١٠٨٧٥

۸۷/۱۱/۰۳۱۰۹
۸۷/۱۰۰۲۵

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد (گرایش خوردگی و حفاظت از مواد)

بررسی خوردگی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ با اندازه دانه فوق ریز و نانو ساخته شده توسط روش فورجینگ چند محوره

مرکز اطلاعات و مدارک علمی

توسط:
سید رحیم کیاحسینی

۱۳۸۷/۸۰۱/۲۱

استاد راهنما :
دکتر سیروس جوادپور

شهریور ۱۳۸۷

۱۰۸۵۷۵

به نام خدا

بررسی خوردگی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ با اندازه دانه فوق ریز و نانو ساخته شده توسط روش فورجینگ چند محوره

به وسیله‌ی:

سید رحیم کیاحسینی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مواد (گرایش خوردگی و حفاظت از مواد)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

۱۳۸۷/۱۰/۲۱

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکترسیروس جوادپور، استادیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته) .....

دکتر محمدحسین شریعت، استاد بخش مهندسی مواد .....

دکتر محمد ابراهیم بحرالعلوم، دانشیار بخش مهندسی مواد .....

شهریور ماه ۱۳۸۷

تقدیم به سه رکن اصلی زندگیم

مهربانم، پدرم

دلسوزم،مادرم

و سنگ صبورم، همسرم

سپاسگزاری

سپاس ایزد منان را که لطف و عنایت بیکرانش را شامل حال ما نمود تا رهرویی باشیم در راه بی انتهای دانش و قطره‌ای باشیم در دریای معرفت،... اکنون که به یاری حق این مهم به پایان رسیده است بر خود واجب می‌دانم که از زحمات و حمایت‌های بی دریغ استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر سیروس جوادپور تشکر و قدردانی نمایم و زحمات اساتید مشاورم جناب آقایان دکتر محمد حسین شریعت و دکتر محمد ابراهیم بحرالعلوم را پاس دارم. به علاوه از آقای خلیل ا... قیصری به خاطر کمک‌های فکری‌ای که در مسیر انجام پروژه به من دادند کمال تشکر را دارم. از مسئولین محترم آزمایشگاه مهندسی مواد دانشگاه شیراز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. در نهایت از خانواده‌ام که بسیاری از ناهمواری‌ها را برایم هموار ساختند و صمیمانه مرا در راه رسیدن به هدف یاری کردند، نهایت تشکر وسپاسگزاری را دارم.

چکیده

بررسی خوردگی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ با اندازه دانه فوق ریز و نانو ساخته شده توسط روش فورجینگ چند محوره

به وسیله‌ی

سید رحیم کیاحسینی

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی AISI316 به دلیل مقاومت به خوردگی خوب و خواص مکانیکی مطلوب، کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند. بزرگ‌ترین نقطه ضعف این آلیاژها، حساس شدن آنها ناشی از رسوب کاربید کروم می‌باشد. رسوب کاربید کروم بر رفتار خوردگی تنشی آلیاژ اثر واضحی دارد. از راه‌های کاهش درجه حساس شدن در این فولادها، کم کردن کربن و یا افزودن نیتروژن یا عناصر آلیاژی کاربیدساز مثل تیتانیوم و نایوبیوم می‌باشد. این روش‌ها مانع کاهش عنصر محافظ کروم در سیستم می‌گردند ولی هزینه‌های تولید آنرا افزایش می‌دهد و موفقیت صددرصد ندارند. یکی از روش-های مؤثر در کاهش درجه حساس شدن، کاهش اندازه دانه در حد فوق ریز و نانو می‌باشد. در این تحقیق به منظور بررسی اثر اندازه دانه، از دو روش عملیات حرارتی و عملیات فرجینگ چندمحوری استفاده شد. نمونه‌های حاصل از دو روش تحت آزمایشات مختلف نظیر خوردگی تنشی، خوردگی حفره‌ای، خوردگی بین دانه‌ای قرار گرفت. بعد از بررسی و مقایسه نتایج مشخص گردید که آلیاژ با دانه فوق ریز بهترین رفتار خوردگی را در شرایط مختلف می‌تواند داشته باشد و ریز کردن دانه و رسیدن با اندازه دانه نانو به عنوان یک روش بهینه و مقرون به صرفه جهت افزایش مقاومت به خوردگی فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ قابل استفاده است.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده ۵

