



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده فنی مهندسی

شماره پایان نامه :

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

عنوان :

تولید و بررسی خواص پوشش الکترولس دولایه کامپوزیتی نیکل - فسفر / نیکل - بور حاوی ذرات SiC

استاد راهنما:

دکتر بهنام لطفی

استاد مشاور:

دکتر محمود منیر واقفی

نگارنده :

محسن اسدی

بهمن ماه سال ۱۳۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده فنی مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه آقای محسن اسدی دانشجوی رشته: مهندسی مواد گرایش: شناسایی و انتخاب مواد

دانشکده فنی مهندسی به شماره دانشجویی ۹۰۱۷۵۰۲

با عنوان :

تولید و بررسی خواص پوشش الکترولس دولایه کامپوزیتی نیکل - فسفر / نیکل - بور حاوی ذرات SiC

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با

درجه تصویب گردید.

امضاء	رتبه علمی	اعضای هیأت داوران :	
.....	استاد راهنما:.....	۱.
.....	استاد مشاور :.....	
.....	استاد داور :.....	
.....	استاد داور :.....	
.....	نماینده تحصیلات تکمیلی :.....	
.....	مدیر گروه :.....	۲.
.....	معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :	۳.
.....	
.....	مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه :	۴.
.....	

چکیده

نام خانوادگی : اسدی	نام: محسن	شماره دانشجویی : ۹۰۱۷۵۰۲
عنوان پایان نامه : تولید و بررسی خواص پوشش الکترولس دولایه کامپوزیتی نیکل- فسفر /نیکل- بور حاوی ذرات SiC		
استاد/ اساتید راهنما: دکتر بهنام لطفی		
استاد/ اساتید مشاور: دکتر محمود منیرواقفی		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مواد	گرایش: شناسایی و انتخاب مواد
دانشگاه : شهید چمران اهواز	دانشکده: فنی مهندسی	گروه : متالورژی
تاریخ فارغ التحصیلی :		
تعداد صفحه:		
کلید واژه ها : پوشش نیکل-بور، ضریب اصطکاک، سایش، کامپوزیت، نقش SiC، نیکل-فسفر.		
چکیده		
<p>در سال‌های اخیر، از میان پوشش‌های مورد استفاده در صنعت، پوشش‌های نیکل-بور جهت ارتقای مقاومت سایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزیت اصلی پوشش الکترولس نیکل-بور برتری در سختی و مقاومت در برابر سایش است. پوشش‌های الکترولس نیکل-بور دارای مقاومت سایشی بالاتر از فولاد ابزار و پوشش کروم سخت می‌باشند. مقاومت در برابر سایش و ضریب اصطکاک پوشش‌های الکترولس نیکل-بور با افزودن عناصر آلیاژی همچون کاربید سیلیسیم بهبود می‌یابد. هدف از تحقیق حاضر، به دست آوردن پوشش دولایه نیکل-فسفر/نیکل-بور-کاربید سیلیسیم با استفاده از فرآیند الکترولس و ارزیابی سختی و مقاومت در برابر سایش آن است. در این تحقیق ابتدا با کنترل پارامترهای اساسی نظیر دما، غلظت حمام و مقدار کاربید، پوشش بهینه نیکل-بور-کاربید سیلیسیم بر پوشش الکترولس نیکل با مقدار فسفر بالا روی زیرلایه‌ای از جنس فولاد ساده کربنی (CK45) ایجاد و سپس به بررسی تاثیر SiC بر خواص پوشش الکترولس کامپوزیتی نیکل-بور-SiC پرداخته شد. هم‌چنین به منظور مشخص نمودن تاثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص حاصل، پوشش‌ها در دماهای ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت در کوره قرار داده شده و سپس در کوره سرد شدند. پوشش‌های دولایه معمولی و عملیات حرارتی شده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکرو آنالیز (EDS) و متالوگرافی ارزیابی ریزساختاری و ریزسختی سنجی شده، و رفتار خوردگی و سایشی در دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر عملیات حرارتی و افزودن ذرات SiC به پوشش رویی بر ضریب اصطکاک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد با انجام عملیات حرارتی پوشش به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد، ساختار آمورف آن به نانوکریستالی تبدیل شده و این امر باعث افزایش ریزسختی پوششها به میزان ۱۲۸۸ ویکرز شد. نتایج آزمون سایش و کاهش وزن نمونه‌ها نشان داد که پوشش عملیات حرارتی شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد دارای بیشترین مقاومت سایشی می‌باشد به طوری که میزان کاهش وزن پس از ۱۰۰۰ متر مسافت لغزش ۲/۶ میلی گرم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ضریب اصطکاک پوشش‌ها نشان داد که با افزودن کاربید سیلیسیم در پوشش، ضریب اصطکاک پوشش‌ها افزایش یافته و عملیات حرارتی تاثیری بر ضریب اصطکاک ندارد.</p>		

واگذاری حقوق:

