

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1. A. 4/2



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

عنوان:

مطالعه و مقایسه‌ی آبتکاری آلیاژ روی-آهن به دو روش جریان مستقیم و جریان پالسی

نگارش:

داریوش محمدیانی

استاد راهنما:

دکتر محمود حیدرزاده سهی

استاد مشاور:

دکتر احمد علی آماده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد

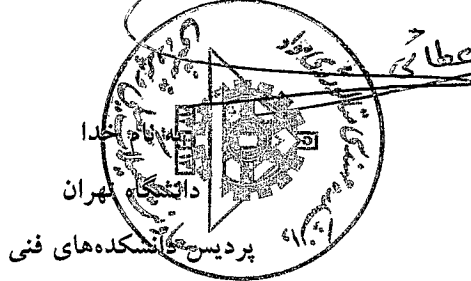
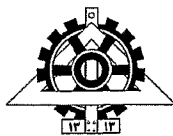
گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

شهریور ۱۳۸۲

۱۰۹۴۲۳

کتابخانه مهندسی متالورژی و مواد
شعبه مرکز

۱۳۸۸ / ۴۷



دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

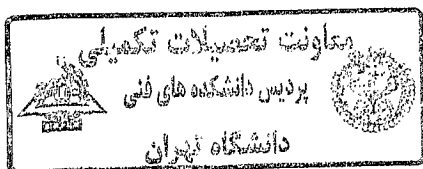
هیات محترم داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای داریوش مجیدیانی..... به شماره دانشجویی ۸۱۰۰۷۸۴۰۰۱۸..... در رشته مهندسی مواد..... گرایش انتخاب و شناسایی مواد مهندسی... را در تاریخ ۸۷/۶/۱۰..... با عنوان مطالعه و مقایسه ی آلیاژ روی آهن به دو روش جریانه مستقیم و جریانه پالسی.....

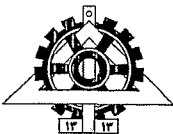
به عدد به حروف

با نمره نهایی: **۲۰- بیست و یک**

در درجه **عالی** ارزیابی نمود.

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	استاد راهنما	دکتر محمود حیدرزاده سهی	استاد	تهران	
	استاد مشاور	دکتر احمد علی آماده	دانشیار	تهران	
	استاد مدعو	دکتر سید پیروز مرعشی	استادیار	امیرکبیر	
	استاد مدعو	دکتر فرشته رشچی	استادیار	تهران	
	نماینده ی کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده: مهندسی مواد	دکتر فرشته رشچی	استادیار	تهران	





تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب ... داریوش محمدیانی ... تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده‌ی فنی دانشگاه تهران است.

نام و نام خانوادگی دانشجو: داریوش محمدیانی

امضاء دانشجو:

چکیده

در این پژوهش، پوشش‌های آلیاژی روی-آهن و روی خالص ایجاد شده به روش آبکاری الکتریکی با استفاده از جریان‌های مستقیم و پالسی، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. برای ایجاد پوشش آلیاژی از حمام قلیایی غیرسیانیدی حاوی ماده‌ی کمپلکس‌ساز تری‌اتانول‌آمین استفاده شد. با استفاده از منحنی‌های ولتامتری چرخه‌ای مشخص شد که کمپلکس‌ساز تری‌اتانول‌آمین نه تنها از ایجاد رسوب آهن در حین آماده‌سازی حمام جلوگیری می‌کند، بلکه با نزدیک کردن پتانسیل‌های احیای دو فلز به یکدیگر، موجب هم‌رسوبی روی و آهن نیز می‌شود. بررسی‌های ولتامتری چرخه‌ای همچنین نشان دادند که فرآیندهای اکسایش/کاهش (ردوکس) آلیاژ روی-آهن، شبه برگشت‌پذیر هستند.

