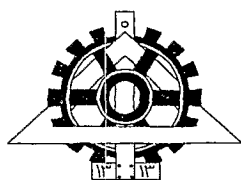


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده‌ی مهندسی متالورژی و مواد

عنوان

ایجاد پوشش‌های آلیاژی روی-نیکل از طریق فرایند آبکاری
الکتریکی با جریان مستقیم و پالس و مقایسه رفتار خوردگی آن‌ها

نگارش

الهام زرین‌نعل

اساتید راهنما

دکتر محمود حیدرزاده‌سهی

دکتر سعیدرضا ... کرم

استاد مشاور

دکتر سیدفرشید کاشانی‌بزرگ

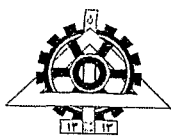
پایان نامه جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی متالورژی و مواد گزایش
شناسایی و انتخاب مواد فلزی

۱۳۸۷ / ۳ / ۲۸

اسفند ۱۳۸۶

۹۳۹۷۹


کتابخانه تخصصی مهندسی
متالورژی و مواد



تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **الهام زرین نعل** تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی این جانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: **الهام زرین نعل**

امضاء دانشجو: 

چکیده

پوشش‌های آلیاژی روی با گروه آهن (Co و Ni, Fe) به دلیل مقاومت به خوردگی بهترشان نسبت به پوشش روی خالص بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این میان آلیاژ روی-نیکل به دلیل مقاومت به خوردگی بسیار خوب، قیمت مناسب و امکان استفاده از تجهیزات پوشش دهی برای ایجاد پوشش روی-نیکل، در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و استفاده گسترده به خصوص در صنایع خودرو یافته است.

در این تحقیق ایجاد پوشش روی-نیکل از حمام قلیایی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا به مقایسه خواص پوشش‌های حاصل از جریان مستقیم و منقطع پرداخته شد و سپس تأثیر پارامترهای مختلف آبکاری با جریان پالس بر روی ترکیب شیمیایی، مورفولوژی و خواص خوردگی پوشش بررسی شد.

مورفولوژی پوشش به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آزمایش EDAX بررسی شد. تغییرات ضخامت نیز با تغییر پارامترهای مختلف آبکاری اندازه‌گیری شد. به روش پلاریزاسیون تافل سرعت خوردگی پوشش حاصل از جریان منقطع و مستقیم و همچنین روی خالص مقایسه شد. همچنین تأثیر پارامترهای متفاوت آبکاری بر مقاومت خوردگی پوشش بررسی گردید. آزمون پتانسیل مدار باز نیز برای بررسی مقاومت به خوردگی پوشش انجام شد.

نتایج نشان می‌دهند که حمام بهینه با مقادیر $13/2$ گرم در لیتر اکسید روی، $6/77$ گرم در لیتر سولفات نیکل، 150 گرم در لیتر هیدروکسید سدیم و $6/42$ گرم در لیتر عامل کمپلکس ساز دی اتیلن پنتامین با $pH=14$ و دمای محیط و چگالی جریان 10 تا 55 میلی آمپر بر سانتی‌متر مربع برای ایجاد پوشش با مقدار نیکل حداکثر 15 درصد وزنی مناسب است.

سیستم آبکاری در این حمام باقاعده است. استفاده از جریان پالس موجب افزایش درصد نیکل پوشش و همچنین ساختار دانه ریزتر و یکنواخت و مورفولوژی کروی شکل در پوشش نسبت به جریان مستقیم می‌شود.

در آبکاری با جریان پالس افزایش دانسیته جریان در فرکانس و زمان روشن ثابت موجب کاهش درصد نیکل و افزایش ضخامت پوشش می‌شود. همچنین در یک جریان اعمالی ثابت با

کاهش درصد زمان روشن، درصد نیکل پوشش افزایش و ضخامت پوشش کاهش می‌یابد. افزایش فرکانس موجب کاهش ضخامت پوشش و افزایش زمان آبکاری تأثیری بر ترکیب پوشش ندارد. اندازه ذرات پوشش با تغییر پارامترهای مختلف آبکاری پالس تغییر می‌نماید. افزایش دانسیته جریان، درصد زمان روشن و زمان آبکاری موجب تشکیل پوشش دانه درشت‌تر می‌شود و افزایش فرکانس موجب ریزش شدن ساختار می‌گردد.

