

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

١.١١٢٤

۸۷/۱/۱۰۵۹۵۴

۸۷/۱۲/۵



دانشکده مهندسی

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

بررسی خواص پوشش نیکل نانوساختار به عنوان یک
جایگزین برای پوشش کروم

توسط

پوریا نجفی سیار

کتابخانه اطلاع‌رسانی
فصلکده مهندسی
شیراز

۱۳۸۷ / ۱۱ / ۲۵

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم

آذر ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۸۶۴

به نام خدا

بررسی خواص پوشش نیکل نانوساختار به عنوان یک جایگزین برای پوشش کروم

به وسیله

پوریا نجفی سیار

پایان نامه

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

در رشته

مهندسی مواد (خوردگی و حفاظت از مواد)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : ---

دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم، دانشیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته)
دکتر محمد حسین شریعت، استاد بخش مهندسی مواد
دکتر سیروس جوادپور، استادیار بخش مهندسی مواد
دکتر حسن ...

آذرماه ۱۳۸۷

تقدیم به پدر و مادر عزیزم :

که بدون زحمات بی دریغ ایشان، این کار میسر نمی شد.

سپاسگزاری

اکنون که کار نگاشتن این پایان نامه به سرانجام رسیده است، بر خود واجب می دانم که از زحمات و راهنمایی های دلسوزانه استاد گرامی، جناب آقای دکتر بحرالعلوم، که مرا در انتخاب و پیشبرد موضوع این پایان نامه یاری کردند، خالصانه سپاسگزاری نمایم. به علاوه، از مشاوره های اساتید گرامی، جناب آقای دکتر جوادپور و دکتر شریعت و همچنین مساعدت جناب آقای مهندس نعمتی جهت استفاده اینجانب از دستگاه تست براقیت، کمال تشکر را دارم. در پایان از زحمات سرکار خانم مهندس محزون، که تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی بدون یاری ایشان میسر نبود، مسئولین آزمایشگاه های بخش مهندسی مواد، سرکار خانم مهندس پایدار، سرکار خانم مهندس منصف و سایرین، که در تمامی مراحل تست های آزمایشگاهی به من یاری رساندند سپاسگزارم و از خداوند منان برای ایشان توفیق و سلامتی روزافزون خواستارم.

چکیده

بررسی خواص پوشش نیکل نانوساختار به عنوان یک جایگزین برای

پوشش کروم

به وسیله:

