



دانشکده مهندسی

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

**ساخت و بررسی مقاومت خوردگی قطعات ساخته شده
از پودرهای نانوساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی پر
نیتروژن در غلظت‌های مختلف یون کلر**

توسط:

مهدي مرآثي

استاد راهنما:

دکتر محمد جعفر هادیانفرد

شهریور ماه ۱۳۸۸

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

به نام خدا

اظہار نامہ

اینجانب مهدی مرانی (۸۵-۵۳۹) دانشجوی رشته ی مهندسی مواد گرایش خوردگی و حفاظت از مواد دانشکده ی مهندسی، اظہار می کنم کہ این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظہار می کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ام تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: مهدی مرانی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۷/۱۹



به نام خدا

ساخت و بررسی مقاومت خوردگی قطعات ساخته شده از پودرهای نانوساختار فولاد زنگ نزن
آستنییتی پر نیتروژن در غلظت های مختلف یون کلر

به وسیله ی:

مهدی مرائی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ
درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی مواد (گرایش خوردگی و حفاظت از مواد)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمد جعفر هادیانفرد، استاد بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته)
دکتر ابوالقاسم دهقان بنارکی، استاد یار بخش مهندسی مواد
دکتر عباسعلی نظر بلند، استاد یار بخش مهندسی مواد

شهریور ۱۳۸۸

سپاسگزاری

اکنون که به یاری حق این مهم به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم که از زحمات و حمایت‌های بی دریغ استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد جعفر هادیان فرد تشکر و قدردانی نمایم و زحمات اساتید مشاورم جناب آقایان دکتر ابوالقاسم دهقان بنازکی و دکتر عباسعلی نظریبلند را پاس دارم. به علاوه، از مسئولین محترم آزمایشگاه مهندسی مواد دانشگاه شیراز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

چکیده

ساخت و بررسی مقاومت خوردگی قطعات ساخته شده از پودرهای نانو ساختار فولاد زنگ نزن آستنیتی پر نیتروژن در غلظت‌های مختلف یون کلر

به کوشش

مهدی مرآئی

در این پژوهش تمایل به خوردگی نمونه های فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی نانو ساختار تولیدی جهت کاربرد مواد پزشکی مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله اول نمونه خام از پودرهای فولاد زنگ‌نزن نانو ساختار (Fe-18Cr-4Mn و 8Mn-Fe-18Cr) که توسط روش آلیاژسازی مکانیکی تهیه شده بود، تولید شده و پس از آن در دمای °C 1100 به مدت 20 ساعت تفجوشی شد. آزمایش‌ها و آنالیزهای مختلف جهت بررسی ساختار و ترکیب قطعات تولیدی انجام گرفت. نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که فولاد تولیدی کاملاً آستنیتی بوده و اندازه بلورها پس از تفجوشی همچنان در مقیاس نانومتری (در محدوده 80 تا 90 نانومتر) باقی‌مانده است. عامل اصلی نانو ساختار ماندن قطعات تولیدی به عدم رشد سریع بلورها به علت وجود درصد بالای نیتروژن و فاز آمورف در مرز بلورها نسبت داده شد. در مرحله دوم خواص خوردگی فولادهای تولیدی همراه با یک نمونه فولاد آستنیتی تجاری 316L در محلول‌هایی شامل درصدهای مختلف یون کلر توسط روش‌های الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌های خوردگی انجام گرفته نشان می‌دهد که خواص خوردگی تمامی نمونه‌های تولیدی بهتر از نمونه 316L بوده و نیز با افزایش درصد نیتروژن در ساختار فولاد، خواص خوردگی آن بهبود می‌یابد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۳	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده
۳	۱-۲- فولادهای زنگ نزن آستنیتی
۸	۱-۱-۲- فولاد زنگ نزن آستنیتی پر نیتروژن
۱۰	۲-۲- خوردگی
۱۱	۱-۲-۲- جنبه های الکتروشیمیایی خوردگی
۱۲	۲-۲-۲- خوردگی یکنواخت
۱۲	۳-۲-۲- خوردگی حفره ای
۱۴	۱-۳-۲-۲- شرایط شروع خوردگی حفره ای
۱۵	۲-۳-۲-۲- تاثیر متغیرهای متالورژیکی بر روی خوردگی حفره ای
۱۵	۳-۳-۲-۲- مکانیزم شروع خوردگی حفره ای
۱۶	۴-۳-۲-۲- مراحل حفره دار شدن
۱۸	۵-۳-۲-۲- فاکتورهای تأثیرگذار در خوردگی حفره ای
۱۸	۶-۳-۲-۲- تئوری های شکسته شدن لایه رویین در محیط
۱۹	(الف) تئوری نفوذ یون
۲۰	(ب) تئوری جذب سطحی
۲۰	(پ) تئوری شکسته شدن فیلم اکسیدی
۲۱	(ت) تئوری رویین شدن مجدد
۲۲	(ث) مدل عیب نقطه ای
۲۲	(ج) شکست لایه رویین در اثر وجود تنش در آن
۲۳	۷-۳-۲-۲- تاثیر نیتروژن بر خواص خوردگی
۲۴	۸-۳-۲-۲- تاثیر کلر بر خواص خوردگی
۲۵	۹-۳-۲-۲- تاثیر سایر آنیون ها بر خواص خوردگی