نتایج آزمایش‌های خوردگی نشان می‌دهند که پوشش آلیاژی روی-نیکل دارای سرعت خوردگی کندتری نسبت به پوشش روی است. استفاده از جریان پالس موجب بهبود خواص خوردگی نسبت به پوشش حاصل از جریان مستقیم می‌شود.

کاهش دانسیته جریان، کاهش زمان آبکاری، افزایش درصد زمان روشن و فرکانس، موجب بهبود مقاومت به خوردگی پوشش می‌شود.

حمد و سپاس فراوان به درگاه ایزد متعال که کلمات عشقش در ذرات عالم جاریست.
در ابتدا لازم می دانم که از زحمات بیدریغ استادان گرانقدر جناب آقایان دکتر محمود
حیدرزاده سهی و دکتر سعیدرضا الله کرم که در انجام این تحقیق همواره از راهنمایی های
ارزشمندشان بهره مند بوده ام، تشکر نمایم.
همچنین از استاد محترم، جناب آقای دکتر سید فرشید کاشانی بزرگ که مسئولیت
مشاوره این تحقیق را بر عهده داشته اند، قدردانی می نمایم. از استاد گرامی جناب آقای
دکتر عطایی سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی متالورژی و مواد نیز
کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

۱	فصل اول - مقدمه
۲	۱- مقدمه
۴	فصل دوم - مروری بر منابع مطالعاتی
۵	۱-۲- اهمیت پوشش دادن
۵	۲-۲- انواع روش‌های پوشش دادن
۵	۳-۲- آبکاری الکتریکی
۸	۲-۳-۱- مراحل آبکاری الکتریکی
۸	۲-۳-۲- انواع آبکاری الکتریکی
۹	۲-۳-۱-۲- آبکاری پالسی
۱۰	۲-۳-۱-۱- خصوصیات آبکاری پالسی
۱۰	الف- توزیع یکسان فلز
۱۱	ب- افزایش چگالی
۱۱	ج- بهبود مقاومت به خوردگی
۱۲	د- بهبود مقاومت به سایش
۱۲	ه- قیمت فرآیند
۱۴	۲-۴- آبکاری آلیاژی
۱۵	۲-۴-۱- اهداف آلیاژ سازی به روش آبکاری
۱۵	۲-۴-۲- اصول آبکاری آلیاژی
۲۰	۲-۴-۱-۲- روش‌های مختلف نزدیک نمودن پتانسیل دو فلز
۲۰	۲-۴-۲- تغییر غلظت یون‌های فلز در محلول‌های ساده نمکی
۲۱	۲-۴-۳- استفاده از مواد کمپلکس کننده
۲۱	۲-۴-۴- استفاده از جریان حد
۲۱	۲-۴-۵- استفاده از پتانسیل اضافی غیر مساوی
۲۲	۲-۴-۶- استفاده از مواد افزودنی
۲۲	۲-۴-۳- انواع سیستم‌های آبکاری آلیاژی
۲۲	۲-۴-۱-۳- ترسیب منظم
۲۳	۲-۴-۲-۳- ترسیب نامنظم
۲۳	۲-۴-۳-۳- ترسیب تعادلی
۲۳	۲-۴-۳-۴- ترسیب آنامولوس
۲۴	۲-۴-۳-۵- ترسیب القایی
۲۴	۲-۴-۴- تاثیر عوامل مختلف بر خواص پوشش‌های آلیاژی
۲۴	۲-۴-۴-۱- دانسیته جریان
۲۵	۲-۴-۴-۲- غلظت محلول (درصد یون‌ها در وان)
۲۵	۲-۴-۴-۳- هم زدن محلول در حین آبکاری