۲-۱- فولادهای زنگ‌نزن ۶

۲-۱-۱- کلیات ۶

۲-۱-۲- دسته‌بندی فولادهای زنگ‌نزن ۹

۲-۱-۲-۱- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۱۰

۲-۱-۲-۲- ویژگیهای خوردگی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۱۴

۲-۱-۲-۳- بررسی مشخصات فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI316 ..... ۱۶

۲-۲- ترک خوردگی تنشی ۱۹

۲-۲-۱- تعریف و اصطلاحات ۱۹

۲-۲-۲-ویژگیها و مشخصات خوردگی تنشی ۲۰

۲-۲-۳- اصطلاحات مرتبط با پدیده SCC ۲۲

۲-۲-۴- مکانیزم‌های ترک‌خوردگی تنشی ۲۴

۲-۲-۴-۱- تأثیر فاکتور شدت تنش روی نرخ SCC ۲۸

۲-۲-۴-۲-ظاهر شدنSCC ۲۸

۲-۲-۴-۳- آغازSCC، تنشهای آستانه و نقش خوردگی موضعی ۲۹

۲-۲-۴-۴- متالورژی SCC ۳۰

۲-۲-۴-۵-مکانیزم های متداول SCC ۳۴

۲-۲-۵- بررسیSCC ناشی ازکلرید ۳۹

۲-۲-۵-۱- ترکیب شیمیایی ۳۹

۲-۲-۵-۲ تنش ۴۵

۲-۲-۵-۳- ریز ساختار ۴۶

۲-۲-۵-۴- متغیرهای محیطی ۴۹

عنوان ..... صفحه

۲-۳- آزمون‌های خوردگی تنشی ۵۱
۲-۳-۱- آزمون خوردگی تنشی به روش نرخ کرنش کم (SSRT) ۵۳
۲-۴- تاثیر مرزدانه بر روی حساس شدن فولاد ۳۱۶ ..... ۵۵
۲-۴-۱- ریز کردن اندازه دانه ۵۶
۲-۴-۲- فرجینگ با قالب باز ۵۶
۲-۴-۲-۱- فرجینگ شمش ۵۷
۲-۴-۲-۲- فرجینگ معکوس ۵۷
۲-۴-۲-۳- پخش‌کاری ۵۸
۲-۴-۲-۴- فرجینگ میان تهی ۵۸
۲-۴-۳- مکانیزم‌های موجود در فرجینگ چند محوری ۵۸
۲-۴-۴- انواع دانه‌بندی موجود در نمونه فرجینگ چند محوری ۵۹
۲-۴-۵- چگونگی تغییر اندازه دانه در فرجینگ چند محوری ۶۰

فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۶۱

۳-۱- مقدمه ۶۲
۳-۲- تهیه آلیاژهای مورد آزمایش ۶۲
۳-۳- تهیه نمونه آزمون و انجام سیکل عملیات حرارتی مورد نظر ۶۴
۳-۴- عملیات فرجینگ چندمحوری ۶۵
۳-۴-۱- نمونه سازی ۶۵
۳-۴-۲- انجام عملیات فرجینگ چندمحوری ۶۵
۳-۴-۳- حساس سازی نمونه‌های فرجینگ ۶۶
۳-۵- آزمایش کشش با نرخ کرنش کم (SSRT) ۶۷
۳-۶- شکست نگاری ۶۸
۳-۶-۱- تکنیک طیف سنجی انرژی پراکنده شده(EDAX) ۶۹
۳-۷- متالوگرافی ۶۹
۳-۸- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) ۶۹
۳-۹- سیستم الکتروشیمیایی ۷۰
۳-۹-۱- سلول خوردگی ۷۱
۳-۹-۲- محلول‌سازی ۷۲