در ادامه، در هر دو حالت، تأثیر متغیرهای مختلف آبکاری الکتریکی بر مورفولوژی و ترکیب شیمیایی پوشش‌ها، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS مطالعه شد. با افزایش چگالی جریان در آبکاری الکتریکی با استفاده از جریان مستقیم اندازه‌ی دانه افزایش و میزان آهن پوشش کاهش یافت. در آبکاری با استفاده از جریان پالسی نیز افزایش چگالی جریان بیشینه، دوره‌ی کار و چگالی جریان میانگین و همچنین کاهش فرکانس موجب درشت ساختاری و ایجاد پوشش غنی از روی شدند. با توجه به بررسی‌های ترکیب شیمیایی پوشش‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با ترکیب حمام، مکانیزم رسوب‌دهی در هر مرحله نیز تعیین شد که بنا به شرایط آبکاری، هر دو نوع مکانیزم باقاعده و غیرعادی در رسوب‌دهی آلیاژ روی-آهن مشاهده شد.

در نهایت رفتار خوردگی پوشش‌ها بررسی و مقایسه شد. جهت مقایسه‌ی رفتار خوردگی پوشش‌ها، آزمایش پلاریزاسیون تافل در محلول ۳/۵٪ نمک طعام بکار گرفته شد. مقاومت به خوردگی پوشش‌های آلیاژی با پوشش‌های روی خالص و همچنین مقاومت به خوردگی پوشش‌های ایجاد شده توسط جریان مستقیم و پالسی با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج نشان داد که آلیاژسازی نقش مهمی در تغییرات مورفولوژیکی و بهبود خواص خوردگی پوشش

ایفا می‌کند. تمامی پوشش‌های حاصل از آبکاری پالسی، جریان خوردگی و در نتیجه نرخ خوردگی کمتری از پوشش‌های مشابه حاصل از آبکاری توسط جریان مستقیم داشتند.

به یاد پدر

و تقدیم به

مادر و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

پروردگارا! تو را سپاس که مرا در انجام این پژوهش یاری دادی.

چون گذشته یاریم کن و بر دانشم بیفزای.

اکنون که این راه به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم که از کلیه عزیزانی که در طول مدت انجام این پژوهش، لطفشان شامل حال اینجانب گردیده است، تشکر و قدردانی نمایم. تشکر و سپاس ویژه خود را به استاد گرامی جناب آقای پرفسور محمود حیدرزاده سهی تقدیم می‌کنم، که راهنمایی‌های ارزنده و زحمات بی‌دریغ ایشان، چراغ راهم بوده است. بر خود لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر احمد علی آماده که زحمت مشاوره این تحقیق را بر عهده داشتند نیز قدردانی نمایم.

همچنین، از مسئولین آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی متالورژی و مواد پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران و همچنین آقایان مهندسین علیرضا جهانگیر، ثمین شریفی، سعید اسدی، مصطفی موسوی‌زاده، مهدی کاظمی و سرکار خانم رقت صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

از مادر بزرگووارم که حق مادری را بر من تمام کرده است و همچنین همسر مهربان و باگذشت خود برای تمام زحماتی که در این مسیر تحمل کرده، برای همیشه از صمیم قلب ممنون هستم. در انتها از برادران عزیزم و خانواده‌ی محترم همسرم نیز برای تشویق‌ها و دلگرمی‌هایشان در طول این راه تشکر می‌نمایم.