پوریا نجفی سیار

با توجه به خطرات زیست محیطی حاد حمام های مورد استفاده در آبکاری الکتریکی کروم سخت و عدم توجه به این مسئله بسیار مهم در کشور، در تحقیق پیش رو سعی شده تا پوشش های نیکل نانوساختار به دلیل سازگاری بهتر با محیط زیست و توانایی رقابت با پوشش های کروم سخت، به عنوان یک جایگزین مناسب برای این پوشش ها معرفی گردند. پوشش های نیکل نانوساختار از طریق روش آبکاری ضربانی تولید شدند و جهت تولید پوشش کروم با کیفیت خوب از شرایط بهینه معرفی شده در منابع استفاده شده است. تاثیر شرایط آبکاری نظیر میزان غلظت ساخارین در حمام و دانسیته جریان آبکاری ضربانی، بر خواص پوشش های نیکل نانوساختار نظیر اندازه دانه، میکروسختی، مقاومت به سایش، ضریب اصطکاک، زبری سطح، براقیت و مقاومت به خوردگی بررسی شد و با مقایسه این خواص با خواص بدست آمده برای پوشش کروم سعی شد تا شرایط بهینه برای تولید پوشش های نیکل نانوساختار با خواص بهتر نسبت به پوشش کروم مشخص گردد. با استفاده از آنالیز X-Ray Diffraction، اندازه متوسط دانه برای پوشش های نیکل نانوساختار بدست آورده شد و مشخص شد که پوشش های نیکل نانوساختار با اندازه متوسط دانه ۱۰ nm دارای سختی قابل مقایسه با پوشش های کروم می باشند. همچنین، تست های سایش بر اساس روش پین روی دیسک در دمای محیط انجام شدند و مشخص شد که پوشش های نیکل نانوساختار با اندازه متوسط دانه ۱۵ nm دارای مقاومت به سایش بیشتر و ضریب اصطکاک کمتر نسبت به پوشش های کروم خواهند بود. به علاوه پوشش های نیکل نانوساختار با اندازه متوسط دانه کمتر از ۲۲ nm دارای زبری سطح کمتر و براقیت بیشتری نسبت به پوشش های کروم می باشند. برای بررسی مقاومت به خوردگی پوشش ها از تست های امپدانس الکتروشیمیایی، پلاریزاسیون سیکی و تاقل در محلول نمک طعام ۳/۵ درصد وزنی استفاده شد و نتایج حاصله نشان دهنده بیشتر بودن مقاومت به خوردگی پوشش های نیکل نانوساختار نسبت به پوشش کروم بر روی فلز پایه مس می باشند.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱ | فصل اول : مقدمه |
| ۴ | فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده |
| ۴ | ۱-۲- مروری بر تاریخچه آبکاری الکتریکی کروم و نیکل |
| ۴ | ۱-۱-۲- تاریخچه آبکاری الکتریکی نیکل |
| ۵ | ۲-۱-۲- تاریخچه آبکاری الکتریکی کروم |
| ۶ | ۳-۱-۲- پیشینه تحقیق |
| ۷ | ۲-۲- آبکاری الکتریکی کروم |
| ۷ | ۱-۲-۲- اصول کلی آبکاری الکتریکی کروم |
| ۸ | ۲-۲-۲- اجزا تشکیل دهنده حمام آبکاری الکتریکی کروم و نقش آنها |
| ۱۰ | ۳-۲-۲- مکانیزم الکتروشیمیایی آبکاری الکتریکی کروم |
| ۱۲ | ۳-۲-۳- مخاطرات زیست محیطی آبکاری الکتریکی کروم |
| ۱۲ | ۱-۳-۲- مخاطرات حمام های اسیدی و بازی مورد استفاده در صنایع آبکاری کروم |
| ۱۳ | ۲-۳-۲- ایجاد آلودگی در هوا حین انجام عملیات آبکاری کروم |
| | ۳-۳-۲- معیارهای سنجش و تحقیقات انجام شده در بررسی میزان عوارض |
| ۱۴ | ناشی از سمی بودن کروم |
| ۱۵ | ۴-۳-۲- مکانیزم تاثیر کروم بر بدن |
| ۱۶ | ۴-۲- آبکاری الکتریکی نیکل |
| ۱۶ | ۱-۴-۲- اجزا تشکیل دهنده حمام آبکاری الکتریکی نیکل و نقش آنها |
| ۱۸ | ۲-۴-۲- تاثیر مواد افزودنی در حمام آبکاری الکتریکی نیکل |
| ۲۱ | ۳-۴-۲- تکنیک آبکاری ضربانی |

| | |
|----|---|
| ۲۲ | ۴-۴-۲- پوشش های نیکل نانوساختار |
| ۲۶ | ۵-۲- مکانیزم رشد در آبکاری الکتریکی |
| ۲۷ | ۶-۲- مکانیزم های سایش |
| ۲۹ | ۷-۲- تست های خوردگی |
| ۲۹ | ۱-۷-۲- منحنی های تافل |
| ۳۱ | ۲-۷-۲- تست های پلارزاسیون سیکنی و اسکن پتانسیودینامیک |
| ۳۴ | ۳-۷-۲- تست امپدانس الکتروشیمیایی |
| ۳۷ | ۴-۷-۲- خاصیت برداری پلارزاسیون متناوب |
| ۳۸ | ۵-۷-۲- رفتار لایه دوگانه در اثر اعمال ولتاژ متناوب |
| | ۶-۷-۲- روش های مرسوم گزارش اطلاعات بدست آمده در تست های امپدانس |
| ۳۹ | الکتروشیمیایی |
| ۴۳ | فصل سوم : روش انجام کار |
| ۴۳ | ۱-۳- آماده سازی نمونه ها |
| ۴۳ | ۱-۱-۳- آماده سازی نمونه ها قبل از اعمال پوشش |
| ۴۴ | ۲-۱-۳- آماده سازی نمونه ها جهت تست های خوردگی و سایش |
| ۴۵ | ۲-۳- تولید پوشش های نیکل نانوساختار و کروم |
| ۴۶ | ۳-۳- نحوه انجام تست های خوردگی |
| ۴۷ | ۴-۳- نحوه انجام آنالیز XRD و تعیین اندازه متوسط دانه پوشش ها |
| ۴۸ | ۵-۳- نحوه انجام تست های سایش و اندازه گیری ضریب اصطکاک |
| ۴۹ | ۶-۳- نحوه انجام تست های میکروسختی، براقیت و زبری سطح پوشش ها |
| ۵۰ | ۷-۳- نحوه اندازه گیری بازده حمام ها |
| ۵۱ | فصل چهارم : نتایج، بحث و پیشنهادها |
| | ۱-۴- بررسی و مقایسه میکروسختی پوشش های نیکل نانوساختار و |
| ۵۱ | پوشش کروم |
| | ۲-۴- بررسی و مقایسه مقاومت به سایش پوشش های نیکل نانوساختار و |
| ۵۴ | پوشش کروم |