۲۶	..... ۲-۴-۴-۴-درجه حرارت
۲۷	..... ۲-۴-۵-پوشش‌های آلیاژی روی
۳۰	..... ۲-۴-۵-۱-پوشش آلیاژی روی- آهن
۳۱	..... ۲-۴-۵-۱-۱-ویژگی‌ها
۳۱	..... ۲-۴-۵-۲-پوشش روی-کبالت
۳۲	..... ۲-۴-۵-۳-پوشش روی-نیکل
۳۲	..... ۲-۴-۵-۳-۱-تاریخچه
۳۴	..... ۲-۴-۵-۳-۲-حمام‌های آبکاری روی-نیکل
۳۶	..... ۲-۴-۵-۳-۳-مکانیزم ترسیب پوشش روی-نیکل
۳۷	..... ۲-۴-۵-۳-۴-اثر متغیرهای آبکاری بر روی فرایند ایجاد پوشش روی-نیکل
۳۷	..... الف- چگالی جریان
۴۰	..... ب- اثر نسبت یونهای روی و نیکل در حمام
۴۱	..... ج- اثر دما
۴۲	..... د- اثر تغییرات pH
۴۳	..... ه- اثر هم زدن محلول
۴۳	..... و- اثر زمان
۴۵	..... ز- اثر زمان روشن (t_{on})
۴۶	..... ح- فرکانس
۴۷	..... ۲-۴-۵-۳-۵-ساختار پوشش آلیاژی روی-نیکل
۴۹	..... ۲-۴-۵-۳-۶-مورفولوژی و رشد پوشش
۵۱	..... ۲-۴-۵-۳-۷-مقاومت به خوردگی پوشش روی-نیکل
۵۲	..... ۲-۴-۵-۳-۸-کروماته کردن پوشش روی-نیکل
۵۲	..... ۲-۴-۵-۳-۹-آزمون پاشش نمک
۵۵	..... ۲-۴-۵-۳-۱۰-مقاومت خوردگی اتمسفری
۵۵	..... ۲-۴-۵-۳-۱۱-آزمون‌های پلاریزاسیون و غوطه‌وری
۵۷	..... ۲-۴-۵-۳-۱۲-آزمون OCP
۵۸	..... ۲-۴-۵-۳-۱۳-آبکاری پالسی در حمام‌های آبکاری روی-نیکل
۶۰	..... فصل سوم- روش تحقیق
۶۱	..... ۳-۱-مراحل انجام کار
۶۱	..... ۳-۲-حمام آبکاری
۶۲	..... ۳-۳-آند و کاتد مصرفی
۶۲	..... ۳-۳-۱-نمونه سازی و مراحل آماده سازی آن
۶۳	..... ۳-۴-سل آبکاری
۶۳	..... ۳-۵-فرایند پوشش دهی پالسی و مستقیم
۶۳	..... ۳-۵-۱-آبکاری پالسی

۶۳	..... ۳-۵-۲- آبکاری مستقیم
۶۴	..... ۳-۶-۶- بررسی اثر پارامترهای آبکاری بر خصوصیات پوشش
۶۴	..... ۳-۶-۱- بررسی اثر دانسیته جریان و درصد زمان روشن
۶۶	..... ۳-۶-۲- آزمون های انجام شده
۶۷	..... ۳-۶-۱-۲- بررسی خواص ظاهری
۶۷	..... ۳-۶-۲-۲- بررسی مورفولوژی ساختاری پوشش
۶۷	..... ۳-۶-۲-۳- آنالیز کمی پوشش ها
۶۷	..... ۳-۶-۲-۴- بررسی فازی
۶۷	..... ۳-۶-۲-۵- تعیین ضخامت پوشش
۶۸	..... ۳-۶-۲-۶- بررسی رفتار خوردگی
۶۸	..... ۳-۶-۲-۱- آزمون خوردگی
۶۹	..... ۳-۶-۳- بررسی اثر فرکانس و زمان آبکاری
۷۱	..... فصل چهارم - نتایج و بحث
۷۲	..... ۴-۱- مقایسه پوشش های به دست آمده توسط جریان مستقیم و پالس
۷۵	..... ۴-۲- آبکاری پالسی
۷۵	..... ۴-۱-۲- نتایج XRD
۷۶	..... ۴-۲-۲- مکانیزم ترسیب پوشش
۷۷	..... ۴-۲-۳- نتایج حاصل از تغییر پارامترهای آبکاری بر ترکیب پوشش
۷۷	..... ۴-۲-۱-۳- تاثیر دانسیته جریان بر ترکیب پوشش
۸۰	..... ۴-۲-۳-۲- اثر طول مدت زمان روشن (دوره کار) بر ترکیب پوشش
۸۲	..... ۴-۲-۳-۳- اثر فرکانس بر ترکیب شیمیایی پوشش
۸۴	..... ۴-۲-۳-۴- اثر زمان آبکاری بر ترکیب شیمیایی پوشش
۸۶	..... ۴-۲-۴- نتایج حاصل از تغییر پارامترهای آبکاری بر ضخامت پوشش
۸۶	..... ۴-۲-۱-۴- تاثیر دانسیته جریان بر ضخامت پوشش
۸۸	..... ۴-۲-۴-۲- اثر طول مدت زمان روشن (دوره کار) بر ضخامت پوشش
۸۹	..... ۴-۲-۴-۳- اثر فرکانس بر ضخامت پوشش
۹۰	..... ۴-۲-۴-۴- اثر زمان آبکاری بر ضخامت پوشش
۹۱	..... ۴-۲-۵- نتایج حاصل از تغییر پارامترهای آبکاری بر مورفولوژی پوشش
۹۱	..... ۴-۲-۱-۵- تاثیر دانسیته جریان بر مورفولوژی پوشش
۹۴	..... ۴-۲-۵-۲- اثر طول مدت زمان روشن (دوره کار) بر مورفولوژی پوشش
۹۷	..... ۴-۲-۵-۳- اثر فرکانس بر مورفولوژی پوشش
۹۹	..... ۴-۲-۵-۴- اثر زمان آبکاری بر مورفولوژی پوشش
۱۰۱	..... ۴-۲-۶- نتایج حاصل از آزمون خوردگی
۱۰۱	..... ۴-۲-۱-۶- آزمون پلاریزاسیون Tafel