داریوش محمدیانی

شهریور ماه هزار و سیصد و هشتاد و هفت

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه ۲

فصل دوم

مروری بر منابع ۵

۲-۱- آبکاری الکتریکی (رسوب‌دهی الکتریکی) ۵

۲-۲- تاریخچه‌ی علم آبکاری الکتریکی ۶

۲-۳- انواع روش‌های آبکاری الکتریکی ۸

۲-۴- آبکاری الکتریکی پالسی ۸

۲-۴-۱- ویژگی‌های آبکاری الکتریکی پالسی ۹

۲-۴-۱-۱- توزیع یکسان فلز ۹

۲-۴-۱-۲- افزایش چگالی پوشش ۱۰

۲-۴-۱-۳- بهبود مقاومت به خوردگی ۱۱

۲-۴-۱-۴- بهبود مقاومت به سایش ۱۱

۲-۴-۱-۵- قیمت فرآیند ۱۲

۲-۴-۲- انواع موج مورد استفاده در آبکاری پالسی ۱۲

۲-۴-۳- متغیرهای آبکاری پالسی ۱۴

۲-۴-۴- تأثیر متغیرهای آبکاری پالسی بر انتقال جرم ۱۷

۲-۴-۵- تأثیر متغیرهای آبکاری پالسی بر ترکیب و ساختار پوشش ۲۱

۲-۵- آبکاری آلیاژی ۲۳

۲-۵-۱- بررسی منحنی‌های پتانسیل شدت جریان در آبکاری ۲۴

۲-۵-۲- اصول آبکاری آلیاژی ۲۴

- ۲-۵-۳- مقایسه‌ی منحنی‌های پتانسیل-چگالی جریان اضافی فلزاتی که بصورت جداگانه و هم‌زمان
 آبکاری می‌شوند..... ۳۰
- ۲-۵-۴- روش‌های مختلف نزدیک نمودن پتانسیل دو فلز..... ۳۱
- ۲-۵-۴-۱- تغییر غلظت یون‌های فلز در محلول‌های ساده نمکی..... ۳۲
- ۲-۵-۴-۲- استفاده از مواد کمپلکس کننده..... ۳۲
- ۲-۵-۴-۳- استفاده از جریان حد..... ۳۳
- ۲-۵-۴-۴- استفاده از پتانسیل اضافی غیرمساوی..... ۳۳
- ۲-۵-۴-۵- استفاده از مواد افزودنی..... ۳۳
- ۲-۵-۵- انواع سیستم‌های آبکاری آلیاژی..... ۳۴
- ۲-۵-۶- مدل‌ها و تئوری‌های ارائه شده برای سیستم غیرعادی..... ۳۷
- ۲-۵-۶-۱- تئوری ممانعت هیدروکسیدی (HSM)..... ۳۷
- ۲-۵-۶-۲- تئوری رسوب‌گذاری مادون پتانسیل (UPD)..... ۴۱
- ۲-۵-۶-۳- مدل جذب رقابتی..... ۴۴
- ۲-۶- پوشش‌های آلیاژی روی..... ۴۶
- ۲-۶-۱- پوشش آلیاژی روی-نیکل..... ۴۸
- ۲-۶-۲- پوشش آلیاژی روی-کبالت..... ۵۰
- ۲-۶-۳- پوشش آلیاژی روی-آهن..... ۵۲
- ۲-۶-۳-۱- حمام‌های آبکاری آلیاژ روی-آهن..... ۵۵
- ۲-۶-۳-۲- ساختار کریستالی پوشش‌های آلیاژی روی-آهن..... ۵۷

فصل سوم

- مراحل تحقیق..... ۶۱
- ۳-۱- مقدمه..... ۶۱

- ۲-۳- نمونه‌سازی و مراحل آماده‌سازی زیرلایه ۶۱
- ۳-۳- ساخت حمام ۶۳
- ۴-۳- بررسی هم‌رسوبی روی و آهن ۶۴
- ۵-۳- بهینه‌سازی و ایجاد پوشش با استفاده از جریان‌های مستقیم و پالسی و اعمال شرایط مختلف ۶۶
- ۱-۵-۳- آبکاری با استفاده از جریان مستقیم ۶۷
- ۲-۵-۳- آبکاری با استفاده از جریان پالسی ۶۷
- ۶-۳- بررسی کیفیت ظاهری، مورفولوژی و ترکیب شیمیایی پوشش‌ها ۶۸
- ۱-۶-۳- بررسی کیفیت ظاهری پوشش‌ها ۶۸
- ۲-۶-۳- بررسی مورفولوژی و سطح مقطع پوشش‌ها ۶۸
- ۳-۶-۳- آنالیز شیمیایی پوشش‌ها ۶۹
- ۷-۳- بررسی ضخامت پوشش‌ها ۶۹
- ۸-۳- بررسی رفتار خوردگی پوشش‌ها ۷۰