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
ناشی از این پایان‌نامه (رساله) در
اختیار دانشگاه شهید چمران اهواز
است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که وجودم برایشان همه
رنج بود و وجودشان برایم همه مهر. آنان که
فروغ نگاه، گرمی کلام و روشنی رویشان
سایه‌بان جاودان زندگیم باشد که تمام
سختیهای راه زندگی را به دوش کشیدند تا
در آرامش رشد یابم.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم میدانم از زحمات و تلاشهای
دلسوزانه و مستمر اساتید گرامی جناب آقایان دکتر
بهنام لطفی و دکتر محمود منیرواقفی که همواره
راهنمای بنده در طول مدت انجام پروژه بوده‌اند و
فرصت شاگردی خود را به بنده دادند،
سپاس‌گذاری نموده و امیدوارم تا پایان عمر شاگرد
شایسته‌ای برای این بزرگواران باشم.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: مروری بر منابع

۳	۱-۲- فرایند الکترولس نیکل.....
۴	۱-۱-۲- تاریخچه آبکاری الکترولس نیکل.....
۴	۲-۱-۲- مقایسه پوشش‌های الکترولس نیکل با پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل.....
۴	۳-۱-۲- مزایای پوشش‌های الکترولس نیکل نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل.....
۵	۴-۱-۲- معایب پوشش‌های الکترولس نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل.....
۶	۵-۱-۲- اجزای تشکیل دهنده حمام الکترولس نیکل.....
۸	۶-۱-۲- انواع حمام‌های الکترولس نیکل.....
۸	۷-۱-۲- حمام‌های قلیایی هیپوفسفات سدیم.....
۸	۸-۱-۲- حمام‌های بورویدرید سدیم.....
۹	۹-۱-۲- حمام‌های آمینوبوران.....
۹	۱۰-۱-۲- حمام‌های اسیدی هیپوفسفات.....
۱۰	۱۱-۱-۲- پایه در آبکاری الکترولس و آماده‌سازی سطح آن.....
۱۱	۱۲-۱-۲- آماده‌سازی سطح پایه برای آبکاری الکترولس.....
۱۲	۲-۲- پوشش‌های الکترولس نیکل-بور.....
۱۳	۱-۲-۲- مکانیسم‌های رسوب دهی در حمام‌های با پایه سدیم بور هیدرید.....
۱۴	۲-۲-۲- تاثیر دمای حمام.....
۱۶	۳-۲-۲- تاثیر زمان رسوب‌دهی.....
۱۸	۴-۲-۲- تاثیر $NiCl_2$
۲۰	۵-۲-۲- مورفولوژی پوشش‌های نیکل-بور.....
۲۲	۳-۲-۲- خواص پوشش‌های الکترولس نیکل-بور.....
۲۲	۱-۳-۲- سختی و مقاومت به سایش.....
۲۲	۲-۳-۲- مقاومت به خوردگی.....
۲۲	۳-۳-۲- عملیات حرارتی پوشش الکترولس نیکل-بور.....
۲۳	۴-۲- سایش.....
۲۴	۵-۲- مکانیسم‌ها و فرآیندهای سایش.....
۲۵	۶-۲- سایش خراشان.....
۲۶	۷-۲- سایش چسبان.....
۲۷	۸-۲- سایش ورقه ای.....

۲۷	۹-۲- سایش تریبوشیمی
۲۸	۱۰-۲- سایش نوسانی
۲۹	۱۱-۲- سایش خستگی سطحی
۳۰	۱۲-۲- دسته بندی فرایندهای صنعتی جهت مقاوم سازی سطوح در مقابل سایش
۳۱	۱۳-۲- مروری بر پوشش های مورد استفاده برای افزایش مقاومت به سایش
۳۹	۱۴-۲- کاربرد سیلیسیم (SiC)
۴۰	۱-۱۴-۲- کشف
۴۱	۲-۱۴-۲- تولید
۴۳	۳-۱۴-۲- ساختار و خواص SiC
۴۵	۴-۱۴-۲- کاربردها
۴۶	۱۵-۲- پرکاربردترین روش های پوشش دهی SiC
۴۶	۱-۱۵-۲- سل-ژل
۴۶	۲-۱۵-۲- پاشش حرارتی
۴۷	۳-۱۵-۲- نشست جت بخار (JVD)
۴۷	۴-۱۵-۲- چگالش شیمیایی بخار (CVD)
۴۸	۵-۱۵-۲- آبرکاری
۴۸	۱۶-۲- جمع بندی پژوهش مروری و هدف تحقیق حاضر