۲۶	۳-۲- مواد نانوساختار
۲۶	۱-۳-۲- خواص مواد نانوساختار
۲۷	۲-۳-۲- خواص خوردگی مواد نانوساختار
۲۸	۴-۲- آلیاژسازی مکانیکی
۲۸	۱-۴-۲- تولید مواد نانوساختار به روش آلیاژسازی مکانیکی
۳۰	۱-۴-۲-۱- مکانیزم شکل گیری نانوساختارها در حین آسیاکاری
۳۱	۲-۴-۲- عوامل تأثیرگذار بر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی
۳۲	فصل سوم: روش انجام کار
۳۲	۱-۳- مقدمه
۳۲	۲-۳- ساخت قطعه
۳۲	۱-۲-۳- مواد مورد استفاده
۳۳	۲-۲-۳- تولید پودر فولاد زنگ نزن آستنیتی پر نیتروژن
۳۵	۳-۲-۳- آزمایش های انجام گرفته بر روی پودرهای تولید شده
۳۵	۱-۳-۲-۳- آزمایش پراش پرتو ایکس
۳۵	۲-۳-۲-۳- آنالیز نیتروژن
۳۵	۳-۳-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی
۳۶	۴-۳-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی عبوری
۳۶	۴-۲-۳- فرآیند فشردن پودرها
۳۷	۵-۲-۳- سیکل فرآیند تفجوشی
۳۹	۶-۲-۳- نمونه ۳۱۶L
۳۹	۳-۳- آزمایش های خوردگی
۴۰	۱-۳-۳- محلول ها
۴۱	۲-۳-۳- خوردگی یکنواخت
۴۲	۳-۳-۳- خوردگی حفره ای
۴۳	فصل چهارم: نتایج و بحث
۴۳	۱-۴- ساخت قطعه
۴۳	۱-۱-۴- فرآیند آلیاژسازی مکانیکی
۴۳	۱-۱-۱-۴- اثر زمان آسیاکاری بر شکل و اندازه ذرات پودرهای تولیدی
۴۶	۲-۱-۱-۴- بررسی جذب نیتروژن توسط پودرها حین آسیاکاری
۴۸	۳-۱-۱-۴- آنالیز فازی پودرهای آسیاکاری شده
۵۰	۴-۱-۱-۴- بررسی ساختار پودر توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری
۵۱	۲-۱-۴- عملیات حرارتی آنیل برای دستیابی به ساختاری آستنیتی