| | |
|----|--|
| ۶۵ | ۳-۴- بررسی و مقایسه ضریب اصطکاک پوشش های نیکل نانوساختار و پوشش کروم |
| ۶۶ | ۴-۴- بررسی و مقایسه براقیت و زبری سطح پوشش های نیکل نانوساختار و پوشش کروم |
| ۶۸ | ۴-۵- نتایج تست های خوردگی |
| ۶۸ | ۴-۵-۱- بررسی و مقایسه نتایج تست های امپدانس الکتروشیمیایی پوشش های نیکل نانوساختار و پوشش کروم |
| ۷۲ | ۴-۵-۲- بررسی و مقایسه نتایج تست های تافل و پلارزاسیون سیکلی |
| ۷۹ | فصل پنجم : نتیجه گیری |
| ۸۰ | فهرست منابع |

فهرست جدول ها

| صفحه | عنوان و شماره |
|------|--|
| ۴۳ | جدول شماره ۱: شرایط الکتروپالایش فلزات پایه |
| ۴۵ | جدول شماره ۲: شرایط آبکاری ضربانی نیکل |
| ۴۶ | جدول شماره ۳: شرایط آبکاری الکتریکی کروم |
| ۵۲ | جدول شماره ۴: نتایج محاسبه اندازه متوسط دانه و میکروکرنش پوشش های نیکل |
| | جدول شماره ۵: نتایج اندازه گیری بازده حمام آبکاری الکتریکی کروم و حمام |
| ۶۵ | آبکاری ضربانی نیکل |
| ۶۹ | جدول شماره ۶: نتایج حاصل از آنالیز نمودارهای نشان داده شده در شکل ۳۴ |
| ۷۱ | جدول شماره ۷: نتایج حاصل از آنالیز نمودارهای نشان داده شده در شکل ۳۵ |
| | جدول شماره ۸: نتایج حاصل از آنالیز نمودارهای نشان داده شده در |
| ۷۴ | شکل های ۳۶ و ۳۷ |
| | جدول شماره ۹: نتایج حاصل از آنالیز نمودارهای نشان داده شده در |
| ۷۶ | شکل های ۳۸ و ۳۹ |