عنوان ..... صفحه

۳-۹-۲-۱- محلول سازی برای آزمایش خوردگی حفره‌ای ۷۲
۳-۹-۲-۲- محلول سازی برای آزمایش خوردگی بین دانه‌ای(درجه حساس‌شدن) ۷۲
۳-۹-۲-۳- تست بازفعالسازی الکتروشیمیایی دوحلقه‌ای (DL-EPR) ۷۲
۳-۹-۲-۴- تست پلاریزاسیون سیکلی ۷۳
۳-۱۰- بررسی خوردگی بین دانه‌ای به وسیله تست استرایکر ۷۳
۳-۱۱- سختی سنجی ۷۴

فصل چهارم: نتایج و بحث ۷۵

۴-۱- نتایج حاصل از عملیات حرارتی رشد دانه ۷۶
۴-۱-۱- نتایج حاصل از متالوگرافی ۷۶
۴-۱-۲- نتایج تست خوردگی حفره‌ای فولاد زنگ‌نزن آستنیتی عملیات حرارتی شده در محیط حاوی یون کلر ۷۸
۴-۱-۳- نتایج تست خوردگی بین‌دانه‌ای فولاد زنگ‌نزن آستنیتی عملیات حرارتی شده به روش DL-EPR ۸۰
۴-۱-۴- نتایج آزمون کشش با نرخ کرنش کم ۸۳
۴-۱-۵- شکست‌نگاری ۸۷
۴-۱-۶- آزمایشات پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و اندازه‌گیری سرعت خوردگی با روش برون‌یابی تافل ۹۰
۴-۲- نتایج حاصل از عملیات فرجینگ چندمحوری ۹۵
۴-۲-۱- آنالیز نمودار تنش-کرنش ۹۵
۴-۲-۲- ریز ساختار ۹۶
۴-۲-۳- تعیین اندازه دانه به وسیله XRD ۹۸
۴-۲-۴- مکانیزم ریز شدن دانه در عملیات فرجینگ چند محوری ۱۰۱
۴-۲-۵- نتایج تست خوردگی حفره‌ای فولاد زنگ‌نزن بعد از عملیات فرجینگ چندمحوری در محیط حاوی یون کلر ۱۰۲
۴-۲-۶- نتایج تست خوردگی بین‌دانه‌ای فولاد زنگ‌نزن آستنیتی عملیات فرجینگ چند محوری شده به روش بازفعالسازی الکتروشیمیایی دو حلقه‌ای ۱۰۴
۴-۲-۷- مقایسه نتایج تست خوردگی حفره‌ای فولاد زنگ‌نزن بعد از عملیات حرارتی و عملیات فرجینگ چندمحوری در محیط حاوی یون کلر ۱۰۷

عنوان ..... صفحه

۴-۲-۸- مقایسه نتایج تست خوردگی بین دانه‌ای فولاد زنگ‌نزن بعد از عملیات حرارتی و عملیات فرجینگ چندمحوری ۱۰۹
۴-۲-۹- نتایج حاصل از تست استرایکر ۱۱۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۶

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۶
۵-۲- پیشنهادات ۱۱۷

منابع ۱۱۸

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره ..... صفحه

جدول ۲-۱- ترکیب شیمیایی و کاربرد فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۱۱

جدول ۲-۲- ترکیب شیمیایی یک نمونه فولاد ۳۱۶ ..... ۱۷

جدول ۲-۳- سیستمهای آلیاژ-محیط نمایش دهنده SCC ۲۱

جدول ۲-۳- تاثیر سیلیسیم روی مقاومت بهSCC فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی در کلریدهای مختلف ۴۳

جدول ۲-۴-تاثیر عناصر مختلف روی مقاومت فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی به ترک کلریدی ۴۴

جدول ۲-۵- نتایج تست SCC با نمونه‌های U شکل برای مدت ۵ سال در اتمسفری دریایی ۴۹.