فصل سوم: مواد و روش ها

۴۹	۱-۳- مواد
۴۹	۱-۱-۳- فلز پایه
۵۰	۲-۱-۳- پوشش
۵۱	۲-۳- آماده سازی نمونهها جهت پوشش دهی
۵۲	۳-۳- مشخصات پودر کاربرد سیلیسیم و فعال سازی آن
۵۳	۴-۳- فرایند پوشش دهی
۵۳	۱-۴-۳- حمام الکترولس
۵۴	۲-۴-۳- کنترل و اندازه گیری دما
۵۴	۳-۴-۳- کنترل و اندازه گیری pH
۵۴	۴-۴-۳- هم زدن محلول الکترولس
۵۵	۵-۳- عملیات حرارتی نمونهها
۵۶	۶-۳- ارزیابی نمونهها
۵۶	۱-۶-۳- متالوگرافی
۵۶	۲-۶-۳- ریزسختی سنجی
۵۶	۳-۶-۳- آنالیز پراش پرتو ایکس

- ۳-۶-۴- بررسی مورفولوژیکی و ترکیبی پوشش‌ها (SEM و EDS) ۵۶
- ۳-۶-۵- ارزیابی رفتار خوردگی (آزمون پلاریزاسیون تافل) ۵۷
- ۳-۶-۶- ارزیابی رفتار تریبولوژیکی ۵۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۴-۱- ساختار و آنالیز پوششها ۶۰
- ۴-۱-۱- مواد اولیه ۶۰
- ۴-۱-۲- انتخاب بهترین مقدار کاربرد سیلیسیم برای پوشش‌دهی ۶۲
- ۴-۲- تاثیر عملیات حرارتی بر ساختار و مورفولوژی پوشش‌ها ۷۲
- ۴-۲-۱- تاثیر عملیات حرارتی بر ساختار پوشش‌ها ۷۲
- ۴-۲-۲- تاثیر عملیات حرارتی بر مورفولوژی سطح پوشش‌ها ۷۴
- ۴-۳- ریزسختی پوشش‌ها ۸۳
- ۴-۴- خوردگی پوشش‌ها ۸۴
- ۴-۵- رفتار سایشی پوشش‌ها ۸۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۷
- ۵-۲- پیشنهادات ۹۸
- مراجع ۹۹

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
	فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده
۱۴.....	شکل (۱-۲): نرخ آبرکاری پوشش الکترولس نیکل-بور در غلظت‌های مختلف از سدیم بور هیدرید.....
۱۵.....	شکل (۲-۲): اثر دمای حمام در مقدار NaBH_4 ثابت ($0/6 \text{ g/L}$).....
۱۶.....	شکل (۳-۲): تاثیر زمان پوشش‌دهی در مقدار NaBH_4 ثابت ($1/6 \text{ g/L}$).....
۱۷.....	شکل (۴-۲): تاثیر زمان پوشش‌دهی در دمای ثابت (۹۵ درجه سانتیگراد).....
۱۷.....	شکل (۵-۲): اثر زمان پوشش‌دهی در مقدار NiCl_2 ثابت ($1/0 \text{ g/L}$).....
۱۸.....	شکل (۶-۲): اثر زمان پوشش‌دهی در مقدار NiCl_2 ثابت ($4/0 \text{ g/L}$).....
۱۹.....	شکل (۷-۲): اثر مقدار NiCl_2 در زمان پوشش‌دهی ثابت (۳۰ دقیقه).....
۱۹.....	شکل (۸-۲): تاثیر مقدار NiCl_2 در زمان پوشش‌دهی ثابت (۹۰ دقیقه).....
۲۱.....	شکل (۹-۲): مقایسه مورفولوژی‌های سطح پوشش با ساختارهای طبیعی.....
۲۴.....	شکل (۱۰-۲): انواع فرایندهای سایش.....
۲۴.....	شکل (۱۱-۲): انواع مکانیزم‌های سایش.....
۲۵.....	شکل (۱۲-۲): انواع فرایندهای سایش بر اساس نوع حرکت.....
۲۶.....	شکل (۱۳-۲): سایش خراشان الف) دو جسمی و ب) سه جسمی.....
۲۷.....	شکل (۱۴-۲): مکانیزم‌های مختلف گسیختگی اتصالات سطحی و سایش چسبان.....
۲۸.....	شکل (۱۵-۲): مراحل مختلف سایش نوسانی.....
۲۹.....	شکل (۱۶-۲): تشکیل و اشاعه ترک در مکانیزم خستگی سطحی.....
۳۱.....	شکل (۱۷-۲): انواع عملیات متالورژی سطح بر حسب ضخامت لایه.....
۳۳.....	شکل (۱۸-۲): تصویر SEM مقطع عرضی پوشش دولایه الکترولس نیکل-فسفر/نیکل-فسفر-تنگستن.....
۳۴.....	شکل (۱۹-۲): تصویر TEM گرفته شده از ذرات کاربید سیلیسیم با اندازه ۵۰ نانومتر.....
۳۵.....	شکل (۲۰-۲): ارتباط بین غلظت SiC در حمام و مقدار آن در پوشش.....
۳۶.....	شکل (۲۱-۲): تاثیر مقدار کاربید سیلیسیم بر مقاومت به سایش پوشش.....
۳۶.....	شکل (۲۲-۲): منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش Ni-P-SiC قبل و بعد از عملیات حرارتی.....
۳۸.....	شکل (۲۳-۲): ضریب اصطکاک پوشش کامپوزیتی با مقدار گرافیت متفاوت در حمام الکترولس.....
۳۹.....	شکل (۲۴-۲): کاربید سیلیسیم تک بلور.....
۴۱.....	شکل (۲۵-۲): تک کریستال کاربید سیلیسیم طبیعی.....
۴۱.....	شکل (۲۶-۲): لامپ LED اولیه ساخته شده از SiC
۴۳.....	شکل (۲۷-۲): دیاگرام فازی Si-C
۴۴.....	شکل (۲۸-۲): ساختار کریستالوگرافی کاربید سیلیسیم.....
۴۵.....	شکل (۲۹-۲): هدایت گرمایی کاربید سیلیسیم بر حسب دما (۱) SiC 4H- (۲) SiC 3C- و (۳) SiC 6H-.....