فهرست شکل ها

| صفحه | عنوان و شماره |
|------|---|
| ۱۴ | شکل شماره ۱ - مکانیزم انتقال آلودگی از حمام آبکاری به اتمسفر محیط |
| ۱۹ | شکل شماره ۲ - بازتابش منظم و نامنظم نور از سطح |
| ۲۱ | شکل شماره الف- ۳ - تغییرات غلظت بر حسب فاصله از سطح الکتروود در مدل نرنست |
| ۲۱ | شکل شماره ب- ۳ - تغییرات غلظت بر حسب فاصله از سطح الکتروود در اثر کاربرد جریان ضربانی |
| ۲۲ | شکل شماره ۴ - سه نوع کلی از سیکل های جریان ضربانی متداول در آبکاری ضربانی |
| ۲۶ | شکل شماره ۵ - مکانیزم های رشد در آبکاری الکتریکی |
| ۲۷ | شکل شماره ۶ - شماتیک سطح مقطع ساختار ستونی پوشش |
| ۲۹ | شکل شماره ۷ - منحنی تافل اکتیواسیون |
| ۳۰ | شکل شماره ۸ - منحنی تافل نفوذی |
| ۳۱ | شکل شماره ۹ - محاسبه سرعت خوردگی از روی منحنی های تافل |
| ۳۲ | شکل شماره ۱۰ - یک نمونه از منحنی های PDS |
| ۳۳ | شکل شماره ۱۱ - یک نمونه از منحنی CP با هیترزیسیس منفی |
| ۳۴ | شکل شماره ۱۲ - یک نمونه از منحنی CP با هیترزیسیس مثبت |
| ۳۵ | شکل شماره ۱۳ - خاصیت سیکلی ولتاژ متناوب |
| ۳۶ | شکل شماره ۱۴ - مدار الکتریکی معادل لایه دوگانه |
| ۳۶ | شکل شماره ۱۵ - اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان متناوب |
| ۳۷ | شکل شماره ۱۶ - خاصیت برداری ولتاژ و جریان متناوب |
| ۳۸ | شکل شماره ۱۷ - لایه دوگانه تشکیل شده بر سطح یک فلز در حال خورده شدن |

- شکل شماره ۱۸- یک نمونه از منحنی های کامپلکس EIS دارای یک ثابت زمانی
شکل شماره ۱۹- یک نمونه از منحنی های لگاریتمی اندازه امپدانس کل بر
حسب فرکانس
- شکل شماره ۲۰- یک نمونه از منحنی های لگاریتمی زاویه فاز بر حسب فرکانس
- شکل شماره ۲۱- شماتیک نمونه های تست های الف) خوردگی ب) سایش
- شکل شماره ۲۲- دستگاه پتانسیواستات مدل AUTOLAB
- شکل شماره ۲۳- دستگاه Bruker D8 advance diffractometer
- شکل شماره ۲۴- میکروسکوپ الکترونی Oxford LEO 440 SEM
- شکل شماره الف- ۲۵- دستگاه میکروسختی سنج ویکرز مدل Leitz L137
- شکل شماره ب- ۲۵- دستگاه تست براقیت Xinrui WG60 mini gloss meter
- شکل شماره ج- ۲۵- دستگاه اندازه گیری زبری سطح Mitutoyo Sufitest 201
- شکل شماره الف- ۲۶- گراف های XRD پوشش های نیکل
- شکل شماره ب- ۲۶- رابطه میان مقادیر میکروسختی و عکس مجذور اندازه
متوسط دانه در پوشش های نیکل
- شکل شماره ۲۷- مقادیر میکروسختی بدست آمده برای پوشش های نیکل
نانوساختار و پوشش کروم
- شکل شماره ۲۸- سرعت سایش بدست آمده برای پوشش های نیکل
نانوساختار و پوشش کروم
- شکل شماره الف- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵N برای
پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱g/l در حمام
- شکل شماره ب- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵N برای
پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۵g/l در حمام
- شکل شماره پ- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵N برای
پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱۰g/l در حمام
- شکل شماره ت- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵N برای
پوشش کروم

- شکل شماره ج- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۱۰N برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱g/l در حمام
۵۸
- شکل شماره ج- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۱۰N برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۵g/l در حمام
۵۸
- شکل شماره ح- ۲۹- سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۱۰N برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱۰g/l در حمام
۵۹
- شکل شماره الف- ۳۰- گراف آنالیز EDX سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵ N پس از طی مسافت سایش ۴۰۰ m برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱ g/l در حمام
۶۰
- شکل شماره ب- ۳۰- گراف آنالیز EDX سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵ N پس از طی مسافت سایش ۴۰۰ m برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۵ g/l در حمام
۶۰
- شکل شماره پ- ۳۰- گراف آنالیز EDX سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵ N پس از طی مسافت سایش ۴۰۰ m برای پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱۰ g/l در حمام
۶۱
- شکل شماره ت- ۳۰- گراف آنالیز EDX سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵ N پس از طی مسافت سایش ۵۰ m برای پوشش کروم
۶۱
- شکل شماره ج- ۳۰- گراف آنالیز EDX سطح ساییده شده در نیروی عمودی ۵ N پس از طی مسافت سایش ۷۵ m برای پوشش کروم
۶۲
- شکل شماره الف- ۳۱- تصویر SEM مقطعی از پوشش کروم قبل از انجام تست سایش
۶۳
- شکل شماره ب- ۳۱- تصویر SEM مقطعی از پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱۰ g/l در حمام، قبل از انجام تست سایش
۶۳
- شکل شماره ج- ۳۱- تصویر SEM مربوط به سطح پوشش کروم قبل از تست سایش
۶۴
- شکل شماره ج- ۳۱- تصویر SEM مربوط به سطح پوشش نیکل نانوساختار با غلظت ساخارین ۱۰ g/l، قبل از تست سایش
۶۴