۵۵	۳-۱-۴- بررسی رفتار تفجوشی پودرهای حاصل از آلیاژسازی مکانیکی
۵۸	۴-۱-۴- ریزساختار نمونه ۳۱۶L
۵۹	۲-۴- خواص خوردگی نمونه ها
۵۹	۱-۲-۴- نتایج
۵۹	۱-۱-۲-۴- نمونه ها بدون عملیات سطحی
۵۹	۱-۱-۲-۴- خوردگی یکنواخت
۶۸	۲-۱-۲-۴- خوردگی حفره ای
۷۳	۲-۱-۲-۴- نمونه ها با عملیات سطحی
۷۶	۳-۱-۲-۴- بررسی میکروسکوپی
۷۷	۲-۲-۴- بحث
۷۷	۱-۲-۲-۴- اندازه دانه
۷۸	۲-۲-۲-۴- تأثیر ترکیب شیمیایی
۷۹	۱-۲-۲-۲-۴- درصد نیتروژن
۸۰	۲-۲-۲-۲-۴- درصد منگنز
۸۱	۳-۲-۲-۴- درصد فاز آمورف
۸۲	۴-۲-۲-۴- تخلخل
۸۲	۵-۲-۲-۴- تأثیر عملیات سطحی (رویین کردن سطح نمونه ها)
۸۲	۶-۲-۲-۴- تأثیر غلظت یون کلر
۸۴	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۶	پیشنهادات
۸۷	فهرست منابع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن ثبت شده در ASTM برای کاربردهای پزشکی	۷
جدول ۱-۳- ترکیب شیمیایی نمونه ۳۱۶L	۳۹
جدول ۱-۴- درصد حجمی فازهای آستنیت و فریت در پودرهای آلیاژسازی شده ۸Mn-Fe-۱۸Cr برحسب زمان آسیاکاری	۴۹
جدول ۲-۴- اندازه بلورهای فازهای آستنیت و فریت در پودرهای آلیاژسازی شده ۸Mn-Fe-۱۸Cr برحسب زمان آسیاکاری	۵۰
جدول ۳-۴- اندازه بلورهای آستنیتی نمونه Fe-۱۸Cr-۴Mn بعد از عملیات آنیل، اندازه گیری شده به روش XRD.	۵۳
جدول ۴-۴- اندازه بلورهای آستنیت پس از تفجوشی در دمای 1100°C به مدت ۲۰ ساعت.	۵۷
جدول ۵-۴- مقدار نیتروژن آلیاژها قبل و بعد از عملیات تفجوشی.	۵۸
جدول ۶-۴- مقدار پتانسیل خوردگی آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN و Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در سه محلول ذکر شده	۶۷
جدول ۷-۴- مقدار دانسیته جریان خوردگی آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN و Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در سه محلول ذکر شده	۶۷
جدول ۸-۴- مقدار پتانسیل حفره دار شدن آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN و Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در سه محلول ذکر شده	۷۲
جدول ۹-۴- مقدار دانسیته جریان روپین شدن آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN و Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در سه محلول ذکر شده	۷۳

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۲- مقطعی از نمودار سه تایی Fe-Cr-Ni برای ۷۰ درصد وزنی آهن
۶	شکل ۲-۲- دیاگرام شفلر
۹	شکل ۳-۲- تاثیر فشار بر میزان جذب نیتروژن
۱۰	شکل ۴-۲- تاثیر دما و میزان کروم بر جذب نیتروژن
۱۴	شکل ۵-۲- نمایش شماتیکی حفره دار شدن به عنوان یک حالت میانی
۱۷	شکل ۶-۲- فرآیند خود محرکی در داخل یک حفره
۲۰	شکل ۷-۲- شکل شماتیک از تئوری نفوذ یون
۲۱	شکل ۸-۲- شکل شماتیک از تئوری روپین شدن مجدد
۲۳	شکل ۹-۲- شکل شماتیک از تئوری شکست لایه روپین در اثر وجود تنش در آن
۲۴	شکل ۱۰-۲- نموداری از تاثیر نیتروژن بر مقاومت به خوردگی حفرهای فولاد زنگ نزن
۲۴	شکل ۱۱-۲- تاثیر نیتروژن بر خواص خوردگی حفره ای در دماهای مختلف
۲۹	شکل ۱۲-۲- حداقل اندازه دانه قابل دستیابی در حین آسیاکاری بر حسب نقطه ذوب ماده
۳۰	شکل ۱۳-۲- نمایش شماتیکی ریز دانه شدن ساختار در طی آسیاکاری مکانیکی
۳۳	شکل ۱-۳- تصویر SEM پودر (۱ آهن ۲ کروم و ۳ منگنز استفاده شده
۳۴	شکل ۲-۳- آسیای گلوله ای لرزشی استفاده شده
۳۴	شکل ۳-۳- محفظه، گلوله ها و حجم نسبی پر شده محفظه توسط گلوله ها
۳۶	شکل ۴-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی
۳۶	شکل ۵-۳- قالب و سنبه استفاده شده به منظور فشردن پودرها
۳۷	شکل ۷-۳- نمونه ای از قطعات کیسوله شده به منظور جلوگیری از اکسید شدن در کوره
۳۸	شکل ۸-۳- کوره استفاده شده به منظور آنیل و تفجوشی نمونه ها
۳۸	شکل ۹-۳- نمونه ای از قطعات تفجوشی شده
۴۰	شکل ۱۰-۳- دستگاه پتانسیواستات-گالوانواستات