فصل سوم: مواد و روش ها

- شکل (۳-۱): الف) زیرلایه، ب) نمونه سندبلاست شده، ج) پوشش نیکل-فسفر و د) پوشش دولایه نیکل-فسفر / نیکل-بور ۵۲
- شکل (۳-۲): شماتیکی از وضعیت حمام و محل قرارگیری تجهیزات لازم ۵۴
- شکل (۳-۳): الف) حمام الکترولس نیکل-فسفر و ب) حمام نیکل-بور ۵۵
- شکل (۳-۴): پتانسیو استات مدل Parstat 2273 ۵۷
- شکل (۳-۵): شماتیک سل ساخته شده جهت آزمون امپدانس الکتروشیمیایی ۵۷
- شکل (۳-۶): دستگاه سایش پین بر روی دیسک مورد استفاده در این تحقیق ۵۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

- شکل (۴-۱): الگوی XRD پودر کاربید سیلیسیم مورد استفاده در این تحقیق ۶۰
- شکل (۴-۲): تصویر SEM پودر کاربید سیلیسیم مورد استفاده در این تحقیق در بزرگنمایی های مختلف ۶۱
- شکل (۴-۳): آنالیز EDS پودر کاربید سیلیسیم ۶۲
- شکل (۴-۴): تصویر SEM از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۲/۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۴
- شکل (۴-۵): تصویر SEM از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۵
- شکل (۴-۶): تصویر SEM از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۷/۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۶
- شکل (۴-۷): تصویر SEM از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۱۰ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۷
- شکل (۴-۸): تصویر SEM از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۱۲ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۸
- شکل (۴-۹): آنالیز EDS از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۲/۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۹
- شکل (۴-۱۰): آنالیز EDS از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۶۹
- شکل (۴-۱۱): آنالیز EDS از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۷/۵ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۷۰
- شکل (۴-۱۲): آنالیز EDS از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۱۰ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۷۰
- شکل (۴-۱۳): آنالیز EDS از سطح نمونه پوشش دهی شده در حمام حاوی ۱۲ گرم بر لیتر کاربید سیلیسیم ۷۱
- شکل (۴-۱۴): الگوی XRD پوشش ها قبل بعد از عملیات حرارتی در دماهای مختلف ۷۳
- شکل (۴-۱۵): تصویر FESEM از سطح نمونه نیکل-فسفر ۷۵
- شکل (۴-۱۶): تصویر FESEM از سطح پوشش دولایه نیکل-فسفر/نیکل-بور ۷۶
- شکل (۴-۱۷): تصویر FESEM از سطح نمونه کامپوزیت دولایه نیکل-فسفر/نیکل-بور-کاربید سیلیسیم ۷۷
- شکل (۴-۱۸): تصویر FESEM از سطح نمونه کامپوزیت دولایه Ni-P/Ni-B-SiC عملیات حرارتی شده در $350^{\circ}C$ ۷۸
- شکل (۴-۱۹): تصویر FESEM از سطح نمونه کامپوزیت دولایه Ni-P/Ni-B-SiC عملیات حرارتی شده در $450^{\circ}C$ ۷۹
- شکل (۴-۲۰): تصویر FESEM از سطح نمونه کامپوزیت دولایه Ni-P/Ni-B-SiC عملیات حرارتی شده در $550^{\circ}C$ ۸۰
- شکل (۴-۲۱): تصویر FESEM از سطح مقطع کامپوزیت دولایه Ni-P/Ni-B-SiC ۸۱

