



دانشگاه گیلان

دانشکده مهندسی

گروه آموزشی مواد

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد

عنوان:

بررسی خواص الکتروشیمیایی لایه رویین فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و  
مارتنزیتی

استاد راهنما:

دکتر آرشد فتاح الحسینی

نگارش:

حامد فراهانی

۱۶ شهریور ۱۳۹۲



کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات خارجی

..... گروه ..... دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات داخلی





دانشگاه بوعلی سینا  
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان: بررسی خواص الکتروشیمیایی لایه رویین فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و مارتنزیتی		
نام نویسنده: حامد فراهانی		
نام استاد راهنما: دکتر آرش فتاح الحسینی		
نام استاد/اساتید مشاور:		
دانشکده: مهندسی		گروه آموزشی: مهندسی مواد
رشته تحصیلی: مهندسی مواد	گرایش تحصیلی: شناسایی و انتخاب مواد	مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد
تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۲/۷	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۶/۱۶	تعداد صفحات: ۸۱
<p>چکیده:</p> <p>در این تحقیق، رفتار الکتروشیمیایی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ کم کربن و ۳۲۱ در محلول شبیه‌سازی بتن (۰/۱ مولار هیدروکسید سدیم + ۰/۱ مولار هیدروکسید پتاسیم) با استفاده از آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و موت-شاتکی بررسی شد. برای این منظور، لایه‌های رویین در پتانسیل مدار باز در مدت زمان‌های ۱ تا ۱۲ ساعت تشکیل و سپس آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و موت-شاتکی انجام شدند. برای انجام آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، از پتانسیل تحریک ۱۰ میلی ولت و دامنه فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ میلی‌هرتز استفاده شد. منحنی‌های پلاریزاسیون نشان دادند که فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ کم کربن و ۳۲۱ در محلول شبیه‌سازی بتن رفتار رویین قابل قبولی را ارائه می‌دهد. نتایج آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی نشان داد که بهترین مدار معادل دارای دو ثابت زمانی است: ثابت زمانی اول مربوط به فرکانس‌های بالا و میانی، به فرایند انتقال بار مرتبط است در حالی که ثابت زمانی دوم مربوط به فرکانس‌های کم، به فرایندهای ردوکس که در سطح لایه اتفاق می‌افتند، مرتبط می‌شود. همچنین نتایج طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی آشکار ساخت که با افزایش زمان تشکیل لایه رویین از ۱ به ۱۲ ساعت، مقاومت پلاریزاسیون افزایش می‌یابد که به واسطه افزایش ضخامت لایه رویین است. آزمون‌های موت-شاتکی نشان داد که چگالی پذیرنده‌های الکترونی در محدوده <math>10^{21} \times 3</math> تا <math>10^{21} \times 1</math> بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد که با افزایش زمان غوطه‌وری کاهش می‌یابد.</p>		
واژه‌های کلیدی: فولاد زنگ‌نزن آستنیتی، فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، موت-شاتکی.		



۱	فصل اول- مقدمه
۳	فصل دوم- مروری بر منابع
۳	۱-۲- فولادهای زنگ‌نزن
۶	۲-۲- انواع فولادهای زنگ‌نزن
۸	۳-۲- شناسایی فولادهای زنگ‌نزن
۹	۴-۲- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰
۱۴	۵-۲- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۲۰۰
۲۰	۶-۲- فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی
۲۵	۷-۲- رویین شدن
۲۸	۸-۲- لایه رویین
۲۹	۹-۲- مدل عیوب نقطه ای
۳۲	۱۰-۲- اهداف پژوهش
۳۵	فصل سوم- مواد و روش تحقیق
۳۶	۱-۳- الکتروود کار و آماده سازی آن
۳۶	۲-۳- سل مورد استفاده
۲۲	۳-۳- آزمون های پلاریزاسیون
۳۷	۴-۳- آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی
۳۷	۵-۳- آزمون موت- شاتکی
۳۹	فصل چهارم- نتایج و بحث
۳۹	۱-۴- رفتار الکتروشیمیایی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ در ۳ محلول اسید سولفوریک
۲۵	۱-۱-۴- تغییرات پتانسیل مدار باز
۴۱	۲-۱-۴- مطالعات پلاریزاسیون پتانسیودینامیک
۴۴	۳-۱-۴- مطالعات طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل مدار باز
۴۶	۴-۱-۴- مدل سازی طیف های امپدانس
۵۱	۵-۱-۴- آزمون موت- شاتکی