- شکل شماره ۳۲- ضریب اصطکاک بدست آمده برای پوشش های نیکل
 نانوساختار با غلظت های مختلف ساخارین در حمام و پوشش کروم
 ۶۶
- شکل شماره الف-۳۳- براقیت پوشش کروم و پوشش های نیکل
 با شرایط آبکاری ضربانی مختلف
 ۶۷
- شکل شماره ب-۳۳- زبری سطح پوشش کروم و پوشش های نیکل
 با شرایط آبکاری ضربانی مختلف
 ۶۷
- شکل شماره ۳۴- نمودارهای لگاریتمی امیدانس کل برحسب فرکانس
 و زاویه فاز بر حسب فرکانس برای پوشش های نیکل نانوساختار و پوشش
 کروم بر روی فولاد ساده کربنی در محلول نمک طعام ۳/۵ wt%
 ۶۸
- شکل شماره ۳۵- نمودارهای لگاریتمی امیدانس کل برحسب فرکانس
 و زاویه فاز بر حسب فرکانس برای پوشش های نیکل نانوساختار و پوشش
 کروم بر روی فلز مس در محلول نمک طعام ۳/۵ wt%
 ۷۰
- شکل شماره ۳۶- منحنی های پلاریزاسیون سیکلی برای پوشش های نیکل
 با اندازه متوسط دانه حدود ۵۰۰ nm و پوشش کروم بر روی فولاد ساده کربنی
 در محلول نمک طعام ۳/۵ wt%
 ۷۳
- شکل شماره ۳۷- منحنی های تافل برای پوشش های نیکل با اندازه متوسط
 دانه حدود ۵۰۰ nm و پوشش کروم بر روی فولاد ساده کربنی در محلول نمک
 طعام ۳/۵ wt%
 ۷۵
- شکل شماره ۳۸- منحنی های پلاریزاسیون سیکلی برای پوشش های نیکل
 با اندازه متوسط دانه حدود ۵۰۰ nm و پوشش کروم بر روی فلز پایه مس در
 محلول نمک طعام ۳/۵ wt%
 ۷۵
- شکل شماره ۳۹- منحنی های تافل برای پوشش های نیکل با اندازه متوسط
 دانه حدود ۵۰۰ nm و پوشش کروم بر روی فلز مس در محلول نمک طعام ۳/۵ wt%
 ۷۷

فهرست نشانه های اختصاری

CP = پلاریزاسیون سیکلی (Cyclic Polarization)

EDX = تفرق انرژی در اثر اشعه ایکس (Energy Dispersive X-ray)

EIS = امپدانس الکتروشیمیایی (Electrochemical Impedance Spectroscopy)

PDS = اسکن پتانسیودینامیک (Potentio-Dynamic Spectroscopy)

SEM = میکروسکوپ الکترونی (Scanning Electron Microscope)

XRD = تفرق اشعه ایکس (X-Ray Diffraction)

فصل اول: مقدمه

استفاده از کروم به عنوان پوشش به دلیل داشتن خواصی همچون سختی بالا، مقاومت به سایش بالا، مقاومت به خوردگی بالا و چسبندگی خوب به فلز پایه در صنایعی چون هوافضا، اتومبیل سازی، الکترونیک و معدن متداول است. ایجاد پوشش داخلی محافظه احتراق موتورهای حرارتی، پوشش داخلی سیلندرهای هیدرولیک و پوشش خارجی ابزارآلات نورد از جمله کاربردهای مهم این نوع پوشش می باشد. [۱]