- شکل (۴-۲۲): تصویر زاویه دار (FESEM (Tilt) از سطح مقطع نمونه کامپوزیت دولایه Ni-P/Ni-B-SiC..... ۸۲
- شکل (۴-۲۳): نتایج آزمون ریزسختی نمونه‌ها قبل و بعد از عملیات حرارتی در دماهای مختلف..... ۸۳
- شکل (۴-۲۴): نمودارهای پلاریزاسیون تافل مربوط به زیرلایه و پوشش‌های اعمال شده..... ۸۵
- شکل (۴-۲۵): نمودارهای کاهش وزن نمونه‌های و زیرلایه بر حسب مسافت لغزش در دمای محیط..... ۸۶
- شکل (۴-۲۶): مقادیر کل کاهش وزن دیسک بعد از طی مسافت ۱۰۰۰ متر تحت نیروی ۱۰ نیوتن برای نمونه‌های مختلف..... ۸۶
- شکل (۴-۲۷): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش برای زیرلایه فولادی..... ۸۷
- شکل (۴-۲۸): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش پوشش نیکل-فسفر..... ۸۷
- شکل (۴-۲۹): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش نمونه دولایه Ni-P/Ni-B..... ۸۹
- شکل (۴-۳۰): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش نمونه کامپوزیتی دولایه Ni-P/Ni-B-SiC..... ۸۹
- شکل (۴-۳۱): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش نمونه کامپوزیتی عملیات حرارتی شده در دمای ۳۵۰°C..... ۸۹
- شکل (۴-۳۲): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش نمونه کامپوزیتی عملیات حرارتی شده در دمای ۴۵۰°C..... ۹۰
- شکل (۴-۳۳): تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش نمونه کامپوزیتی عملیات حرارتی شده در دمای ۵۵۰°C..... ۹۰
- شکل (۴-۳۴): تصاویر SEM از سطح سایش زیرلایه فولادی در بزرگنمایی‌های مختلف..... ۹۱
- شکل (۴-۳۵): آنالیز EDS از نقاط مختلف در تصویر ۴-۳۴..... ۹۲
- شکل (۴-۳۶): تصاویر SEM از سطح سایش پوشش دولایه نیکل-فسفر/نیکل-بور در بزرگنمایی‌های مختلف..... ۹۳
- شکل (۴-۳۷): آنالیز EDS از نقاط مختلف در تصویر ۴-۳۶..... ۹۴
- شکل (۴-۳۸): تصاویر SEM از سطح سایش نمونه پوشش داده شده در حمام حاوی ۷/۵ گرم بر لیتر سیلیسیم و عملیات حرارتی شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد در بزرگنمایی‌های مختلف..... ۹۵
- شکل (۴-۳۹): آنالیز EDS از نقاط مختلف در تصویر ۴-۳۸..... ۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده	
جدول (۱-۲) مواد استفاده شده و شرایط مختلف پوشش‌دهی	۱۵
جدول (۲-۲): مقایسه بین پوشش‌های نیکل-فسفر و نیکل-بور	۲۳
جدول (۳-۲) ریزسختی پوشش الکترولس معمولی و کامپوزیتی و تاثیر عملیات حرارتی بر آن	۳۴
جدول (۴-۲) ترکیب شیمیایی و شرایط فرایند	۳۵
جدول (۵-۲) پارامترهای خوردگی پوشش Ni-P-SiC قبل و بعد از عملیات حرارتی به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون	۳۷
جدول (۶-۲) پارامترهای امپدانس پوشش Ni-P-SiC قبل و بعد از عملیات حرارتی	۳۷
جدول (۷-۲) پارامترهای خوردگی پوشش Ni-P-SiC به دست آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون	۳۷
جدول (۸-۲) پارامترهای امپدانس پوشش Ni-P-SiC	۳۷
جدول (۹-۲) نتایج آزمون سایش پوشش کامپوزیتی با مقدار متفاوت گرافیت در بار ۷۰ نیوتن با سرعت چرخش ۵۰ دور بر دقیقه	۳۸
جدول (۱۰-۲) برخی خواص فیزیکی SiC	۴۰
جدول (۱۱-۲) خواص پلیمورفهای اصلی SiC	۴۴
فصل سوم: مواد و روش‌ها	
جدول (۱-۳) ترکیب شیمیایی اسمی فولاد CK45	۴۹
جدول (۲-۳) مواد مورد نیاز برای ساخت حمام یک لیتری	۵۰
جدول (۳-۳) غلظت اجزاء سازنده حمام اشلوتر	۵۰
جدول (۴-۳) ترکیب شیمیایی حمام الکترولس نیکل-بور	۵۱
فصل چهارم: نتایج و بحث	
جدول (۱-۴) نتایج به دست آمده از آنالیز عنصری پوشش‌ها	۷۱
جدول (۲-۴) نتایج حاصل از منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک زیرلايه و پوشش‌های اعمال شده	۸۴

فصل اول

مقدمه

افزایش عمر قطعات، یکی از بزرگترین مسایلی است که ذهن مهندسان را به خود مشغول کرده است. در میان عواملی که باعث کاهش عمر قطعات می شود، سایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پدیده هر سال موجب خسارات زیادی در صنعت می شود. برای جلوگیری از سایش می توان از مواد مقاوم به سایش استفاده نمود ولی با توجه به قیمت بالای این مواد، این کار مقرون به صرفه نبوده و از نظر اقتصادی، عملی نیست. بهترین روش برای کاهش خسارات ناشی از سایش، پوشش دهی قطعات مورد کاربرد با پوشش های مقاوم به سایش است.