۵۴	۲-۴- رفتار الکتروشیمیایی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۲۱ در ۳ محلول اسید سولفوریک
۵۴	۱-۲-۴- تغییرات پتانسیل مدار باز
۵۵	۲-۲-۴- مطالعات پلاریزاسیون پتانسیودینامیک
۵۸	۳-۲-۴- مطالعات طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل مدار باز
۵۹	۴-۲-۴- مدل سازی طیف های امپدانس
۶۲	۵-۲-۴- آزمون موت- شاتکی
۶۴	۳-۴- رفتار الکتروشیمیایی فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در ۳ محلول اسید سولفوریک
۶۴	۱-۳-۴- تغییرات پتانسیل مدار باز
۶۶	۲-۳-۴- مطالعات پلاریزاسیون پتانسیودینامیک
۶۹	۳-۳-۴- مطالعات طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در پتانسیل مدار باز
۷۰	۴-۳-۴- مدل سازی طیف های امپدانس
۷۳	۵-۳-۴- آزمون موت- شاتکی
۷۷	فصل پنجم- نتیجه گیری
۷۹	مراجع



## فهرست جداول

صفحه	عنوان جدول
۱۰	جدول (۱-۲) ترکیب شیمیایی سری های ۳۰۰ از فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی
۱۲	جدول (۲-۲) نمونه‌ای از خواص مکانیکی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰
۱۵	جدول (۳-۲) ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی نیکل- منگنز- نیتروژن
۱۶	جدول (۴-۲) نمونه ای از خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن آستنیتی نیکل- منگنز- نیتروژن
۲۲	جدول (۵-۲) ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی سری ۴۰۰
۲۳	جدول (۶-۲) نمونه ای از خواص مکانیکی فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی سری ۴۰۰
۳۶	جدول (۱-۳) ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۴ و ۳۲۱ و همچنین فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ برحسب درصد وزنی
۴۳	جدول (۱-۴) مقادیر پتانسیل و چگالی جریان خوردگی و پتانسیل شکست لایه رویین به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴
۵۰	جدول (۲-۴) مقادیر المان‌های به‌دست آمده از مدار معادل شکل ۴-۱۴ برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱، ۰/۵ و ۰/۱ مولار
۵۷	جدول (۳-۴) مقادیر پتانسیل و چگالی جریان خوردگی و پتانسیل شکست لایه رویین به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱
۶۱	جدول (۴-۴) مقادیر المان‌های به‌دست آمده از مدار معادل شکل ۴-۱۴ برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در ۳ محلول اسید سولفوریک
۶۸	جدول (۵-۴) مقادیر پتانسیل و چگالی جریان خوردگی و پتانسیل شکست لایه رویین به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰
۷۳	جدول (۶-۴) مقادیر المان‌های به‌دست آمده از مدار معادل شکل ۴-۴۹ برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در ۳ محلول اسید سولفوریک

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۴	شکل (۱-۲) نمودار تعادلی آهن- کروم
۵	شکل (۲-۲) نمودار تعادلی آهن- نیکل
۶	شکل (۳-۲) نمودار شافلر
۷	شکل (۴-۲) تقسیم بندی فولادهای زنگ‌نزن بر اساس ریزساختار
۸	شکل (۵-۲) شمایی از تقسیم‌بندی فولادهای زنگ‌نزن با توجه به پایداری فازها
۱۴	شکل (۶-۲) ارتباط بین خواص و ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی سری ۳۰۰
۱۷	شکل (۷-۲) نمودار شافلر اصلاح شده برای فولادهای حاوی ۱۰ تا ۴۰ درصد منگنز
۱۸	شکل (۸-۲) قابلیت حلالیت نیتروژن در فولادهای زنگ نزن آستنیتی حاوی ۱۴ درصد نیکل به عنوان تابعی از درصدهای کروم و منگنز
۲۱	شکل (۹-۲) تاثیر افزودن کربن بر حلقه گاما در آلیاژهای آهن- کروم
۲۶	شکل (۱۰-۲) نمودار نوعی پلاریزاسیون فلزاتی مانند کروم، نی‌کل، آهن و فلزات والو
۲۷	شکل (۱۱-۲) منحنی های پلاریزاسیون آهن در محلول های بافری هیدروکسید سدیم/اسید فسفریک در pH های مختلف
۳۱	شکل (۱۲-۲) واکنش های تولید و نابودی عیوب سطحی مطابق با مدل عیوب نقطه ای
۴۰	شکل (۱-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار
۴۰	شکل (۲-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار
۴۱	شکل (۳-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار
۴۲	شکل (۴-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه)
۴۲	شکل (۵-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه)