۱-۱-۶-۲-۴	مقایسه مقاومت به خوردگی پوشش حاصل از جریان مستقیم و پالس و پوشش
۱۰۱	روی خالص
۱-۱-۶-۲-۴	بررسی عوامل آبکاری بر مقاومت به خوردگی
۱۰۴	الف) اثر دانسیته جریان بر مقاومت به خوردگی
۱۰۹	ب- اثر فرکانس بر مقاومت به خوردگی پوشش
۱۱۰	ج- اثر زمان آبکاری بر مقاومت به خوردگی پوشش
۱۱۲	د- اثر زمان روشن بر مقاومت به خوردگی پوشش
۱۱۳	۲-۶-۲-۴-۴: آزمون OCP
۱۱۵	فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادها
۱۱۶	۱-۵- نتیجه گیری
۱۱۷	۲-۵- پیشنهادها
۱۱۸	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- مقایسه‌ی توزیع جرم در آبکاری با استفاده از جریان مستقیم و پالسی ۱۱
- شکل ۲-۲- مقایسه پتانسیل و شدت جریان احیای یون دو فلز در مجاورت یکدیگر ۱۶
- شکل ۳-۲- روابط بین پتانسیل کاتدی و شدت جریان برای دو فلز مس و روی ۱۹
- شکل ۴-۲- تاثیر دانسیته جریان بر درصد نیکل آلیاژ برای دو نسبت متفاوت Ni/Zn در حمام آبکاری ۳۷
- شکل ۵-۲- تاثیر دانسیته جریان بر بازده جریان برای دو نسبت متفاوت Ni/Zn در حمام آبکاری ۳۸
- شکل ۶-۲- تاثیر دانسیته جریان بر درصد نیکل آلیاژ ۳۸
- شکل ۷-۲- تاثیر دانسیته جریان بر ضخامت آلیاژ ۳۸
- شکل ۸-۲- تاثیر دانسیته جریان بر سختی آلیاژ ۳۹
- شکل ۹-۲- تاثیر دانسیته جریان بر درصد نیکل آلیاژ ۴۰
- شکل ۱۰-۲- تاثیر دما بر درصد نیکل آلیاژ ۴۱
- شکل ۱۱-۲- تاثیر دما بر درصد سختی آلیاژ ۴۲
- شکل ۱۲-۲- تاثیر زمان بر درصد نیکل آلیاژ ۴۴
- شکل ۱۳-۲- تاثیر زمان بر درصد ضخامت آلیاژ ۴۴
- شکل ۱۴-۲- تاثیر زمان بر درصد نیکل آلیاژ ۴۴
- شکل ۱۵-۲- نمودار تاثیر زمان روشن بر ضخامت ۴۵
- شکل ۱۶-۲- نمودار تاثیر زمان روشن بر ضخامت ۴۶
- شکل ۱۷-۲- نمودار تاثیر زمان روشن بر سختی ۴۶
- شکل ۱۸-۲- نمودار تاثیر فرکانس بر ضخامت ۴۶
- شکل ۱۹-۲- نمودار تاثیر فرکانس بر درصد نیکل ۴۷
- شکل ۲۰-۲- نمودار فازی آلیاژ روی - نیکل ۴۸
- شکل ۲۱-۲- مورفولوژی پوشش آلیاژی Zn-14%Ni ۴۹
- شکل ۲۲-۲- تصویر SEM رسوب Zn - Ni حاصل از پتانسیل (a) ۷۵۰ mV، (b) -۸۵۰ mV (c) ۹۵۰ mV - (d) ۱۰۸۰ mV ۵۰
- شکل ۲۳-۲- تصویر SEM آلیاژ روی-نیکل پس از آزمون پاشش نمک (a) پس از ۷۲ ساعت، (b) پس از ۱۴۴ ساعت و (c) پس از ۲۰۰ ساعت. (A) ذرات خورده نشده و (B) قسمت‌های خورده شده ۵۳
- شکل ۲۴-۲- نمودار تاثیر زمان بر گسترش ناحیه شامل زنگ سفید ۵۴
- شکل ۲۵-۲- تصویر سطحی آلیاژ روی-نیکل به دست آمده از حمام اسیدی (a) قبل و (b) پس از ۴۸ ساعت غوطه وری در محلول خورنده ۵۶
- شکل ۲۶-۲- تصویر سطحی آلیاژ روی-نیکل به دست آمده از حمام قلیایی (a) قبل و (b) پس از ۴۸ ساعت غوطه وری در محلول خورنده ۵۷
- شکل ۳-۱- پیل سه الکترودی مورد استفاده در بررسی های خوردگی ۶۹
- شکل ۴-۱- تصاویر SEM پوشش آلیاژی روی-نیکل حاصل از: (a) و (b) نمونه‌های I و II جریان مستقیم، (c) و (d) نمونه‌های ۲۴ و ۲۷ جریان پالس ۷۴
- شکل ۴-۲- ساختار گل کلم شکل حاصل از جریان پالس با دانسیته جریان ۳۰ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و درصد زمان روشن ۸۰٪ و فرکانس یک هرتز ۷۵