روشهای متعددی از جمله آبرکاری الکتریکی، پراکنش^۱، آندایزینگ، سل-ژل، الکترولس، رسوب فیزیکی بخار (PVD) و غیره برای پوششدهی قطعات تحت سایش بکار گرفته شده که از میان آنها در صنعت روش الکترولس به دلیل ارزانی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و کنترل آسان و دقیق فرایند کاربرد بیشتری یافته است.

پوششدهی به روش الکترولس یک فرایند مهندسی سطح است که شامل رسوب یک پوشش آلیاژی فلز-شبه فلز بر روی یک زیرلایه^۲ بدون اعمال جریان الکتریکی است. علت اصلی توسعهی پوششهای الکترولس نیکل، داشتن چسبندگی بسیار خوب به زیرلایه، یکنواختی ضخامت، سختی و مقاومت سایشی

۱- Sputtering

۲- Substrate

مناسب، مقاومت به خوردگی، لحیم پذیری و قابلیت عملیات حرارتی آن است. از طرف دیگر از لحاظ جنبه‌های زیست محیطی جایگزین خوبی برای فرایند کروم سخت است زیرا فرایند کروم سخت سمی است. قابلیت دیگر این پوششها گستره بالای زیرلایه‌های قابل پوشش نظیر فلزات، سرامیکها و پلیمرها میباشد. با این وجود حدود ۹۵٪ قطعات پوشش داده شده به روش الکترولس جزو مواد فلزی بوده که از این میان فولادها سهمی معادل ۸۰٪ را به خود اختصاص میدهند.

پوشش الکترولس نیکل-بور نیز پوشش جدیدی است که برای استفاده در محدوده گسترده صنایع مهندسی به دلیل مزایای بسیار آن از قبیل یکنواختی ضخامت، مقاومت در برابر سایش، شکل پذیری خوب، مقاومت در برابر خوردگی، قابلیت لحیم کاری و خواص الکتریکی مطرح شده است. این پوششها از طریق احیای یونهای نیکل با به کارگیری بور حاوی عوامل احیاکننده، تولید می گردند. در میان عوامل احیاکننده استفاده شده برای آماده سازی پوشش Ni-B، بالاترین راندمان از طریق سدیم هیدروبورات حاصل می گردد. حمامهای حاوی عامل احیاکننده هیدروبورات نیز در شرایط با هزینه کم ترجیح داده می شوند. اگرچه اجرای پوششهای الکترولس نیکل-بور روی زیرلایه‌های آهنی گزارش گردیده ولی بررسیهای نسبتا کمی روی خواص سایشی آنها مخصوصا در حالت پوشش کامپوزیتی دولایه الکترولس نیکل-فسفر/نیکل-بور-کاربید سیلیسیم انجام شده است. در این پژوهش از پوشش الکترولس نیکل-فسفر با مقادیر فسفر بالا به عنوان پوشش زیرین استفاده می شود که دلیل آن مقاومت به خوردگی بالای این پوشش می باشد و از پوشش کامپوزیتی نیکل-بور-SiC به عنوان لایه بیرونی استفاده می شود که منظور از این کار به حداکثر رساندن مقاومت سایشی است.

هدف از تحقیق حاضر ایجاد پوشش دولایه الکترولس نیکل-فسفر/نیکل-بور-کاربید سیلیسیم روی زیرلایه فولاد ساده کربنی (CK45) و مطالعه تاثیر پارامترهای فرایند الکترولس بر خواص مکانیکی و رفتار سایشی و خوردگی آن است. هم چنین، تاثیر ذرات SiC و مقدار آن بر ضریب اصطکاک پوششهای حاصل بررسی می شود.

پایان نامه در پنج فصل تدوین یافته که فصل اول مقدمه و فصل دوم مروری بر پژوهشهای انجام شده است و در آن به بیان اهمیت انجام این پژوهش پرداخته شده است. فصل سوم مواد و روش تحقیق است که در آن، مواد اولیه مورد استفاده، فرایند پوشش دهی و روش انجام آزمونها آورده شده است. در فصل چهارم به بررسی تاثیر پارامترهای فرایند و مقدار SiC بر خواص سایشی و سطحی پوشش پرداخته می شود. در نهایت در فصل پنجم نتایج به دست آمده از پایان نامه و پیشنهادات برای کارهای بعدی آورده شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- فرایند الکترولس نیکل

آبکاری الکترولس نیکل، روشی برای ایجاد پوشش نیکل بدون اعمال جریان خارجی است و الکترون مورد نیاز بوسیله واکنش‌های شیمیایی درون حمام تامین می‌شود. از فرایند الکترولس نیکل با هدف ایجاد پوشش فلزی پیوسته و یکنواخت استفاده می‌شود. همچنین آبکاری الکترولس را تحت عنوان آبکاری خودکاتالیتیکی^۱ نیز می‌نامند، زیرا قابلیت تشکیل روی فلزات و موادی را دارد که از نظر کاتالیتیکی فعال هستند.