جدول ۲-۶- سرعتهای کرنش اولیه برای ایجاد SCC در برخی سیستم‌ها ۵۴

جدول ۳-۱- نتایج آنالیز کوانتومتری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI 316 ..... ۶۴

جدول۴-۱- پتانسیل حفره‌دار شدن مربوط به نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده ۷۹

جدول۴-۲- درجه حساس شدن مربوط به نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده ۸۲

جدول۴-۳- درجه حساس شدن مربوط به نمونه‌های مختلف عملیات فرجینگ چند محوری شده ۱۰۵

فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره..... صفحه

شکل ۲-۱- نمودار فازی آهن- کروم ۷
شکل ۲-۲-نمودار فازی آهن-کروم در مقدارهای مختلف کربن) ٪۰/۰۵ ب) ٪۰/۱ ج) ٪۰/۲ د)٪۰/۴ ..... ۸
شکل ۲-۳-نمودار فازی Fe-18Cr-C شامل الف)Ni ٪۴ ب)Ni٪ ۹
شکل ۲-۴- اثر کربن بر ترکیبات موجود در فولاد زنگ‌نزن(Fe-18Cr-8Ni) ۱۲
شکل۲-۵- ساختار فولاد ۳۰۴ که به مدت ۵ دقیقه در ^{o}C ۱۰۶۵ تابکاری شده و در هوا سرد شده است. ساختار شامل دانه های هم محور آستنیت است ۱۳
شکل ۲-۶- خوردگی بین دانه‌ای در آلیاژ۳۰۴ در محلول جوشان نیتریک دی کرومات الف)بعد از ۴ ساعت ب)بعد از ۸ ساعت ۱۵
شکل ۲-۷- نمودار حلالیت کربن در آلیاژ Fe-18Cr-8Ni ۱۶
شکل ۲-۸- اتصالات زنجیره‌ای ترکیب شیمیایی و خواص در خانواده فولادهای زنگ‌نزن ۱۹
شکل ۲-۹- شماتیکی از زمان تا شکست بر حسب تابعی از تنش اعمالی ۲۳
شکل ۲-۱۰- شماتیکی از سه مرحله اصلی وقوع پدید SCC ۲۵
شکل ۲-۱۱- شماتیکی از جوانه‌زنی و رشد ترک توسط مدل لغزش-تجزیه ۲۶
شکل ۲-۱۲- شماتیکی از رشد ترک توسط مدل فیلم القایی در یک آلیاژ FCC ۲۷
شکل ۲-۱۳- نمونه هایی از سطوح شکست بدست آمده از آزمون کرنش کم(a) SCC بین دانه‌ای برنج α در محلول با SCC(b pH=7.2 بین دانه‌ای برنج α در محلول ۱۵ مولار آمونیاک مس دار ۲۸
شکل ۲-۱۴- الف) ترک روی سطح نمونه آهن خاص ۲۹
شکل ۲-۱۵- (الف) جنبه های جوانه زنی SCC توسط خوردگی موضعی a) آلیاژآلومینیم پیر شده ۸۰۹۰ در محیط نمک طعام به مدت ۷ روز b) آغاز SCC از حفره نشان داده شده

