مقطع ۴۴۰ میکرون، ۳- سیم با مقطع مربعی ۴۴۰ میکرون، ۴- سیم با قطر ۲۵۰ میکرون تهیه شده به روش گذراندن از حدیده). ۴۶

شکل ۳-۳: 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 ۱۱۵۰ °C). ۵۰

شکل ۳-۴: تصویر شماتیک سل الکتروشیمیایی استفاده شده در آزمون‌های خوردگی (الف- بدون هوازدایی، ب- با هوازدایی). ۵۱

شکل ۳-۵: نحوه‌ی قرارگیری الکترود مدادی در آزمون بررسی شدت جریان حد و ترکیب محلول حفره.(الف- سل آزمون، ب-بزرگ‌نمایی سل در منطقه‌ی اطراف حفره‌ی مصنوعی) ۵۵

شکل ۴-۱: تصاویر متالوگرافی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول ۲۰ درصد KOH، مقطع عرضی، آنیل انحلالی‌شده در دمای الف- ۱۰۵۰°C، ب- ۱۱۵۰°C و پ- ۱۲۵۰°C..... ۵۹

شکل ۴-۲: کسر حجمی فاز فریت بر حسب دمای آنیل انحلالی. ۶۰

شکل ۴-۳: تصاویر متالوگرافی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی‌شده در دمای الف- ۱۰۵۰ °C، ب- ۱۱۵۰ °C و پ- ۱۲۵۰ °C. ۶۲

شکل ۴-۴: تصاویر متالوگرافی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی‌شده در دمای ۱۲۵۰ °C. ۶۳

شکل ۴-۵: تصاویر متالوگرافی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی‌شده در دمای ۱۲۵۰ °C. ۶۴

شکل ۴-۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵، حکاکی شده در محلول حکاکی Glyceregia، مقطع عرضی، آنیل انحلالی‌شده در دمای الف- ۱۰۵۰°C، ب- ۱۲۵۰°C. ۶۵

شکل ۴-۷: منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک E-log i برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ برای نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C در محلول هوازدایی شده ۳/۵ درصد سدیم کلراید، در دمای ۲۵ °C، ۳۵ °C، ۴۵ °C، ۵۵ °C، ۶۵ °C و ۷۵ °C (با نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۶۷

شکل ۴-۸: دیاگرام پوربه‌ی کروم در محیط ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید رسم‌شده با استفاده از نرم‌افزار Medusa ۶۸

شکل ۴-۹: منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولادزنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵۰ در محلول هوازدایی شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۰

شکل ۴-۱۰: منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولادزنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵۰ در محلول هوازدایی شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۱

شکل ۴-۱۱:منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولادزنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای$^{\circ}C$ ۱۲۵۰ در محلول هوازدایی‌شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۱

شکل ۴-۱۲: منحنی تغییرات پتانسیل شکست برحسب دما به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون در محیط هوازدایی‌شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید برای فولاد زنگ‌نزن ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دماهای مختلف. ۷۳

شکل ۴-۱۳: منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک سیکلی E-log i برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۲۵۰ در محلول هوازدایی شده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دمای $^{\circ}C$ ۲۵ و $^{\circ}C$ ۴۵ (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۵

شکل ۴-۱۴: مقایسه‌ی نمودار پلاریزاسیون نمونه‌ی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید در دمای $25^{\circ}C$ در محلول هوازدایی‌شده و هوازدایی‌نشده. ۷۶

شکل ۴-۱۵:منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ برای نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C در محلول هوازدایی‌نشده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۸

شکل ۴-۱۶: منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ برای نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۱۵۰ °C در محلول هوازدایی‌نشده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۹

شکل ۴-۱۷: منحنی‌های پلاریزاسیون آندی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ برای نمونه‌ی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۲۵۰ °C در محلول هوازدایی نشده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، در دماهای مختلف (نرخ روبش ۰/۵ mV/s). ۷۹

شکل ۴-۱۸: منحنی تغییرات پتانسیل شکست برحسب دما به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون در محیط هوازدایی نشده در فولاد زنگ‌نزن ۲۲۰۵ در دماهای آنیل انحلالی مختلف. ۸۱

شکل ۴-۱۹: منحنی شدت جریان برحسب دما به‌دست‌آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل‌شده در دمای ۱۰۵۰ °C، ۱۱۵۰ °C و ۱۲۵۰ °C، در پتانسیل اعمالی ۷۰۰mV vs. SCE، محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید (محلول هوازدایی‌شده) (با نرخ افزایش دمای ۰/۶°C/min). ۸۳

شکل۴-۲۰: منحنی شدت جریان برحسب دما به‌دست‌آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل‌شده در دمای ۱۰۵۰ °C، ۱۱۵۰ °C و ۱۲۵۰ °C، در پتانسیل اعمالی mV vs. SCE ۷۰۰، در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید هوازدایی‌نشده (با نرخ افزایش دمای ۰/۶ °C/min)..... ۸۵