از حدود ۸۰ سال پیش تا کنون کروم به وسیله حمام حاوی یونهای Cr^{+6} توسط روش آبکاری الکتریکی^۱ روی فلزات پوشش داده می شده است. [۲] امروزه آسیب شناسی یون Cr^{+6} مورد بررسی قرار گرفته و مضر بودن آن برای بدن انسان و محیط زیست به اثبات رسیده است. کروم به دو صورت یونی Cr^{+3} و Cr^{+6} می تواند وارد بدن شود که از میان این دو یون Cr^{+6} سمی تر است. یون Cr^{+6} باعث آسیب دیدن دستگاه تنفسی انسان می شود. از جمله مضرات دیگر یون Cr^{+6} ایجاد آسیبهای پوستی، تورم مخاط بینی، آسم و سرطان برونشیت^۲ می باشد. [۳] در کشور آمریکا سازمان EPA^۳ یون Cr^{+6} را به عنوان یکی از هفده ماده خطرناک برای محیط زیست اعلام کرده است. اتحادیه اروپا از اول ماه ژولای سال ۲۰۰۶ میلادی قوانین محیط زیستی جدیدی را برای استفاده از قطعات الکترونیکی حاوی کروم به اجرا در آورده است. [۲] در کشور فرانسه برای جلوگیری و مقابله با آسیبهای محیط زیستی ناشی از یون Cr^{+6} مورد استفاده در کارخانجات آبکاری الکتریکی، تمهیداتی نظیر ایجاد محدودیت در شرایط حمامهای آبکاری الکتریکی و معاینه پزشکی افراد شاغل در این نوع کارخانجات جهت بررسی میزان تاثیر آن یون بر بدن آنها به کار گرفته شده است. [۳]

آبکاری کروم سبب وارد شدن یون Cr^{+6} از طریق پسماندهای ناشی از حمام آبکاری الکتریکی به محیط زیست می شود. در بسیاری از موارد برای پوشش دادن کروم از حمام حاوی یون Cr^{+6} استفاده می شود تا پوشش حاصل براق و جذاب و مقاوم در برابر سایش باشد. به علت سمی بودن یون Cr^{+6} ، صنایع مرتبط با آبکاری الکتریکی کروم ملزم به تصفیه پسماندهای صنعتی خود قبل از دفع آنها به محیط زیست می باشند.

-
- 1-Electroplating
 - 2-Bronchopulmonary cancer
 - 3-Environmental Protection Agency

معمولا تصفیه پسماندهای ناشی از آبکاری کروم از طریق مکانیزم رسوب دهی^۴ انجام می شود که روشی نسبتا وقت گیر و پر هزینه می باشد. [۴] از طرفی بازده^۵ روش آبکاری الکتریکی کروم حدود ۱۵٪ است که این امر باعث شده تا هزینه تمام شده جهت تولید پوشش نسبت به قیمت فروش قطعه تولیدی خیلی بیشتر باشد. به همین دلیل با توجه به مشکلات بیان شده برای تولید پوشش کروم، منطقی به نظر می رسد که بجای استفاده از کروم به عنوان پوشش برای ایجاد سختی و مقاومت به سایش و خوردگی از مواد و روشهای دیگری استفاده شود.