عنوان و شماره..... صفحه

در a. (ب) SCCدر آلیاژ Fe-3Ni-lMo درسود سوز آور که نشان از آغاز SCC توسط خوردگی بین‌دانه‌ای دارد..... ۳۰
شکل ۲-۱۶- وابستگی SCC در محلول کلرور منزیم جوشان به درصد نیکل ۳۱
شکل ۲-۱۷- ترکدار شدن دو آلیاژ فولادکربنی وCr-Mo بدلیل جدایش فسفر..... ۳۱
شکل ۲-۱۸- وابستگی KISCC و KIC به استحکام تسلیم فولاد ۴۳۴۰ تست شده در آب دریا ۳۳
شکل ۲-۱۹- (a) ترک خوردن فریت و توقف جزئی آن توسط آستنیت در یک فولاد زنگ‌نزن دوتایی (b)ترک خوردن یک فولاد مشابه در بخارات آب دریا و نشاندهنده عدم مقاومت آستنیت در شرایط اکسیداسیون..... ۳۳
شکل ۲-۲۰- هندسه ترک برای محاسبات افت پتانسیل و تمرکز غلظتی یون فلز در ترک..... ۳۵
شکل ۲-۲۱- منطقه‌بندی SCC نوع B بر حسب سرعت و پتانسیل ۳۶
شکل ۲-۲۲-نواحی خوردگی موضعی و SCC بدست آمده از آزمونهای پتانسیواستاتیک برای فولاد ۳۱۶L در محلول نمک طعام در ۸۰ درجه سانتی گراد..... ۳۶
شکل ۲-۲۳- تاثیر پتانسیل بر نرخ SCC در فولادهای استحکام بالا در آب دریا..... ۳۹
شکل ۲-۲۴- تاثیر عناصر آلیاژی مختلف روی مقاومت به SCC فولادهای زنگ‌نزن در محلولهای کلریدی..... ۴۰
شکل ۲-۲۵- تاثیر درصد نیکل روی حساسیت به SCC یک نوع فولاد زنگ نزن در محلول کلرور منیزیم جوشان ۴۱
شکل ۲-۲۶- تاثیر شدت تنش روی نرخ رشد ترک در فولاد زنگ‌نزن نوع ۳۰۴ در محلولهلی کلرید منیزیم و کلرید سدیم..... ۴۲
شکل ۲-۲۷- تاثیر عناصر نیکل و مولبیدن روی شدت تنش آستانه خوردگی تنشی آلیاژهای مختلف در محلول آبی ۲۲ درصد کلرید سدیم در ^{o}C ۱۰۵ الف)تاثیر نیکل ب) تاثیر مولیبدن. ۴۲
شکل ۲-۲۸- تاثیر کار سرد روی زمان ترک‌دار شدن فولاد زنگ‌نزن 18Cr-10Ni با مقدار فسفر کم (۰/۰۰۳ درصد) و فولاد های ۳۰۴ و۳۱۶ در محلول کلریدی منیزیم جوشان تحت تنش کششی MPa ۱۹۶ ..... ۴۴
شکل ۲-۲۹- تاثیر تنش اعمالی روی زمان شکست آلیاژهای مختلف تست شده در محلول کلرور منیزیم جوشان در ^{o}C ۱۵۴ ..... ۴۵
شکل ۲-۳۰- تاثیر تنش اعمالی روی زمان شکست آلیاژ ۳۰۴ که تحت عملیات آنیل انحلالی قرار گرفته و در محلول منیزیم جوشان در^{o}C ۱۵۴ تست شده است ۴۵

عنوان و شماره..... صفحه

شکل ۲-۳۱ تاثیر عملیات Shot Peening روی زمان شکست آلیاژی ۳۰۴ و ۳۰۷ در محلول کلرور منیزیم جوشان ۴۲ درصد ۴۶
شکل ۲-۳۲- شماتیکی از مشخصات ریز ساختاری در فولادهای زنگ‌نزن ۴۷
شکل ۲-۳۳- تاثیر درصد فریت روی تنش لازم برای القاء SCC کلریدی در فولادهای زنگ-نزن گوناگون ۴۷
شکل ۲-۳۴- تاثیر پیش کرنش روی زمان شکست فولاد ۳۱۰ ..... ۴۸
شکل ۲-۳۵- تاثیر دما روی سرعت SCC برای فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۵۰
شکل ۲-۳۶- تاثیر غلظت کلرید روی حساسیت SCC فولاد ۳۴۷ در کلرید سدیم محتوی اکسیژن در ۲۵۰ °C ۵۰
شکل ۲-۳۷- تاثیر تمرکز غلظت روی حساسیت به SCC فولاد ۳۰۴ ..... ۵۱
شکل ۲-۳۸- نمونه‌های مورد استفاده در آزمایشهای خوردگی تنشی ۵۲
شکل ۲-۳۹- انواع روش‌های فرجینگ با قالب باز ۵۷
شکل ۳-۱- الگوریتم مراحل انجام آزمایشات ۶۳
شکل ۳-۲- ابعاد نمونه کشش مورد استفاده در تست کشش با نرخ کرنش کم ۶۴
شکل ۳-۳- کوره عملیات حرارتی ۶۵
شکل۳-۴- شکل شماتیک از روش فرجینگ چند محوری ۶۶
شکل ۳-۵- دستگاه تست فشار ۶۶
شکل ۳-۶- نمایی از دستگاه تست کشش و نمونه در حال تست SCC ۶۷
شکل ۳-۷- دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۸
شکی ۳-۸- شمایی از دستگاه پراش پرتو ایکس ۷۰
شکل۳-۹- نمایی از سیستم الکتروشیمیایی مورد استفاده ۷۰
شکل ۳-۱۰- تصویر شماتیک از نحوه آرایش و اتصال سیستم الکتروشیمیایی ۷۱
شکل ۳-۱۱- مسیر اسکن پتانسیل هنگام تست DL-EPR ۷۳
شکل ۳-۱۲- نحوه انجام تست خوردگی استرایکر ۷۴
شکل۴-۱- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶ (الف) قبل از عملیات حرارتی (ب)۱ ساعت، (ج)۲ ساعت، (د)۳ ساعت عملیات حرارتی رشد دانه ۷۷
شکل ۴-۲- نتایج حاصل از آنالیز EDAX در مرز و داخل دانه ۷۷
شکل ۴-۳- نمودار پلاریزاسیون سیکلی برای نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده در دمای ۱۲۰۰ °C و حساس‌سازی شده در دمای ۷۰۰ °C ۷۸