فصل چهارم

- نتایج و بحث ۷۲
- ۱-۴- بررسی هم‌رسوبی روی و آهن ۷۲
- ۱-۱-۴- بررسی اثر تری‌اتانول‌آمین در هم‌رسوبی روی و آهن ۷۲
- ۲-۱-۴- اثر نرخ روبش در CV محلول شامل یون روی و آهن (بررسی فرآیند ردوکس فاز روی-آهن) ۷۶
- ۲-۴- بهینه‌سازی ترکیب حمام ۸۱
- ۱-۲-۴- بهینه‌سازی ترکیب حمام آبکاری جریان مستقیم ۸۱
- ۲-۲-۴- بهینه‌سازی ترکیب حمام در آبکاری با استفاده از جریان پالسی ۸۳

- ۳-۴- بررسی توزیع عناصر در پوشش‌های روی-آهن ۸۵
- ۴-۴- تأثیر متغیرهای آبکاری بر خواص پوشش ۸۷
- ۱-۴-۴- بررسی اثر آهن موجود در حمام بر ترکیب شیمیایی پوشش ۸۷
- ۲-۴-۴- تأثیر چگالی جریان بر ترکیب شیمیایی و مورفولوژی پوشش ۸۸
- ۱-۲-۴-۴- بررسی اثر چگالی جریان در آبکاری با استفاده از جریان مستقیم ۸۸
- ۲-۲-۴-۴- بررسی اثر چگالی جریان بیشینه در آبکاری با استفاده از جریان پالسی ۹۱
- ۳-۴-۴- اثر دوره‌ی کار بر کیفیت ظاهری، ترکیب شیمیایی و مورفولوژی پوشش در آبکاری پالسی ۹۸
- ۴-۴-۴- اثر چگالی جریان میانگین بر ترکیب شیمیایی و مورفولوژی پوشش در آبکاری پالسی ۱۰۲
- ۵-۴-۴- اثر فرکانس بر کیفیت ظاهری، ترکیب شیمیایی و مورفولوژی پوشش در آبکاری پالسی ۱۰۴
- ۵-۴- بررسی ضخامت پوشش‌ها ۱۰۷
- ۵-۴- بررسی رفتار خوردگی پوشش‌ها ۱۰۸
- ۱-۵-۴- بررسی اثر آلیاژسازی بر رفتار خوردگی پوشش ۱۰۸
- ۲-۵-۴- مقایسه‌ی مقاومت به خوردگی پوشش‌های ایجاد شده توسط آبکاری پالسی و جریان مستقیم ۱۱۱