تلاش برای یافتن روشهای جایگزین از چندین سال قبل آغاز شده است. مواد جایگزین برای کروم عبارتند از پوشش نیکل - فسفر، نیکل - تنگستن، کبالت - تنگستن و آلیاژهای سه تایی و چهارتایی. نشان داده شده که سختی و مقاومت به سایش پوشش آلیاژی نیکل - فسفر پس از عملیات حرارتی در دمای بالا برابر و یا حتی بیشتر از سختی و مقاومت به سایش پوشش کروم می باشد. ولی به علت غیر یکنواختی، چسبندگی کم و شکنندگی، این نوع پوشش به صورت کاربردی نمی تواند جایگزین پوشش کروم شود. [۱] طبق تحقیقات انجام شده یون Cr^{+3} نسبت به یون Cr^{+6} سمیت کمتری دارد ولی حمام مورد استفاده برای پوشش دادن کروم از طریق یون Cr^{+3} دارای ترکیبات سمی آلی نظیر تری اتیلن (triethylene)، گلیکول (glycol)، اگزالات (oxalate) و فرمات (formate) می باشد. همچنین پوشش حاصل از یون Cr^{+3} نسبت به یون Cr^{+6} دارای چسبندگی و مقاومت به سایش کمتری خواهد بود. در نتیجه کاربرد یون Cr^{+3} نیز محدودیت خواهد داشت. [۳] روشهایی نظیر HVOF^۶ به عنوان یکی از روشهای جایگزین آبکاری الکتریکی برای تولید پوششهای سخت مطرح شده است. [۲] در تحقیق پیش رو، توانایی پوششهای نیکل نانوساختار به عنوان یک پوشش جایگزین برای ایجاد سختی، مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی و براقیت قابل مقایسه با پوششهای کروم مورد بررسی قرار می گیرد. هدف اصلی از تحقیق پیش رو مقایسه پوشش های کروم و نیکل نانو ساختار از لحاظ خواص سختی، مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی جهت جایگزین شدن پوشش نیکل نانوساختار به جای پوشش کروم، به علت مخاطرات محیط زیستی و بازده پایین این نوع پوشش، با روشی موثرتر می باشد. در این تحقیق با استفاده از روش آبکاری ضربانی، پوشش نیکل نانوساختار روی فلزات آهن و مس ایجاد خواهد شد و با تغییر شرایط آبکاری سعی می شود تا خواص پوشش نیکل نانوساختار حاصل به گونه ای بهینه شود که بتوان آن را جایگزین پوشش های کروم سخت و یا تزئینی نمود. با توجه به اینکه در کشور ما نظارت کافی و شایسته

4-Precipitation

5-Efficiency

6-High Velocity Oxy-Fuel

ای بر نحوه دفع پسماندهای صنعتی اعمال نمی شود و استفاده از پوشش کروم به صورت گسترده در صنایع دولتی و به ویژه خصوصی مرسوم می باشد، لذا جهت جلوگیری از آسیب های زیست محیطی، لازم است تا به گونه ای استفاده از این نوع پوشش متوقف شده و روش های موثرتری جایگزین آن شوند.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۲- مروری بر تاریخچه آبکاری الکتریکی کروم و نیکل

۱-۱-۲- تاریخچه آبکاری الکتریکی نیکل

آبکاری نیکل برای اولین بار در سال ۱۸۳۷ توسط برده (G.Bird) ارائه شد. وی محلولی از کلرید نیکل یا سولفات نیکل را الکترولیز نمود و پس از چند ساعت پوسته ای از فلز نیکل را بر روی الکترودی از جنس پلاتین مشاهده کرد. در سال ۱۸۴۰ نخستین امتیاز مربوط به آبکاری نیکل به صورت صنعتی توسط شور (J.Shore) در کشور انگلستان ثبت شد. پیشنهاد وی برای آبکاری الکتریکی نیکل، استفاده از محلولی متشکل از ترکیب نترات نیکل بود. پس از مدت کوتاهی از این زمان بسیاری از محققان نتایج تحقیقات خود را بر روی شرایط آبکاری نیکل ارائه کردند. در سال ۱۸۶۸ محققى به نام رمینگتون (W.H.Remington) طرحی را جهت آبکاری نیکل در ابعاد صنعتی ارائه کرد. وی استفاده از محلول های حاوی ترکیب نیکل آمونیوم کلراید را پیشنهاد نمود ولی این نظریه به علت استفاده بیش از حد از آمونیوم در حمام آبکاری با مشکلاتی مواجه شد. این محقق همچنین برای اولین بار طرح استفاده از آندهای نیکلی، شامل سبدهای غیر حل شونده جهت نگهداری گلوله های نیکلی به عنوان آند، را پیشنهاد نمود. این سبدها از جنس پلاتین بودند و کلوخه های نیکل دارای ناخالصی هایی نظیر مس (۰.۵٪) و آهن (۰.۱٪) بودند. [۵] این روش در سال ۱۸۶۹ توسط آدامز (Dr. Adams) تکمیل شد. وی امتیاز آبکاری الکتریکی نیکل از طریق استفاده از حمام های نیکل آمونیوم سولفات را به نام خود ثبت کرد. این روش تا حدود ۱۷ سال پس از ثبت به عنوان یک روش متداول در صنعت آبکاری الکتریکی نیکل در آن روزگار به کار گرفته می شد. در طی دهه ۱۸۹۰ استفاده از اسید بریک به عنوان بافر و کلریدها به عنوان عامل خورنده آند در حمام های آبکاری الکتریکی نیکل بسیار متداول شد. شرکت کنینگ (Canning)، در سال ۱۹۱۰ حمامی متشکل از سولفات نیکل، کلرید سدیم و اسید بریک را جهت آبکاری الکتریکی نیکل ارائه نمود. در سال ۱۹۱۶ پروفیسور وات (Watt) در دانشگاه Wisconsin آمریکا حمامی متشکل از سولفات نیکل، کلرید