عنوان و شماره..... صفحه

شکل ۴-۴- نمودار پلاریزاسیون سیکلی و مماس‌های رسم شده به منظور تعیین پتانسیل حفره‌دار شدن فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶ بعد از ۱ ساعت آنیل شدن در دمای C ° ۱۲۰۰ و حساس‌سازی در دمای C ° ۷۰۰..... ۷۹
شکل ۴-۵- نمودار DL-EPR برای نمونه عملیات حرارتی شده به مدت ۱ ساعت و نمونه اولیه بعد از حساس‌سازی..... ۸۰
شکل ۴-۶- نمودار DL-EPR برای نمونه عملیات حرارتی شده به مدت ۱و۲ ساعت بعد از حساس‌سازی..... ۸۱
شکل ۴-۷- نمودار DL-EPR و مسیری که نمودار حین آزمایش طی می‌کند..... ۸۱
شکل ۴-۸- سختی نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده در دمای C ° ۱۲۰۰ برای مدت ۲،۱و ۳ ساعت و نمونه اولیه..... ۸۳
شکل ۴-۹- نمودار تغییرات زمان شکست بر حسب تغییرات اندازه دانه و محلول..... ۸۴
شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات درصد ازدیاد طول بر حسب تغییرات اندازه دانه و محلول با نرخ کرنش $2\times10^{-5}S^{-1}$..... ۸۴
شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات حداکثر استحکام بر حسب تغییرات اندازه دانه و محلول با نرخ کرنش $2\times10^{-5}S^{-1}$..... ۸۵
شکل ۴-۱۲- نمودار تغییرات استحکام تسلیم بر حسب تغییرات اندازه دانه و محلول با نرخ کرنش $2\times10^{-5}S^{-1}$..... ۸۵
شکل ۴-۱۳- سطح شکست نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده پس از تست کشش با نرخ کرنش کم اسید کلریدریک. (الف) نمونه اولیه، (ب) نمونه ۱ ساعت عملیات حرارتی، (ج) نمونه ۲ ساعت عملیات حرارتی، (د) نمونه ۳ ساعت عملیات حرارتی..... ۸۸
شکل ۴-۱۴- سطح شکست نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی شده پس از تست کشش با نرخ کرنش کم در محیط اسید سولفوریک. (الف) نمونه اولیه، (ب) نمونه ۱ ساعت عملیات حرارتی، (ج) نمونه ۲ ساعت عملیات حرارتی، (د) نمونه ۳ ساعت عملیات حرارتی..... ۸۹
شکل ۴-۱۵- منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک مربوط به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶ با اندازه دانه مختلف در محلول اسید کلریدریک M ۰/۸۲ ..... ۹۱
شکل ۴-۱۶- منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک مربوط به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶ با اندازه دانه مختلف در محلول اسید کلریدریک M ۰/۸۲ و روش برون‌یابی تافل برای اندازه‌گیری سرعت خوردگی..... ۹۲
شکل ۴-۱۷- نتایج آنالیز شیب تافل با استفاده از نرم افزار GPES برای فولاد زنگ نزن آستنیتی با اندازه دانه مختلف در محیط اسیدکلریدریک M۰/۸۲ ..... ۹۳