شکل ۴-۲۱: نمودار مقادیر CPT تعیین شده به روش پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک با افزایش دما در دماهای آنیل مختلف، در محلول۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید الف- هوازدایی‌شده ب-هوازدایی‌نشده (محدوده‌ی اطمینان نشان‌دهنده‌ی قرارگیری ۹۵ درصد از نتایج در محدوده‌ی بیشینه و کمینه است)..... ۸۶

شکل ۴-۲۲: نمونه‌ای از آزمون محاسبه‌ی محلول حفره در محلول۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید، پتانسیل آندی (SCE) ۸۵۰mV در دمای ۶۵°C، (فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ عملیات حرارتی آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C)..... ۹۰

شکل ۴-۲۳: نمودار شدت جریان-زمان، به دست آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک در محلول ۳/۵ درصد سدیم‌کلراید، پتانسیل آندی (SCE) ۸۵۰ mV در دمای ۶۵°C برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C، مرحله‌ی اول (افزایش شدت جریان در اثر به وجود آمدن حفرات) و مرحله‌ی دوم (تحت نفوذ قرار گرفتن جریان). ۹۱

شکل ۴-۲۴: نمونه‌ای از نمودار i^2-t^{-1} به دست آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک در محلول۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید و پتانسیل آندی (SCE) ۸۵۰mV در دمای ۶۵°C برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دماهای۱۰۵۰ °C و ۱۲۵۰°C. ۹۳

شکل ۴-۲۵: منحنی تغییرات عمق حفره بر حسب مجذور زمان، به دست آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیواستاتیک در محلول۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید و پتانسیل آندی (SCE) ۸۵۰mV در دمای ۶۵°C برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ عملیات حرارتی آنیل انحلالی شده در دماهای ۱۰۵۰ °C و ۱۲۵۰ °C. ... ۹۶

شکل ۴-۲۶: نمونه‌ای از نمودار جریان- پتانسیل (مربوط به نمودار آزمون محاسبه‌ی محلول حفره) در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید در دمای ۶۵ °C، برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C. ۹۸

شکل ۴-۲۷: بزرگ‌نمایی منحنی در منطقه‌ی پلاریزاسیون در جهت معکوس، فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در ۱۰۵۰ °C در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید در دمای ۶۵ °C، به دست آمده از آزمون محاسبه‌ی محلول حفره. ۹۸

شکل ۴-۲۸: مقادیر i_{Lim} بر حسب عمق حفره، منحنی عمق حفره بر حسب زمان، در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید در دمای ۶۵ °C، به دست آمده از آزمون محاسبه‌ی محلول حفره، برای فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای ۱۰۵۰ °C و ۱۲۵۰ °C. ۱۰۰

شکل ۴-۲۹: مقادیر DC_S بر حسب عمق حفره، در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلراید در دمای ۶۵ °C، به دست آمده از آزمون محاسبه‌ی محلول حفره، فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در ۱۰۵۰ °C و ۱۲۵۰°C. ۱۰۱

شکل ۴-۳۰: منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ، در محلول ۵ مولار HCl در دماهای مختلف، فولادزنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای الف-۱۰۵۰ °C و ب- ۱۲۵۰ °C، نرخ روبش ۵ mV/s ۱۰۴

شکل ۴-۳۱: مقادیر شدت جریان بیشینه در دماهای مختلف، به دست‌آمده ازمنحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ، در محلول ۵ مولار HCl در دماهای مختلف، فولاد زنگنزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای الف-۱۰۵۰ °C ب- ۱۲۵۰ °C، نرخ روبش ۵ mV/s (محدوده‌ی اطمینان نشان‌دهنده‌ی قرارگیری ۹۵ درصد از نتایج به دست‌آمده در محدوده‌ی بین بیشینه و کمینه است). ۱۰۷

شکل ۴-۳۲: نمودار تغییرات شدت جریان بحرانی بر حسب دما، به دست‌آمده ازمنحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ، در محلول ۵ مولار HCl در دماهای مختلف، فولادزنگ‌نزن دوفازی ۲۲۰۵ آنیل انحلالی شده در دمای الف-۱۰۵۰ °C و ب- ۱۲۵۰ °C، نرخ روبش 5mV/s. ۱۰۸

شکل ۴-۳۳: نمودار شماتیک نشان‌دهنده‌ی i_{crit} و i_{lim} برحسب دما، تأثیر کاهش شدت جریان حد بر کاهش CPT. ۱۱۰

شکل ۴-۳۴: نمودار شماتیک نشان‌دهنده‌ی i_{crit} و i_{lim} برحسب دما، تأثیر افزایش شدت جریان بحرانی بر کاهش CPT. ۱۱۱

فصل اول

مقدمه