در فرایند آبکاری الکترولس، یون‌های فلزی و عامل احیا کننده فقط در حضور کاتالیزور با یکدیگر واکنش داده و بنابراین برای شروع واکنش احیا، مواد پایه باید فعال باشند و یا اینکه سطح زیرلایه را باید توسط کاتالیزورهای مناسب فعال نمود. این روش مخصوصاً در مواردی که غیرهادی‌ها (مانند پلاستیک) به عنوان زیرلایه استفاده می‌شوند دارای اهمیت است. در حمام‌های الکترولس نیکل عامل احیا کننده و منبع تهیه الکترون برای احیا، نمک‌های فلزی بوده و می‌تواند هیپوفسفیت، فرمالدئید، بوروهیدرید و یا آمینوبوران باشد [۱ و ۲].

۱ - Autocatalytic

۲-۱-۱- تاریخچه آبکاری الکترولس نیکل

استفاده از خاصیت احیا کنندگی هیپوفسفیت روی نمک‌های نیکل و ایجاد پوشش فلزی کاملاً چسبنده و متراکم برای اولین بار با ثبت اختراعی در سال ۱۹۱۶ توسط راکس^۱ منتشر شد. در سال ۱۹۴۴، برنر^۲ و ریدل^۳ اساس فرایند الکترولس را به صورت آنچه امروز وجود دارد پایه گذاری کردند. حاصل اولین تلاش آن‌ها، ایجاد رسوبی از آلیاژ نیکل-تنگستن بر سطح داخلی یک لوله فولادی بود. حدود ۱۰ سال بعد در سال ۱۹۵۵ نخستین واحد صنعتی آبکاری الکترولس نیکل تحت نام تجاری کانیزن به مفهوم نسل نیکل کاتالیتیکی تاسیس شد. پس از گذشت چند سال از صنعتی شدن این فرایند، ابتدا پوشش‌های نسل دوم الکترولس نیکل در سال ۱۹۵۷ و سپس پوشش‌های نسل سوم یعنی پوشش‌های نیکل-فسفر (پرفسفر) در بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۲ پا به عرصه ظهور گذاردند. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که در بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱، بازار جهانی پوشش‌های الکترولس نیکل، سالانه از نرخ رشدی معادل ۱۵ درصد برخوردار بوده است. امروزه از میان انواع پوشش‌های الکترولس نیکل، پوشش‌های نیکل-فسفر بیشترین کاربردهای صنعتی را به خود اختصاص داده‌اند به طوری که بیش از ۹۰ درصد پوشش‌های الکترولس نیکل در جهان با استفاده از حمام‌های پایه هیپوفسفیت تهیه می‌شوند [۱].

۲-۱-۲- مقایسه پوشش‌های الکترولس نیکل با پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل

پوشش‌های نیکل-فسفر از طریق روش‌های الکتریکی نیز قابل حصول هستند. در روش آبکاری الکترولس و نیز آبکاری الکتریکی، یون‌های فلزی موجود در محلول، احیا شده و رسوبی از فلز و یا ترکیب جامد بوجود می‌آید. تفاوت این دو روش در منبع تامین الکترون‌های لازم برای انجام عمل احیا است. در روش آبکاری الکتریکی، الکترون‌ها توسط منبع خارجی تامین می‌شوند در حالی که در روش آبکاری الکترولس این عمل توسط عامل احیا کننده شیمیایی انجام خواهد شد. عامل احیا کننده‌ای که عموماً در روش آبکاری الکترولس مورد مصرف قرار می‌گیرد هیپوفسفیت سدیم است. یون هیپوفسفیت دارای پتانسیل احیا کنندگی ۰/۹۷- بوده و بنابر این نسبت به یون‌های نیکل با پتانسیل استاندارد ۰/۲۵۷- حالت احیا کنندگی دارد.

۲-۱-۳- مزایای پوشش‌های الکترولس نیکل نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل

الف- در روش آبکاری الکتریکی، از آندهای نیکلی برای انجام آبکاری استفاده می‌شود. آندهای مورد استفاده یکی از منابع ورود ناخالصی‌ها به داخل حمام بوده که در روش الکترولس، حذف خواهند شد.