نیکل و اسید بریک را جهت آبکاری الکتریکی نیکل پیشنهاد نمود که این حمام تا امروز نیز در ابعاد صنعتی و آزمایشگاهی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. [۵]

۲-۱-۲- تاریخچه آبکاری الکتریکی کروم

اولین امتیاز مربوط به آبکاری الکتریکی کروم در سال ۱۸۴۸ توسط دیبوسی (J. deBussy) به ثبت رسید. در سال ۱۸۵۴ اولین مقاله علمی درباره آبکاری الکتریکی کروم توسط باسن (Busen) ارائه شد. گیوتر (Dr. Geuthe) در سال ۱۸۵۶ یک مقاله علمی درباره آبکاری الکتریکی کروم با جزئیات دقیق و جالب، ارائه نمود. وی در آزمایشات خود از حمام حاوی اسید کرومیک و اسید سولفوریک استفاده کرد. در سال ۱۸۹۱ امتیازهای بسیاری بر اساس استفاده از محلول های کرومات در آبکاری الکتریکی کروم ثبت شد. با ادامه تحقیقات در این زمینه سرانجام در سال ۱۹۰۶ پروفسور بنکرفت (Bancroft) بیان کرد که عامل اصلی ایجاد پوشش کروم فلزی در آبکاری الکتریکی، نه سولفات و نه آلوم^۱ کروم است، بلکه در حقیقت اسید کرومیک می باشد. محقق دیگری به نام سالزر (Dr. Salzer) تحقیقاتی را بر روی محلول های اسید کرومیک مورد استفاده در آبکاری الکتریکی کروم انجام داد و بیان کرد که استفاده از سولفات کروم در این نوع حمام ها دارای مزایای بسیاری در بدست آوردن پوشش کروم می باشد. سارجنت (Dr. Sargent) در طی سال های ۱۹۱۲ تا ۱۹۱۴ تحقیقاتی را درباره ترکیبات مختلف از اسید کرومیک و سولفات کروم، انجام داد ولی نتایج این تحقیقات تا سال ۱۹۲۰ در هیچ نشریه ای چاپ نشد. [۵]

در دهه ۱۹۲۰ محقق به نام لیبریوک (Dr. Liebreuch) تحقیقات مشابهی انجام داد و موفق به ثبت امتیازهایی در مورد آبکاری الکتریکی کروم شد که در صنعت کاربرد فراوانی یافتند. البته کشف شرایط مناسب صنعتی جهت آبکاری الکتریکی کروم تا حدود زیادی مرهون تلاش های پروفسور فینک (C.Fink) و فانهازر (Dr. W.Pfanhauser) می باشد. تحقیقات آزمایشگاهی پروفسور فینک و دستیارانش سرانجام منجر به انجام اولین آبکاری الکتریکی کروم در ابعاد صنعتی و با رعایت جنبه های اقتصادی در سال ۱۹۲۴ شد. پوشش های کرومی که در آن روزگار در دمای پایین تولید می شدند، کدر بوده و دارای ضخامت زیادی بودند و برای براق شدن نیاز به پولیش کردن داشتند. در سال ۱۹۲۷ هرینگ (Haring) و باروز (Barrows) تحقیقات گسترده ای درباره تاثیر شرایط مختلف حمام های اسید کرومیک مورد استفاده در آبکاری الکتریکی کروم بر خواص پوشش های کروم بدست آمده انجام دادند. از جمله