- شکل ۳-۱۱- نمونه آماده شده برای انجام آزمایش خوردگی
- شکل ۳-۱۲- شماتیک نمودارهای شاخه کاتدی و آندی و نحوه بدست آوردن پتانسیل و دانسیته جریان خوردگی
- شکل ۴-۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای آسیاکاری شده Fe-۱۸Cr-۴Mn
- به مدت زمان الف) ۱ ب) ۲ پ) ۲۴ ت) ۴۸ ث) ۷۲ ج) ۹۶ چ) ۱۲۰ ح) ۱۴۴ ساعت
- شکل ۴-۲- میزان نیتروژن جذب شده توسط پودرها برحسب زمان آسیاکاری
- شکل ۴-۳- الگوی XRD پودرهای Fe-۱۸Cr-۸Mn آسیاکاری شده به مدت ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت
- شکل ۴-۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری آلیاژ Fe-۱۸Cr-۸Mn آسیاکاری شده به مدت ۹۶ ساعت
- شکل ۴-۵- طیف XRD نمونه های Fe-۱۸Cr-۴Mn آسیاکاری شده به مدت زمان های ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت بعد از ۲ ساعت آنیل در دمای 1100°C
- شکل ۴-۶- دیاگرام سیستم Fe-Cr-N برای ۱۸ درصد وزنی کروم در محدوده دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد
- شکل ۴-۷- عکس میکروسکوپی از سطح نمونه تولید شده
- شکل ۴-۸- طیف XRD نمونه های Fe-۱۸Cr-۴Mn آسیاکاری شده به مدت زمان های ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از ۲۰ ساعت تفجوشی در دمای 1100°C و سرد شده در آب.
- شکل ۴-۹- ریزساختار نمونه ۳۱۶L
- شکل ۴-۱۰- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم
- شکل ۴-۱۱- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم
- شکل ۴-۱۲- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم)
- شکل ۴-۱۳- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم)
- شکل ۴-۱۴- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم
- شکل ۴-۱۵- نمودار ocp مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم

- شکل ۴-۱۶- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم ۶۴
- شکل ۴-۱۷- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم ۶۴
- شکل ۴-۱۸- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) ۶۵
- شکل ۴-۱۹- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) ۶۵
- شکل ۴-۲۰- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم ۶۶
- شکل ۴-۲۱- نمودار پلاریزاسیون خطی مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم ۶۶
- شکل ۴-۲۲- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم ۶۹
- شکل ۴-۲۳- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۰/۱ درصد کلرید سدیم ۷۰
- شکل ۴-۲۴- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) ۷۰
- شکل ۴-۲۵- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) ۷۱
- شکل ۴-۲۶- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم ۷۱
- شکل ۴-۲۷- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در زمان های آسیاکاری مختلف همراه با نمونه ۳۱۶L در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم ۷۲
- شکل ۴-۲۸- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-4Mn-xN در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) که قبل از آزمایش در محلول اسید نیتریک ۱۰٪ ۷۴
- شکل ۴-۲۹- نمودار پلاریزاسیون دینامیک مربوط به آلیاژهای Fe-18Cr-8Mn-xN در محلول رینگر (۰/۹ درصد کلرید سدیم) که قبل از آزمایش در محلول اسید نیتریک ۱۰٪ ۷۴

- شکل ۴-۳۰- نمودار پتانسیل های حفره دار شدن در محلول رینگر مربوط به نمونه ها با
۷۵ عملیات سطحی و بدون عملیات سطحی
- شکل ۴-۳۱- نمودار دانسیته جریان رویین شدن در محلول رینگر مربوط به نمونه ها با
۷۵ عملیات سطحی و بدون عملیات سطحی
- شکل ۴-۳۲- تصویر میکروسکوپ نوری از محل حفره ایجاد شده بر روی سطح نمونه
۷۶ Fe-18Cr-8Mn-1.72N بدون عملیات سطحی پس از آزمایش پلاریزاسیون دینامیک
- شکل ۴-۳۳- تصویر میکروسکوپ نوری از محل حفره ایجاد شده بر روی سطح نمونه
۷۶ Fe-18Cr-8Mn-1.72N با عملیات سطحی پس از تست پلاریزاسیون دینامیک
- شکل ۴-۳۴- تصویر میکروسکوپ نوری از محل حفره ایجاد شده بر روی سطح نمونه
۷۷ Fe-18Cr-8Mn-1.72N با عملیات سطحی پس از تست پلاریزاسیون دینامیک
- شکل ۴-۳۵- شکل شماتیک از مکانیزم لایه غنی از نیتروژن زیر لایه ی رویین
۸۰