عنوان و شماره..... صفحه

شکل ۴-۱۸- منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک مربوط به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶ با اندازه دانه مختلف در محلول اسید سولفوریک ۰/۸۲ M ۹۴

شکل ۴-۱۹- نتایج آنالیز شیب تافل با استفاده از نرم افزار GPES برای فولاد زنگ نزن آستنیتی با اندازه دانه مختلف در محیط اسیدسولفوریک ۰/۸۲M ۹۵

شکل ۴-۲۰- تنش سیلان ماده در پاس‌های مختلف عملیات فرجینگ چند محوری ۹۶

شکل ۴-۲۱- ساختار میکروسکوپ نوری از الف) نمونه آنیل و نمونه‌هایی که ، ب). ۱پاس، ج)۲پاس، د)۳پاس، ه)۷پاس، و)۱۵پاس تحت عملیات فرجینگ چند محوری قرار گرفته‌اند ۹۷

شکل ۴-۲۲- نمودار حاصل از پراش پرتو ایکس. (الف) نمونه ۷ پاس فرجینگ، (ب) نمونه ۱۵ پاس فرجینگ ۹۸

شکل ۴-۲۳- تغییرات $b^2Cos^2\theta$ بر حسب $Sin\ \theta$ در نمونه‌های ۷ و ۱۵ پاس فرجینگ چند محوری شده..... ۱۰۰

شکل ۴-۲۴- تقسیم دانه‌های اولیه آستنیتی به وسیله باندهای تغییر فرم ۱۰۱

شکل ۴-۲۵- مکانیزم ریز شدن دانه در عملیات فرجینگ چند محوری (الف) دانه اولیه، (ب) بعد از اولین پاس، (ج) بعد از پاس دوم با ۹۰ درجه چرخش نسبت به پاس اول، (د) دانه‌های ریز شده پس از پاس دوم..... ۱۰۱

شکل ۴-۲۶- نمودار پلاریزاسیون سیکلی برای نمونه‌های مختلف فرجینگ چند محوری حساس‌سازی شده در دمای ۹۷۳K ۱۰۲

شکل۴-۲۷- نمودار DL-EPR برای نمونه اولیه و نمونه عملیات حرارتی شده در دمای ۱۴۷۳K و حساس‌سازی شده در دمای ۹۷۳K به مدت ۱ ساعت ۱۰۴

شکل۴-۲۸- نمودار DL-EPR برای نمونه عملیات فرجینگ چند محوری شده پس از ۱ و ۳ پاس و حساس‌سازی شده در دمای ۹۷۳K به مدت ۱ ساعت ۱۰۴

شکل۴-۲۹- نمودار DL-EPR برای نمونه عملیات فرجینگ چند محوری شده پس از ۷ و ۱۵ پاس و حساس‌سازی شده در دمای ۹۷۳K به مدت ۱ ساعت..... ۱۰۵

شکل ۴-۳۰- رفتار درجه حساس شدن مربوط به نمونه‌های مختلف عملیات فرجینگ چند محوری شده..... ۱۰۶

شکل ۴-۳۱- سختی نمونه‌های مختلف عملیات فرجینگ شده ، شده و نمونه اولیه و سپس حساس سازی شده در دمای ۹۷۳K ۱۰۶

شکل ۴-۳۲- نمودار پلاریزاسیون سیکلی برای نمونه‌های فرجینگ چند محوری، عملیات حرارتی شده و اولیه ۱۰۷

عنوان و شماره..... صفحه

شکل ۴-۳۳- حفره‌های ایجاد شده در آزمایش پلاریزاسیون سیکلی در محیط کلرید سدیم 3.5wt%. (الف) یک ساعت عملیات حرارتی در دمای ۱۴۷۳K (ب) ۱۵ پاس عملیات فرجینگ چند محوری ۱۰۷

شکل ۴-۳۴- رفتار درجه حساس شدن مربوط به نمونه‌های مختلف عملیات حرارتی و عملیات فرجینگ چند محوری شده ۱۰۹