فصل پنجم

- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۱۶
- مراجع: ۱۲۱

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲: مقایسه‌ی متغیرهای آبکاری DC و PC (معمولی و معکوس)..... ۱۷
- جدول ۲-۲: اثرات ممکن آبکاری پالسی بر روی ساختار رسوب..... ۲۲
- جدول ۳-۲: نیروی الکتروموتوری برخی از فلزات..... ۲۸
- جدول ۴-۲: مقایسه سختی پوشش‌های روی-آهن با مقادیر مختلف آهن..... ۵۴
- و پوشش روی خالص..... ۵۴
- جدول ۵-۲: ترکیب حمام و شرایط آبکاری حمام اسیدی مورد تحقیق آدینا و همکارانش..... ۵۶
- جدول ۶-۲: فازهای موجود در دیاگرام تعادلی روی-آهن و ساختار کریستالی و سختی آن‌ها..... ۵۸
- جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی حمام‌های مورد استفاده جهت آبکاری روی خالص و آلیاژ روی-آهن..... ۶۳
- جدول ۲-۳: شرایطی که برای تمامی نمونه‌ها بطور یکسان در نظر گرفته شد..... ۶۴
- جدول ۴-۳: شرایط، متغیرهای آبکاری و ترکیب شیمیایی پوشش‌های آلیاژی روی-آهن و روی خالص در دو روش آبکاری با استفاده از جریان مستقیم و پالسی..... ۶۹
- جدول ۱-۴: اثر چگالی جریان بر کیفیت ظاهری پوشش در آبکاری با استفاده از جریان مستقیم..... ۸۲
- جدول ۲-۴: اثر چگالی جریان بر کیفیت ظاهری پوشش (در فرکانس ۱۰ Hz و دوره‌ی کار ۲۰٪)..... ۸۴
- جدول ۳-۴: اثر دوره‌ی کار بر کیفیت ظاهری پوشش، (در فرکانس ۱۰ Hz و چگالی جریان بیشینه‌ی $22/5 \text{ A/dm}^2$)..... ۹۸
- جدول ۴-۴: مقادیر چگالی جریان میانگین نمونه‌های تولید شده به روش آبکاری پالسی..... ۱۰۳
- جدول ۵-۴: اثر فرکانس بر کیفیت ظاهری پوشش، (در دوره‌ی کار ۲۰٪ و چگالی جریان بیشینه‌ی $22/5 \text{ A/dm}^2$)..... ۱۰۴
- جدول ۶-۴: ضخامت پوشش‌های آلیاژی روی-آهن و روی خالص در دو روش آبکاری با استفاده از جریان مستقیم و پالسی..... ۱۰۸
- جدول ۷-۴: نتایج آزمایش پلاریزاسیون تافل پوشش‌های بررسی شده..... ۱۰۹
- جدول ۸-۴: نتایج آزمایش پلاریزاسیون تافل پوشش‌های بررسی شده..... ۱۱۲

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲: روش های کلی ایجاد لایه های سطحی ۶
- شکل ۲-۲: روش های الکتروشیمیایی و شیمیایی و زیر مجموعه های این روش ها ۶
- شکل ۳-۲: مقایسه ی توزیع جرم در آبکاری پالسی و جریان مستقیم ۱۰
- شکل ۴-۲: شماتیک موج مربعی ۱۳
- شکل ۵-۲: شماتیک موج مربعی متناوب معکوس ۱۳
- شکل ۶-۲: شماتیک موج سینوسی متقارن ۱۳
- شکل ۷-۲: شماتیک موج سینوسی شکسته ۱۳
- شکل ۸-۲: شماتیک موج مربعی و متغیرهای اصلی آن ۱۴
- شکل ۹-۲: شماتیک موج مربعی مشاهده شده در حین آبکاری ۱۶
- شکل ۱۰-۲: شماتیک موج مربعی و جهش جریان در ابتدای زمان روشن و جهش معکوس در ابتدای زمان خاموش ۱۶
- شکل ۱۱-۲: اثر مقاومتی (پلاریزاسیون) در آبکاری پالسی ۱۶
- شکل ۱۲-۲: شماتیکی از شکل موج جریان پالس معکوس ۱۹
- شکل ۱۳-۲: پروفیل های غلظتی واکنش دهنده ها در مدل لایه ی نفوذی دو گانه برای جریان پالس معکوس ۲۰
- شکل ۱۴-۲: اثر آبکاری پالسی بر ترکیب آلیاژ (شماتیک). چگالی جریان های جزئی کاتدی A و B از یک آلیاژ دو جزئی A-B که جزء A نجیب تر است. (a) سینتیک تحت کنترل انتقال بار با شیب های تافل مساوی. (b) سینتیک تحت کنترل انتقال بار با شیب های تافل نامساوی. (c) جزء A تحت کنترل انتقال جرم و جزء B تحت کنترل انتقال بار. فلش ها نشان می دهد که چگالی جریان بیشینه پالسی بزرگ تر از چگالی جریان مستقیم است ۲۲
- شکل ۱۵-۲: مقایسه ی پتانسیل و شدت جریان احیای یون فلزی و یون هیدروژن ۲۴
- شکل ۱۶-۲: مقایسه ی پتانسیل و شدت جریان احیای یون دو فلز در مجاورت یکدیگر ۲۵