- شکل ۴-۳- نمودار حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس از پوشش روی-نیکل به دست آمده از آبکاری پالسی نمونه شماره ۱۶..... ۷۶
- شکل ۴-۴- نمودار تغییرات درصد نیکل موجود در پوشش بر حسب جریان در زمان روشن (a) 0.90% ، (b) 0.80% (c) 0.70% ، (d) 0.60% ، (e) 0.50% و (f) 0.40% ۸۰
- شکل ۴-۵- نمودار تغییرات درصد نیکل پوشش بر حسب درصد زمان روشن (دوره کار) در دانسیته جریان (a) $37/5$ و (b) 50 میلی آمپر بر سانتی متر مربع..... ۸۲
- شکل ۴-۶- نمودار تغییرات درصد نیکل پوشش بر حسب فرکانس در (a) دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 0.60% (b) دانسیته جریان $12/5$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 0.80% ۸۴
- شکل ۴-۷- نمودار تغییرات درصد نیکل پوشش بر حسب زمان آبکاری (a) در دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 0.60% (b) در دانسیته جریان $12/5$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 0.80% ۸۶
- شکل ۴-۸- نمودار تغییرات ضخامت پوشش بر حسب جریان در زمان روشن (a) 0.90% ، (b) 0.80% (c) 0.70% (d) 0.60% (e) 0.50% و (f) 0.40% ۸۷
- شکل ۴-۹- نمودار تغییرات ضخامت پوشش بر حسب درصد زمان روشن (دوره کار) در دانسیته جریان (a) 50 و (b) $37/5$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع..... ۸۸
- شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات ضخامت پوشش بر حسب فرکانس در (a) دانسیته جریان $12/5$ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان روشن 0.80% (b) دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان روشن 0.60% ۸۹
- شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات ضخامت پوشش بر حسب زمان آبکاری در (a) دانسیته جریان $12/5$ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان روشن 0.80% و (b) دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان روشن 0.60% ۹۰
- شکل ۴-۱۲- تاثیر دانسیته جریان بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با زمان روشن 0.90% و دانسیته جریان (a) 15 ، (b) 20 ، (c) 30 و (d) $37/5$ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع..... ۹۱
- شکل ۴-۱۳- تاثیر دانسیته جریان بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با زمان روشن 0.60% و دانسیته جریان (a) 15 ، (b) 20 ، (c) 30 و (d) $37/5$ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع..... ۹۲
- شکل ۴-۱۴- تاثیر دانسته جریان بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با زمان روشن 0.80% و دانسیته جریان (a) $7/5$ ، (b) 20 ، (c) 25 و (d) $37/5$ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع..... ۹۳
- شکل ۴-۱۵- تاثیر درصد زمان روشن بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و درصد زمان روشن (a) 40% ، (b) 50% ، (c) 60% (d) 70% (e) 80% و (f) 90% درصد..... ۹۵
- شکل ۴-۱۶- تاثیر درصد زمان روشن بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با دانسیته جریان $37/5$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و درصد زمان روشن (a) 40% ، (b) 50% ، (c) 60% (d) 70% (e) 80% و (f) 90% درصد..... ۹۶
- شکل ۴-۱۷- تاثیر فرکانس بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با دانسیته جریان 50 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 60% درصد و فرکانس (a) 10 ، (b) 100 ، (c) 200 و (d) 300 ۹۷
- شکل ۴-۱۸- تاثیر فرکانس بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با دانسیته جریان 37.5 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 80% درصد و فرکانس (a) 10 ، (b) 100 ، (c) 200 ، (d) 300 (e) 400 و (f) 500 هرتز..... ۹۸
- شکل ۴-۱۹- تاثیر زمان بر مورفولوژی پوشش روی-نیکل با دانسیته جریان 12 میلی آمپر بر سانتی متر مربع و زمان روشن 80% درصد و زمان (a) 10 ، (b) 20 ، (c) 30 (d) 40 و (e) 50 دقیقه..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۰- منحنی پلاریزاسیون پوشش حاصل از جریان مستقیم، پالس و پوشش روی خالص..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱- مقایسه منحنی های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش دانسیته جریان در زمان روشن 0.80% ۱۰۵
- شکل ۴-۲۲- مقایسه منحنی های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش دانسیته جریان در زمان روشن 0.70% ۱۰۶