شکل ۴-۳۵- نتایج حاصل از تست استرایکر ۱۱۱

شکل ۴-۳۶- ساختار مرجع جهت مقایسه نتایج تست خوردگی استرایکر..... ۱۱۱

شکل۴-۳۷- نحوه پیوستگی کاربیدهای کروم و حائل سفید رنگ اطراف آن مربوط به نمونه اولیه در بزرگ نمایی ۲۰۰۰.(بوسیله میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۲

شکل ۴-۳۸- نحوه پیوستگی کاربیدهای کروم و حائل سفید رنگ اطراف آن مربوط به نمونه‌ای که ۱۵ پاس فرجینگ شده است در بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ (بوسیله میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۳

شکل ۴-۳۹- مناطق حساس شده در اثر رسوب کاربید کروم در نمونه‌ای که ۳ ساعت عملیات حرارتی شده بود. (بوسیله میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۳

شکل ۴-۳۹- مناطق حساس شده در اثر رسوب کاربید کروم در نمونه‌ای که ۱ ساعت عملیات حرارتی شده بود. (بوسیله میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۴

فصل اول

مقدمه

مقدمه

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی با ۱۸ درصد کروم و ۸ درصد نیکل به دلیل مقاومت در برابر خوردگی خوبی که در دماهای بالا دارند در شاخه‌های مختلف صنعت مورد توجه واقع شده‌اند. رسوب ترکیبات بین‌فلزی در مرزدانه‌ها بر روی مقاومت به خوردگی آنها تاثیر می‌گذارد[۳-۱]. چنانچه فولاد در حین سرویس یا جوشکاری در محدوده دمایی ^{o}C ۸۰۰-۵۰۰ قرار گیرد، کاربید غنی از کروم ($Cr_{23}C_6$) در مرزدانه‌ها شکل می‌گیرد ومناطق خالی از کروم در نزدیکی مرزدانه‌ها ایجاد می‌شود. فولادهای زنگ‌نزنی که مناطق خالی از کروم آنها دارای مقدار کروم کمتر از ۱۳-۱۲ درصد باشد، تحت عنوان فولاد حساس‌شده شناخته می‌شوند[۶-۴]. سرعت نفوذ کروم، شکل‌گیری کاربید کروم را تحت کنترل قرار می‌دهد و روی درجه حساس شدن (DOS) [۱] تاثیر می‌گذارد[۷]. درصد تغییر شکل و اندازه دانه تا ابعاد فوق ریز و نانو، از پارامترهایی هستند که بر روی حساس شدن [۷]، خوردگی حفره‌ای[۸] و خواص مکانیکی فولادهای زنگ‌نزن می‌تواند تاثیر گذار باشد[۱۱-۹]. تغییر شکل شدید پلاستیکی (SPD)[۲] یکی از روش‌های تولید مواد با دانه فوق‌ریز[۳] می‌باشد[۱۲و۱۰-۸]. SPD به وسیله روش‌های مختلف می‌تواند صورت گیرد، مثل روش اکستروژن هیدروستاتیک[۴][۸]، فشار زاویه‌ای با کانال‌های برابر[۵]، پیچش تحت فشار بالا[۶]، اتصال نوردی تجمّعی[۷] و فرجینگ چند محوری[۸][۹]. درجه حساس شدن به شدت بر روی رفتار SCC فولاد ۳۱۶ تاثیرگذار است. SCC برای اولین بار در نیمه دوم قرن نوزدهم در پوسته‌های برنجی فشنگ، که به صورت سرد شکل داده شده بودند ، مشاهده شد. سپس در پایان قرن، این مسئله در لوله‌های برنجی کندانسورهای مورد استفاده در نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریکی اهمیت خاصی پیدا کرد. در این هنگام پروفسور چندلر برای اولین بار بر نقش ضروری تنش کششی در

---

[1]- Degree of Sensitization
[2]- Severe Plastic Deformation
[3]- Ultra fine grain
[4]-Hydrostatic Extrusion
[5]-Equal Channel Angular Pressing
[6]-High Pressure Torsion
[7]-Accumulative Roll Bonding
[8]-Multi-axial Compression/Forging