- شکل ۲-۱۷: منحنی های پتانسیل-شدت جریان رسوب مس و روی از محلول سولفات مس و سولفات روی مولار (منحنی های A و B)، منحنی های پتانسیل-شدت جریان مس و روی در الکترولیت های سیانیدی آنها (منحنی های C و D)..... ۲۹
- شکل ۲-۱۸: روابط پتانسیل چگالی جریان بدست آمده از حمام آبکاری پیروفسفات، ترکیب حمام آبکاری آلیاژی جمع ترکیبات حمام های جداگانه است. علامت Calc نشان دهنده منحنی های جزئی بدست آمده از منحنی آلیاژ است..... ۳۱
- شکل ۲-۱۹: تصویر شماتیک فصل مشترک رسوب/لایه ی نفوذی/حمام در هم رسوبی روی-آهن..... ۴۱
- شکل ۲-۲۰: منحنی ولتامتری چرخه ای در $v = 50 \text{ mVs}^{-1}$ (a) محلول $0.1 \text{ mol dm}^{-3} + \text{FeCl}_2$ $0.1 \text{ mol dm}^{-3} + \text{NaCl}$ (b) حد پایین -1400 mV محلول $0.9 \text{ mol dm}^{-3} + \text{FeCl}_2$ $0.1 \text{ mol dm}^{-3} + \text{ZnCl}_2$ (c) حد پایین -1440 mV محلول $0.75 \text{ mol dm}^{-3} + \text{FeCl}_2$ $0.1 \text{ mol dm}^{-3} + \text{ZnCl}_2$ (d) حد پایین -1440 mV محلول $0.25 \text{ mol dm}^{-3} + \text{ZnCl}_2$ $0.1 \text{ mol dm}^{-3} + \text{NaCl}$ ۴۳
- شکل ۲-۲۱: بررسی ارتباط بین مقدار آهن محلول و پوشش در شرایطی که مقدار $(\text{Fe}^{2+} + \text{Zn}^{2+})$ در محلول برابر..... ۴۵
- شکل ۲-۲۲: دیاگرام تعادلی روی-آهن و کلیه ی فازهای موجود در آن..... ۵۷
- شکل ۲-۲۳: دیاگرام تعادلی روی-آهن با تأکید بر فازهای غنی از روی..... ۵۸
- شکل ۳-۱: شماتیک پالس اعمالی و متغیرهای جریان پالسی..... ۶۸
- شکل ۴-۱: ولتاموگرام چرخه ای محلول $0.3 \text{ (g/l) + FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30 (g/l) + TEA 150 (g/l) + NaOH ۷۴
- شکل ۴-۲: ولتاموگرام چرخه ای محلول 30 (g/l) + ZnO 150 (g/l) + NaOH ، $v = 10 \text{ mV s}^{-1}$ ۷۵
- شکل ۴-۳: ولتاموگرام چرخه ای محلول 30 (g/l) + ZnO $0.3 \text{ (g/l) + FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30 (g/l) + TEA ۷۶
- شکل ۴-۴: ولتاموگرام چرخه ای محلول 30 (g/l) + ZnO $0.3 \text{ (g/l) + FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30 (g/l) + TEA ۷۸