- شکل ۴-۲۳- مقایسه منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش دانسیته جریان در زمان روشن ۶۰٪
 ۱۰۷.....
- شکل ۴-۲۴- مقایسه منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش دانسیته جریان در زمان روشن ۵۰٪
 ۱۰۹.....
- شکل ۴-۲۵- مقایسه منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش فرکانس در زمان روشن ۶۰٪ و دانسیته
 جریان ۵۰ میلی آمپر بر سانتی متر مربع ۱۱۰.....
- شکل ۴-۲۶- مقایسه منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش زمان آبرکاری در زمان روشن ۶۰٪ و
 دانسیته جریان ۵۰ میلی آمپر بر سانتی متر مربع ۱۱۱.....
- شکل ۴-۲۷- مقایسه منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش روی-نیکل با افزایش زمان روشن حاصل از جریان
 ۲/۵mA/cm² ۱۱۳.....
- شکل ۴-۲۸- نمودارهای پتانسیل خوردگی بر حسب زمان برای نمونه‌های (a) ۹، (b) ۲۲، (c) ۳۰ و (d) ۳۴ ۱۱۴.....

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۴- مقایسه خوردگی آلیاژهای مختلف روی	۵۴
جدول ۳-۱- حمام قلیایی	۶۲
جدول ۳-۲- نحوه نام گذاری نمونه‌های حاصل از آبکاری با جریان پالس با زمان آبکاری ۲۰ دقیقه و فرکانس ۱ هرتز برای زمان روشن ۹۰-۷۰ درصد	۶۵
جدول ۳-۳- نحوه نام گذاری نمونه‌های حاصل از آبکاری با جریان پالس با زمان آبکاری ۲۰ دقیقه و فرکانس ۱ هرتز برای زمان روشن ۶۰-۴۰ درصد	۶۶
جدول ۳-۴- نحوه نام گذاری نمونه‌های مورد استفاده در آزمون خوردگی حاصل از آبکاری با جریان پالس با زمان آبکاری ۲۰ دقیقه و دانسیته جریان 50 mA/cm^2 و زمان روشن ۶۰٪	۷۰
جدول ۳-۵- نحوه نام گذاری نمونه‌های مورد استفاده در آزمون خوردگی حاصل از آبکاری با جریان پالس با فرکانس ۱ هرتز و دانسیته جریان 50 mA/cm^2 و زمان روشن ۶۰٪	۷۰
جدول ۳-۶- نحوه نام گذاری نمونه‌های مورد استفاده در آزمون خوردگی حاصل از آبکاری با جریان پالس با فرکانس ۱ هرتز و دانسیته جریان 50 mA/cm^2 و زمان آبکاری ۲۰ دقیقه	۷۰
جدول ۴-۱- مقایسه درصد نیکل موجود در پوشش حاصل از جریان پالس و مستقیم حاصل از دانسیته جریان میانگین 30 mA/cm^2 و زمان آبکاری ۲۰ دقیقه	۷۲
جدول ۴-۲- مقایسه درصد نیکل موجود در پوشش حاصل از جریان پالس و مستقیم حاصل از دانسیته جریان میانگین 20 mA/cm^2 و زمان آبکاری ۲۰ دقیقه	۷۳
جدول ۴-۳- مقایسه درصد نیکل موجود در پوشش حاصل از جریان پالس و مستقیم حاصل از دانسیته جریان میانگین 15 mA/cm^2 و زمان آبکاری ۲۰ دقیقه	۷۳