شکل (۶-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۴۳

شکل (۷-۴) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۴

شکل (۸-۴) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۵

شکل (۹-۴) منحنی‌های نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۵

شکل (۱۰-۴) اولین مدار معادل برای مدل‌سازی لایه رویین تشکیل شده روی فولادهای زنگ‌نزن ۴۶

شکل (۱۱-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۰-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۷

شکل (۱۲-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۰-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۷

شکل (۱۳-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۰-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۸

شکل (۱۴-۴) دومین مدار معادل برای مدل‌سازی لایه رویین تشکیل شده روی فولادهای زنگ‌نزن ۴۸

شکل (۱۵-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۴-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۹

شکل (۱۶-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۴-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۴۹

شکل (۱۷-۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۱۴-۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۵۰

- شکل (۱۸-۴) منحنی موت- شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۵۱
- شکل (۱۹-۴) منحنی موت- شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۵۲
- شکل (۲۰-۴) منحنی موت- شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۵۲
- شکل (۲۱-۴) مقادیر چگالی دهنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در ۳ محلول اسید سولفوریک ۵۳
- شکل (۲۲-۴) مقادیر چگالی پذیرنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ در ۳ محلول اسید سولفوریک ۵۴
- شکل (۲۳-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار ۵۴
- شکل (۲۴-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار ۵۵
- شکل (۲۵-۴) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار ۵۵
- شکل (۲۶-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۵۶
- شکل (۲۷-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۵۶
- شکل (۲۸-۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۵۷
- شکل (۲۹-۴) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری ۵۸
- شکل (۳۰-۴) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری ۵۸

شکل (۴-۳۱) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری ۵۹

شکل (۴-۳۲) منحنی نایکویست و مدل سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۴-۱۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۰

شکل (۴-۳۳) منحنی نایکویست و مدل سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۴-۱۴) برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۰

شکل (۴-۳۴) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل ۴-۱۴ برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۱

شکل (۴-۳۵) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول ۱ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۲

شکل (۴-۳۶) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۲

شکل (۴-۳۷) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول ۰/۱ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۳

شکل (۴-۳۸) مقادیر چگالی دهنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۶۴

شکل (۴-۳۹) مقادیر چگالی پذیرنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن ۳۲۱ در محلول اسید سولفوریک ۶۴

شکل (۴-۴۰) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار ۶۵

شکل (۴-۴۱) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار ۶۵

شکل (۴-۴۲) نمودار تغییرات پتانسیل مدار باز فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار ۶۶

شکل (۴-۴۳) منحنی پلاریزاسون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۱ مولار اسید سولفوریک بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۶۷

- شکل (۴-۴۴) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۶۷
- شکل (۴-۴۵) منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۱ مولار اسید سولفوریک بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز (نرخ روبش برابر ۱ میلی‌ولت در ثانیه) ۶۸
- شکل (۴-۴۶) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۹
- شکل (۴-۴۷) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۵ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۶۹
- شکل (۴-۴۸) منحنی نایکویست فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۱ مولار بعد از گذشت ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۰
- شکل (۴-۴۹) مدار معادل الکتریکی مناسب برای مدل سازی منحنی های نایکویست فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ ۷۱
- شکل (۴-۵۰) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۴-۴۵) برای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۱
- شکل (۴-۵۱) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۴-۴۵) برای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۰/۵ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۲
- شکل (۴-۵۲) منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده با استفاده از مدار معادل شکل (۴-۴۵) برای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول اسید سولفوریک ۰/۱ مولار بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۲
- شکل (۴-۵۳) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۱ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۳
- شکل (۴-۵۴) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۴
- شکل (۴-۵۵) منحنی موت-شاتکی لایه رویین تشکیل شده روی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در محلول ۰/۱ مولار اسید سولفوریک بعد از ۱ ساعت غوطه‌وری تحت شرایط پتانسیل مدار باز ۷۴
- شکل (۴-۵۶) مقادیر چگالی دهنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در ۳ محلول اسید سولفوریک ۷۵

شکل (۴-۵۷) مقادیر چگالی پذیرنده‌های الکترونی محاسبه شده برای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در ۳  
محلول اسید سولفوریک

۷۶





## فصل اول

### مقدمه

در بین انواع فولادهای زنگ‌نزن، فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی<sup>۱</sup> و مارتنزیتی<sup>۲</sup> بسیار کاربردی هستند. به طور کلی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی در دمای محیط دارای ساختار آستنیتی بوده و در نتیجه غیرمغناطیسی می‌باشند. این فولادها قابلیت سخت‌شدن به‌وسیله عملیات حرارتی را ندارند و استحکام آنها را مانند فولادهای زنگ‌نزن فریتی<sup>۳</sup> تنها با کار سرد می‌توان افزایش داد [۱ و ۲].