فصل اول

مقدمه

فصل اول: مقدمه

جهت ترمیم اعضای سانحه دیده و یا بهبود کارآیی بعضی از اعضای بدن، کاشتنی‌ها در داخل بدن به کار رفته‌اند.

مهم‌ترین کاشتنی‌های فلزی که در بدن انسان بکار می‌روند عبارتند از:

۱- تیتانیوم خالص تجاری و آلیاژهای آن

۲- آلیاژهای پایه کبالت-کروم

۳- فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶L

نکاتی که باید در انتخاب ماده کاشتنی مناسب مدنظر قرار داد عبارتند از:

۱- مقاومت خوردگی بالا

۲- زیست‌سازگاری

۳- خواص مکانیکی مناسب مانند نزدیک بودن مدول یانگ به مدول یانگ استخوان،

استحکام، مقاومت به ضربه، مقاومت به سایش و ...

۴- چسبندگی به بافت بدن

۵- در دسترس بودن و قیمت پایین

در این میان فولاد ۳۱۶L دارای خواص مکانیکی مناسبی است و از لحاظ قیمت ارزان‌تر است.

در عوض خواص خوردگی پایین‌تری دارد و به دلیل دارا بودن درصد بالایی از عنصر نیکل، سبب ایجاد حساسیت و تورم در بدن می‌شود.

برای رفع مشکل حساسیت نیکل موجود در فولاد ۳۱۶L طی چند سال گذشته محققین سعی در جایگزین کردن عناصر دیگری بجای عنصر نیکل کرده‌اند.

فولادهای زنگ‌نزن اولین بار به منظور کاربردهای مقاومت به خوردگی تولید شدند. عامل اصلی مقاومت به خوردگی در این آلیاژها لایه روپین ایجاد شده بر روی سطح آنها می‌باشد. فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی به علت داشتن خواص مکانیکی مناسب، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون بالا، غیرمغناطیسی بودن و خواص جوشکاری مطلوب در محدوده وسیعی از کاربردها، قابل استفاده می‌باشند.

فولادهای زنگ‌نزن عموماً دارای عناصر آلیاژی اصلی Mo, Ni, Cr می‌باشند. عنصر آلیاژی کروم عامل اصلی ایجاد کننده لایه روپین و محافظت از خوردگی این آلیاژها می‌باشد ولی از پایداری فاز آستنیت جلوگیری می‌کند. از این رو عناصر آلیاژی دیگر برای پایداری فاز آستنیت به فولاد اضافه می‌گردد. نیکل، کبالت، کربن، منگنز و نیتروژن از جمله این عناصر آلیاژی هستند. نیکل متداول‌ترین عنصر آلیاژی است که برای پایداری فاز آستنیت بکار می‌رود. ولی از لحاظ قیمت، فلز گران قیمتی است و از جنبه پزشکی و بیومواد، این فلز عامل ایجاد حساسیت در بدن می‌شود. بنابراین طی سال‌های اخیر سعی در جایگزین کردن این عنصر آلیاژی با عناصر آلیاژی دیگر که هم ارزان‌تر باشد و هم خواص مکانیکی و خوردگی مناسبی به فولاد بدهد، شده است. به منظور حذف نیکل و جبران پایداری فاز آستنیت توسط آن، عناصر منگنز و نیتروژن به عنوان بهترین جایگزین تشخیص داده شده‌اند.