- شکل ۴-۵: منحنی پری سیکل محلول $(\text{g/l}) + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot 1/3 + \text{ZnO} \cdot 30 (\text{g/l}) + \text{TEA} \cdot 30 (\text{g/l}) + \text{NaOH} \cdot 150 (\text{g/l})$ ، $v = 10 \text{ mV s}^{-1}$ ۸۰
- شکل ۴-۶: جریان دماغه‌ی آندی و کاتدی بر حسب ریشه‌ی دوم نرخ روبش ۸۱
- شکل ۴-۷: اثر چگالی جریان در آبکاری با استفاده از جریان مستقیم بر ترکیب شیمیایی پوشش در ۳ حمام مختلف. حمام شماره ۱ دارای 0.3 g/l آهن؛ حمام شماره ۲ دارای 0.4 g/l آهن؛ حمام شماره ۳ دارای 0.5 g/l آهن. ۸۳
- شکل ۴-۸: اثر چگالی جریان در آبکاری با استفاده از جریان پالسی بر ترکیب پوشش در ۳ حمام مختلف. حمام شماره ۱ دارای 0.3 g/l آهن؛ حمام شماره ۲ دارای 0.4 g/l آهن؛ حمام شماره ۳ دارای 0.5 g/l آهن. ۸۵
- شکل ۴-۸: نقشه‌های توزیع عنصری الف) عنصر روی، ب) عنصر آهن و تصویر ناحیه‌ای که مورد آنالیز قرار گرفته برای پوشش روی-آهن ایجاد شده توسط جریان پالسی (در حمام شماره ۳ و چگالی جریان بیشینه‌ی 20 A/dm^2 ، دوره‌ی کار 10% و فرکانس 10 Hz) ۸۶
- شکل ۴-۱۰: اثر چگالی جریان بر ترکیب شیمیایی پوشش در آبکاری با استفاده از جریان مستقیم در حمام شماره‌ی ۱. خط مرجع ترکیب (CRL) نشان دهنده‌ی درصد وزنی آهن موجود در حمام مورد استفاده است. ۸۸
- شکل ۴-۱۱: اثر چگالی جریان بر مورفولوژی پوشش در آبکاری الکتریکی با استفاده از جریان مستقیم ۹۰
- شکل ۴-۱۲: اثر چگالی جریان بیشینه بر ترکیب شیمیایی پوشش. خط مرجع ترکیب (CRL) نشان دهنده‌ی درصد وزنی آهن موجود در حمام مورد استفاده است. ۹۲
- شکل ۴-۱۳: اثر چگالی جریان بیشینه بر مورفولوژی پوشش در آبکاری الکتریکی پالسی ۹۶
- شکل ۴-۱۴: مقدار آهن پوشش بر حسب دوره‌ی کار در آبکاری الکتریکی پالسی در چگالی جریان بیشینه‌ی $22/5 \text{ A/dm}^2$ و فرکانس ثابت 10 Hz ۹۹
- شکل ۴-۱۵: اثر دوره‌ی کار بر مورفولوژی پوشش در آبکاری الکتریکی پالسی ۱۰۱

- شکل ۴-۱۶: مقدار آهن پوشش بر حسب فرکانس در آبکاری الکتریکی پالسی در چگالی جریان بیشینه $22/5 \text{ A/dm}^2$ و دوره‌ی کار ۲۰٪..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۷: اثر فرکانس بر مورفولوژی پوشش در آبکاری الکتریکی پالسی. الف) ۵ Hz، ب) ۱۰ Hz، ج) ۲۰ Hz، د) ۵۰ Hz..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۸: سطح مقطع الف) نمونه‌ی آبکاری شده با استفاده از جریان مستقیم (DC۳)، ضخامت برابر ۲۵ μm ، ب) نمونه‌ی آبکاری شده با استفاده از جریان پالسی (PC۳)، ضخامت برابر ۲۷ μm ۱۰۷
- شکل ۴-۱۹: منحنی‌های پلاریزاسیون نمونه‌های روی خالص PCZ۱ و PCZ۲ و نمونه‌های آلیاژی PC۲ و PC۳..... ۱۰۹
- شکل ۴-۲۰: چگالی جریان خوردگی پوشش‌های DC۱، DC۲ و DC۳..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۱: چگالی جریان خوردگی پوشش‌های PC۱، PC۲ و PC۳..... ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه

پوشش‌های روی و در سال‌های اخیر پوشش‌های آلیاژی روی با خانواده آهن (شامل آهن، نیکل و کبالت) به میزان قابل توجهی جهت حفاظت زیرلایه‌های فولادی در مقابله با خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حفاظت از زیرلایه فولادی بر اساس مکانیزم فدا شوندگی، مهمترین ویژگی این پوشش‌ها محسوب می‌شود.