این در حالی است که ساختار فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی در دماهای بالا آستنیتی است و این ساختار آستنیتی با سرمایش مناسب تا دمای محیط می‌تواند به مارتنزیت تبدیل شود. به‌طور معمول فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی برای کاربردهای خاصی انتخاب می‌شوند، به‌طوری‌که علاوه بر مقاومت به خوردگی مناسب، دارای ترکیبی از خواص مکانیکی لازم نیز باشند. از جمله این خواص می‌توان به

---

<sup>۱</sup> Austenitic  
<sup>۲</sup> Martensitic  
<sup>۳</sup> Ferritic

استحکام بالا همراه با چقرمگی کافی، سایش کم، مقاومت به خستگی مناسب بعد از عملیات حرارتی معین و سختی پذیری در مقاطع ضخیم اشاره کرد [۱ و ۲].

در میان عناصر آلیاژی، کروم عنصر آلیاژی اصلی در تمامی فولادهای زنگ‌نزن است و فولاد باید حداقل ۱۱ درصد کروم داشته باشد. کروم عنصر فعالی است ولی این عنصر و آلیاژهای آن در بسیاری از محیط‌ها غیرفعال شده و مقاومت عالی از نظر خوردگی از خود نشان می‌دهند. در فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کروم- نیکل‌دار، عنصر نیکل به‌عنوان عامل اصلی پایدار کننده آستنیت است [۱ و ۲].

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کروم- نیکل‌دار دارای مقاومت بهتری نسبت به انواع بدون نیکل هستند و به‌طور معمول دارای بالاترین مقاومت خوردگی نسبت به گروه‌های دیگر می‌باشند. به‌همین دلیل این فولادها به‌طور وسیعی برای شرایط حادثر خوردگی به‌کار برده می‌شوند. در میان فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی انواع ۳۰۴، ۳۱۶ و ۳۲۱ به‌عنوان آلیاژ پرکاربرد برای صنایع شیمیایی هستند و باید توجه داشت که انواع مولیبدن‌دار مانند ۳۱۶ و ۳۲۱ در بسیاری از کاربردها بهتر از ۳۰۴ رفتار می‌کنند [۲].

به‌دلیل اهمیت پدیدهٔ رویین شدن<sup>۱</sup> و لایه رویین<sup>۲</sup> تشکیل شده روی انواع فولادهای زنگ‌نزن، در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای برای روشن کردن رفتار الکتروشیمیایی آن‌ها انجام شده است. هدف از این تحقیق مطالعه و مقایسه رفتار الکتروشیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۴ و ۳۲۱ و همچنین فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۲۰ در سه محلول اسید سولفوریک ۱، ۵/۰ و ۱۰/۰ مولار در پتانسیل مدار باز<sup>۳</sup> است. برای این منظور از آزمون‌های پتانسیل مدار باز، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک<sup>۴</sup>، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی<sup>۵</sup> و موت- شاتکی<sup>۶</sup> استفاده شده است.

این پایان‌نامه شامل پنج فصل است که فصل اول به مقدمه اختصاص داده شده است. در فصل دوم ضمن بررسی انواع فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و مارتنزیتی، پدیدهٔ رویین شدن و مدل عیوب نقطه‌ای<sup>۷</sup> نیز نیز مورد توجه قرار گرفته است. در فصل سوم به روش انجام تحقیق و جزئیات آزمایش‌های مختلف پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و موت- شاتکی و تحلیل آن‌ها ارائه شده است. و در نهایت در فصل پنجم نتیجه‌گیری بیان شده است.