نیتروژن یک عنصر بسیار قوی در ایجاد فاز آستنیت بوده و مانع ایجاد فاز فریت می‌شود. این عنصر در پایداری سازی آستنیت نیز بسیار مؤثر بوده و از ایجاد مارتنزیت در اثر سریع سرد کردن از دمای انحلال محلولی جلوگیری می‌کند. به دلیل حلالیت کم این عنصر در ساختار کریستالی فولاد، استفاده از این عنصر به تنهایی جهت جایگزینی نیکل میسر نبوده و به همراه منگنز استفاده می‌گردد. در حضور منگنز حلالیت نیتروژن در فولاد به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

آلیاژسازی مکانیکی یک تکنیک نوین در ایجاد پودرهای آلیاژی نانوساختار می‌باشد. گروه‌های مختلف فولاد زنگ‌نزن را می‌توان توسط این روش (به صورت پودر) تهیه کرده و سپس توسط یکی از روشهای مناسب متالورژی پودر به قطعه تبدیل نمود. در صورتی که از گاز نیتروژن به عنوان اتمسفر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی استفاده شود، می‌توان پودرهای فولاد زنگ‌نزن پرنیتروژن را نیز تولید کرد.

در زمینه خوردگی در محیط بدن، یکی از مهم‌ترین عوامل بوجود آمدن خوردگی وجود یون کلر است. یون کلر در اکثر محیطها از جمله آب دریا، آب‌های صنعتی، محیط‌های صنعتی، کارخانجات تولید مواد شیمیایی، غذایی، دارویی و ... یافت می‌شود و سبب بوجود آمدن بسیاری از خوردگی‌ها و تخریب‌های ناشی از آن می‌شود.

در این تحقیق، فولادهای زنگ‌نزن Fe-Cr-4Mn-xN و Fe-Cr-8Mn-xN توسط فرآیند آلیاژسازی مکانیکی در زمان‌های ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت تحت اتمسفر گاز نیتروژن به صورت پودر تولید شدند و سپس توسط فشرده‌سازی و تفجوشی، از پودرهای تولیدی قطعه تهیه شد. خواص خوردگی یکنواخت و حفره‌ای فولادهای تولیدی در محلول‌هایی شامل درصدهای مختلف یون کلر از جمله محلول رینگر (محلول شبیه‌سازی محیط بدن) مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه‌ای بین قطعات تولیدی و یک نمونه تجاری ۳۱۶L، انجام شد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی^۱

در زمینه تاریخچه فولادهای زنگ‌نزن گفته شده است که در سال ۱۸۸۹ میلادی شخصی به نام ریلی^۲ کشف کرد که با اضافه کردن نیکل به فولاد کربن متوسط، استحکام کششی آن بهبود می‌یابد. در سال ۱۹۰۵ میلادی، پورتوین^۳ متوجه شده که در صورت افزودن بیشتر از ۹ درصد کروم به فولاد، فولاد در برابر خورده شدن در محلول‌های اسیدی مقاوم می‌شود. تا سال ۱۹۱۵ میلادی زمان لازم بود تا دانشمندان به توانند نتایج مثبت عملی را تأیید کنند. در نهایت به فولادهایی با درصد کروم بیشتر از ۱۲ درصد فولادهای زنگ‌نزن اطلاق شد [۱]. با تولید فولادهای زنگ‌نزن، به سرعت کاربردهای آنها در صنایع مختلف افزایش یافت. پس از آن با اضافه کردن عناصر آلیاژی مختلف همانند سیلیسیم، نیکل، مولیبدن، مس، وانادیوم، تنگستن و غیره با درصدهای متفاوت به فولاد، خواص مکانیکی و خوردگی متفاوتی بدست آمد. آلیاژهای Fe-Cr-Ni به دلیل دارا بودن درصد بالای ساختار آستنیتی، به فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ملقب شدند که مقاومت خوردگی خوبی در محیط‌های مختلف به خصوص محیط‌های اسیدی را دارا هستند.

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی، به واسطه استحکام و انعطاف‌پذیری مناسب، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون بالا، غیر مغناطیسی بودن، تافنس بالا و خواص جوشکاری مطلوب در رنج وسیعی از کاربردها قابل استفاده هستند [۲]. از جمله کاربردهای این فولادها در وسایل خانگی، دستگاه‌های برودتی، حمل‌ونقل، صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، نیروگاه‌ها، ساختمان و پل‌ها، محیط‌های دریایی و غیره هستند [۱]. برای هر کاربرد با توجه به نیاز آن باید پارامترهای متالورژیکی، ریزساختار، نوع و درصد عناصر آلیاژی مورد نیاز، خواص مکانیکی، خواص خوردگی و حتی جوش‌پذیری فولاد مورد بررسی قرار گرفته و فولاد آستنیتی مناسب انتخاب گردد.

¹ Austenitic Stainless Steels

² Riely

³ Portevin