جدول ۴-۴- اثر دانسیته جریان بر درصد نیکل و ضخامت پوشش	۷۷
جدول ۴-۵- تاثیر درصد زمان روشن (دوره کار) بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان $37/5 \text{ mA/cm}^2$	۸۱
جدول ۴-۶- تاثیر درصد زمان روشن (دوره کار) بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان 50 mA/cm^2	۸۱
جدول ۴-۷- تاثیر فرکانس بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان $12/5$ میلی آمپر برسانتی متر مربع و زمان روشن ۸۰ درصد	۸۳
جدول ۴-۸- تاثیر فرکانس بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان 50 میلی آمپر برسانتی متر مربع و زمان روشن ۶۰ درصد	۸۳
جدول ۴-۹- تاثیر زمان آبکاری بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان 12.5 میلی آمپر برسانتی متر مربع و زمان روشن ۸۰ درصد	۸۵
جدول ۴-۱۰- تاثیر زمان آبکاری بر ضخامت و درصد نیکل پوشش حاصل از دانسیته جریان 50 میلی آمپر برسانتی متر مربع و زمان روشن ۶۰ درصد	۸۵
جدول ۴-۱۱- نتایج عددی حاصل از آزمایش پلاریزاسیون	۱۰۱
جدول ۴-۱۲- تاثیر دانسیته جریان آبکاری بر مقاومت به خوردگی پوشش	۱۰۴
جدول ۴-۱۳- تاثیر دانسیته جریان بر مقاومت به خوردگی پوشش حاصل از زمان روشن ۷۰٪	۱۰۵
جدول ۴-۱۴- تاثیر دانسیته جریان بر مقاومت خوردگی پوشش حاصل از زمان روشن ۶۰٪	۱۰۶
جدول ۴-۱۵- تاثیر دانسیته جریان بر مقاومت خوردگی پوشش حاصل از زمان روشن ۵۰٪	۱۰۸

جدول ۴-۱۶- تأثیر فرکانس بر مقاومت به خوردگی پوشش ۱۰۹

جدول ۴-۱۷- نتایج حاصل از بررسی اثر زمان بر روی پوشش حاصل از جریان ۵۰ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان روشن ۶۰٪ ۱۱۰

جدول ۴-۱۸- نتایج حاصل از بررسی اثر زمان روشن بر مقاومت به خوردگی پوشش حاصل از دانسیته جریان $12/5 \text{ mA/cm}^2$ ۱۱۲

فصل اول

مقدمه

1- مقدمه

فولادها عموماً در معرض رطوبت هوا سریعاً دچار خوردگی می‌شوند. نظر به این‌که بیشتر قطعات از فولاد ساخته می‌شوند جلوگیری از خوردگی آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. جهت ایجاد مقاومت در مقابل خوردگی در بسیاری از موارد از پوشش روی برای فولاد استفاده می‌شود. پوشش فلز روی بر خلاف فولاد دارای خوردگی یکنواخت است و نرخ خوردگی آن پایین‌تر از فولاد است. در ضمن در مناطقی که به عللی فلز پایه در معرض محیط خورنده قرار گرفته باشد آن را به طور فدا شونده حفاظت کاتدی می‌کند.