---

<sup>۱</sup> Passivity

<sup>۲</sup> Passive Film

<sup>۳</sup> Open circuit potential

<sup>۴</sup> Potentiodynamic Polarization

<sup>۵</sup> Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

<sup>۶</sup> Mott-Schottky

<sup>۷</sup> Point Defect Model (PDM)

## فصل دوم

### مروری بر منابع

#### ۲-۱- فولادهای زنگ‌نزن

دلیل اصلی وجود فولادهای زنگ‌نزن که در حدود یک قرن پیش توسط مونارتز<sup>۱</sup> اختراع شدند، مقاومت بالای آنها در برابر خوردگی است. تحقیقات نشان می‌دهد که امروزه استفاده از این فولادها به‌طور متوسط در حدود ۵ درصد در سال رشد دارد [۳].

فولادهای زنگ‌نزن کم‌تر از ۲ درصد مقدار کلی فولاد تولیدی در ایالات متحده است، اما به‌دلیل این که از این نوع فولادها برای تجهیزات مقاوم به خوردگی در بیش‌تر صنایع، به‌خصوص در صنایع شیمیایی، نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود، اهمیت اقتصادی و فن‌آوری زیادی دارند [۳].

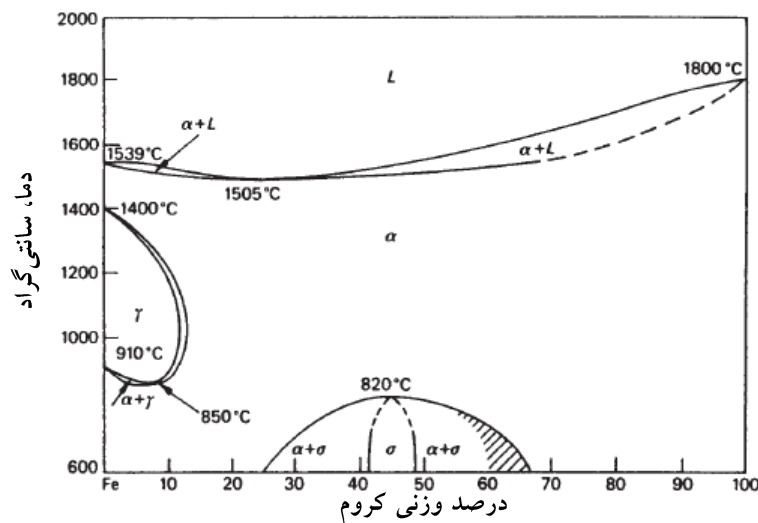
فولادهای زنگ‌نزن، آلیاژهای آهن شامل حداقل ۱۱ درصد کروم به‌صورت محلول جامد هستند. این مقدار از کروم، از تشکیل اکسید آهن در اتمسفرهای معمول جلوگیری می‌کند. مقاومت به خوردگی این فولادها با یک لایه سطحی بسیار نازک فراهم می‌شود که در بیش‌تر محیط‌ها خود ترمیم‌کننده است. در

---

<sup>1</sup> Monnartz

برخی فولادهای زنگ‌نزن، میزان کروم به ۳۰ درصد وزنی نیز می‌رسد و تعداد دیگری عناصر آلیاژی برای ایجاد خواص ویژه یا راحتی تولید اضافه می‌شوند. برای مثال عناصر نیکل، نیتروژن و مولیبدن برای بهبود مقاومت به خوردگی، عناصر کربن، مولیبدن، نیتروژن، تیتانیوم، آلومینیوم و مس برای افزایش استحکام، عناصر گوگرد و سلنیم برای قابلیت ماشین‌کاری و در نهایت نیکل برای قابلیت شکل‌پذیری و چقرمگی اضافه می‌شوند [۳].

همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، کروم پایدار کننده فاز فریت (با شبکه مکعبی مرکزدار) است و با افزایش مقدار کروم، نواحی پایداری فریت دلتا<sup>۱</sup> و فریت آلفا<sup>۲</sup> گسترش می‌یابند و ناحیه پایداری آستنیت محدود می‌شود [۳].



شکل ۱-۲- نمودار تعادلی آهن- کروم [۳].

نیکل عنصر آلیاژی دیگری است که پس از کروم بیش‌ترین اثر را روی برخی فولادهای زنگ‌نزن دارد. افزودن نیکل به آهن، موجب پایداری آهن با شبکه بلوری مکعب با وجوه مرکزدار می‌شود. با توجه به نمودار تعادلی آهن- نیکل در شکل ۲-۲، با وجود مقدار کافی نیکل، آستنیت در تمام دماهای بالاتر از دمای اتاق پایدار است [۳].

<sup>1</sup> Delta Ferrite  
<sup>2</sup> Alpha Ferrite