آبکاری آلیاژی و یا هم‌رسوبی دو یا چند فلز، به منظور ایجاد پوشش با کارایی بالاتر، در نتیجه افزایش عمر قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل اصلی استفاده از پوشش‌های آلیاژی روی نیز مقاومت بیشتر در برابر خوردگی در مقایسه با پوشش روی خالص است. در میان این پوشش‌های آلیاژی، پوشش روی-آهن با مقدار کم آهن در پوشش دارای مزایای اقتصادی بسیاری است.

در آبکاری آلیاژی سیستم‌های متعددی از قبیل سیستم‌های رسوب‌دهی باقاعده و بی‌قاعده، تعادلی، غیرعادی، القایی و ... وجود دارند که با توجه به عناصر موجود، ترکیب محلول و شرایط آبکاری، هر یک از این سیستم‌ها می‌توانند فعال گردند. برخی از این سیستم‌ها مانند رسوب‌دهی غیرعادی بسیار پیچیده بوده و برای آن مکانیزم‌ها و تئوری‌های متعددی ارائه شده است. با توجه به این که در آبکاری آلیاژی روی خانواده آهن بنا به شرایط رسوب‌دهی دو سیستم رسوب‌دهی باقاعده و غیرعادی رخ می‌دهد، بررسی آبکاری این آلیاژها دارای نکاتی مهم و حایز اهمیت است و همچنان مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام می‌شود.

انتخاب حمام مورد استفاده در فرآیند آبکاری الکتریکی، اولین و یکی از مهمترین مراحل ایجاد پوشش است. پوشش‌های روی خانواده آهن در گذشته بیشتر در حمام‌های سیانیدی تولید می‌شدند، اما امروزه به علت مسایل زیست محیطی، حمام‌های اسیدی و قلیایی غیرسیانیدی بیشتر مورد توجه قرار

گرفته شد. از میان این حمام‌ها، حمام‌های اسیدی بازده جریان بیشتری دارند اما توزیع جریان در این حمام‌ها خیلی مناسب نیست، بنابراین برای دستیابی به توزیع جریان مناسب‌تر و تولید پوشش با کیفیت بالاتر استفاده از حمام‌های قلیایی غیرسیانیدی رو به افزایش است.

انتخاب نوع جریان آبکاری نیز مرحله‌ی مهم دیگری جهت ایجاد پوشش با کیفیت است. در گذشته آبکاری الکتریکی صرفاً با استفاده از جریان مستقیم صورت می‌گرفت، اما در سال‌های اخیر استفاده از جریان پالسی نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش آبکاری با استفاده از جریان پالسی موجب بهبود قابل ملاحظه‌ی خواص فیزیکی، مکانیکی و الکتروشیمیایی این پوشش‌ها می‌شود. یکی از ویژگی‌های آبکاری پالسی کنترل ساده‌تر ترکیب آلیاژ در آبکاری آلیاژی است. لازم به ذکر است که تحقیقات و مطالعات بر روی آبکاری پالسی هنوز در کشورهای صنعتی ادامه دارد، و نتایج مطلوبی بدست آمده که باعث شده است که صنعت‌گران کشورهای صنعتی به این روش روی آورند.

بر این اساس در تحقیق حاضر، پوشش آلیاژی روی-آهن در حمام قلیایی غیرسیانیدی حاوی کمپلکس‌ساز تری‌اتانول‌آمین ایجاد شد. آبکاری الکتریکی با استفاده از جریان‌های مستقیم و پالسی جهت پوشش‌دهی بکار گرفته شد. به منظور درک مزیت آبکاری آلیاژی، خواص پوشش‌های آلیاژی و روی خالص با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین با مقایسه‌ی پوشش‌های حاصل از آبکاری با استفاده از جریان پالسی و جریان مستقیم، برتری استفاده از جریان پالسی آشکار شد.