پوشش روی به روش‌های مختلف بر روی فولاد اعمال می‌شود که یکی از این روش‌ها آبکاری الکتریکی است. پوشش حاصل از این روش برای عملیات جوشکاری و فرم دهی که ممکن است بعداً اعمال شوند مناسب است.

امروزه از آلیاژی کردن پوشش روی برای بهبود مقاومت به خوردگی، سایش، پایداری حرارتی و غیره استفاده می‌شود. در این رابطه بر روی پوشش‌های آلیاژی روی-آهن و روی-کبالت مطالعات فراوانی صورت گرفته است و در سال‌های اخیر تحقیقاتی بر روی پوشش‌های روی-نیکل و پوشش‌های سه تایی در حال انجام است.

پوشش‌های روی-کبالت و روی-آهن به منظور افزایش مقاومت به خوردگی و قابلیت فرم پذیری و نیز بهبود چسبندگی لایه رنگ مورد توجه قرار گرفته‌اند.

پوشش روی-نیکل نیز از لحاظ افزایش مقاومت به خوردگی مورد توجه است و استفاده از مقدار 10-15 درصد نیکل موجب 5 تا 7 برابر شدن مقاومت به خوردگی پوشش شده و در نتیجه عمر پوشش افزایش می‌یابد. از این‌رو استفاده از این پوشش از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. همچنین می‌توان از تجهیزات آبکاری روی معمولی، برای پوشش دهی آلیاژ روی-نیکل استفاده نمود.

به منظور بهبود خصوصیت کاربردی پوشش‌ها و مقرون به صرفه‌تر ساختن کل فرایند علاوه بر آلیاژی کردن پوشش می‌توان از جریان پالس برای آبکاری استفاده نمود. استفاده از جریان پالس

خصوصیات پوشش را بهبود داده و باعث کاهش مصرف مواد افزودنی و افزایش بازده فرایند پوشش دهی می‌شود.

در این تحقیق سعی بر این است که به مقایسه پوشش حاصل از جریان مستقیم و پالس در حمام قلیایی پرداخته شود و همچنین اثر تغییر پارامترهای مختلف پالس بر خصوصیات پوشش حاصل بررسی شود. همچنین توسط آزمون پلاریزاسیون و پتانسیل مدار باز رفتار خوردگی پوشش بررسی شود.

فصل دوم

مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۲- اهمیت پوشش دادن

خوردگی پدیده مخربی است که موجب کاهش عمر اغلب قطعات صنعتی می شود. در بسیاری از موارد می توان با ایجاد یک لایه روی سطح قطعات صنعتی، دوام و کارایی آن ها را بهبود بخشید. از جمله مواردی که می توان به آن ها اشاره کرد عبارتند از [۱]:

- بهبود مقاومت به خوردگی
- بهبود خواص سایشی و اصطکاکی
- بهبود هدایت الکتریکی
- بهبود رنگ پذیری
- عوض کردن بسیاری از خواص ظاهری از قبیل رنگ، براقی و صافی سطح

۲-۲- انواع روش های پوشش دادن

- آبکاری الکتریکی^۱
- آبکاری بدون استفاده از جریان الکتریسیته^۲
- فرو بردن درون مذاب^۳
- رسوب نشانی از بخار^۴
- فلز پاشی^۵ [۱]

۳-۲- آبکاری الکتریکی

پوشش دهی به روش آبکاری الکتریکی تاریخچه ای بیس طولانی دارد. یافته های شگفت - انگیزی که هنگام کاوش های باستان شناسی سال ۱۳۱۵ شمسی در خیوت ربوعیه در نزدیکی

¹ - Electro Plating
² - Electroless Plating
³ - Hot Dipping
⁴ - Vapor Depositon
⁵ - Metal Spraying