۱- Roux

۲- Brenner

۳- Riedel

- ب- یکنواختی پوشش‌های الکترولس نیکل - فسفر بیشتر از پوشش‌های رسوب الکتریکی است به طوری که حتی اگر جسم آبکاری شده دارای شکل پیچیده و ناهموار باشد، پوشش به دست آمده در روش الکترولس دارای ضخامت یکسان در کلیه قسمت‌ها است. در روش الکترولس، سطح نمونه به عنوان کاتالیزور عمل نموده و باعث خواهد شد که نیروی محرکه برای احیای شیمیایی در کلیه قسمت‌های جسم، یکسان باشد. در حالی که در روش آبکاری الکتریکی، ضخامت آبکاری شده توسط دانسیته جریان موضعی کنترل شده که اغلب از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند.
- ج- پوشش‌های الکترولس نیکل - فسفر دارای خواص مکانیکی و مغناطیسی یکنواخت تری نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی هستند.
- د- پوشش‌های الکترولس معمولاً به صورت آمورف بوده و از خلل و فرج کمتری نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی برخوردار هستند.
- و- سختی و مقاومت سایشی به دست آمده از پوشش‌های الکترولس نیکل - فسفر بیشتر از پوشش‌های رسوب الکتریکی است.
- ه- برای انجام آبکاری الکترولس، نیازی به استفاده از آند و منبع ولتاژ نیست.
- ی- نتایج آزمایشهای خوردگی نشان می‌دهد که پوشش‌های الکترولس نیکل - فسفر، مقاومت خوردگی بهتری نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل دارند [۳].

۲-۱-۴- معایب پوشش‌های الکترولس نسبت به پوشش‌های رسوب الکتریکی نیکل

- الف- روش الکترولس نسبت به ناخالصی‌های موجود در حمام و عدم توازن در غلظت محلول حساسیت بیشتری در مقایسه با روش‌های الکتریکی از خود نشان می‌دهد. بنابراین در این روش، کنترل حمام از اهمیت بیشتری برخوردار است. متأسفانه در حمام‌های الکترولس نیکل - فسفر، این عمل به سادگی حمام‌های الکتریکی انجام نمی‌گیرد و با پیشرفت واکنش احیا، ترکیب حمام دائماً تغییر می‌کند.
- ب- یکی دیگر از معایب روش الکترولس نیکل - فسفر نسبت به روش الکتریکی، انتخاب ماده مورد استفاده در ساخت تانک آبکاری است؛ چون اولاً باید قابلیت تحمل دماهای بالا را داشته باشد و ثانیاً در حین آبکاری، سطح ظرف به عنوان کاتالیزور برای انجام واکنش احیا عمل نکند. این عوامل به صورت فاکتورهای محدود کننده در انتخاب جنس ماده مورد استفاده برای ساخت تانک، عمل می‌کنند.
- ج- در روش آبکاری الکترولس، سرعت آبکاری به آسانی قابل کنترل نبوده، در حالی که در روش آبکاری الکتریکی با تغییر دانسیته جریان می‌توان سرعت آبکاری را تغییر داده و به میزان دلخواه رساند.
- د- در روش آبکاری الکترولس، محدوده دمایی انجام عملیات آبکاری، محدوده باریکی است که این خود محدودیت‌هایی را برای انجام عملیات آبکاری به وجود خواهد آورد [۲].

۲-۱-۵- اجزای تشکیل دهنده حمام الکترولس نیکل

ترکیب شیمیایی یک حمام الکترولس نیکل بسیار پیچیده است و تغییر در اجزا سازنده حمام می تواند باعث تغییراتی در مقدار فسفر، تغییر در سختی، تخلخل، مقاومت خوردگی، تنش های داخلی، درخشندگی و سرعت آبکاری شود. همچنین ناخالصی ها و محصولات واکنش، بر عملکرد حمام و خواص پوشش تاثیر می گذارند. بنابراین در موقع بهره برداری از حمام الکترولس باید دقت بالایی به عمل آید و انتخاب ترکیب حمام برای دستیابی به خواص مورد نظر باید به دقت صورت پذیرد. به طور کلی مشخصات حمام الکترولس و رسوب آن به نوع و نسبت عوامل سازنده حمام بستگی دارد. عوامل سازنده حمام های الکترولس و نیز هدف استفاده از آن ها را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

الف- منبع یون نیکل

عامل اصلی برای انتخاب نمک فلزی مناسب، خلوص و حلالیت بالای یون های فلزی در حمام است زیرا غلظت نیکل در حمام های اسیدی تاثیر به سزایی بر نرخ رسوب دهی و ظاهر پوشش خواهد داشت. لذا همواره تلاش بر این بوده که غلظت بالایی از یون های فلزی در حمام ایجاد شود به طوری که در حمام های اسیدی محدوده غلظت یون های نیکل بین ۴ تا ۱۰ گرم بر لیتر بوده است. کلرید نیکل و خصوصاً سولفات نیکل از جمله متداول ترین نمک های نیکلی مورد استفاده در آبکاری الکترولس هستند.

ب- عامل احیا کننده

هیپوفسفیت سدیم، بوروهیدرید سدیم، آمینوبوران و هیدرازین از جمله عوامل احیا کننده مورد استفاده در حمام های الکترولس هستند. در اکثر حمام های الکترولس نیکل، از هیپوفسفیت سدیم به عنوان عامل احیا کننده استفاده می شود زیرا نسبت به عوامل دیگر ارزان تر بوده و کنترل آن در حمام آسان تر است. هم - چنین تبدیل یون های هیپوفسفیت به اورتوفسفیت باعث ایجاد ۱ الی ۱۵ درصد وزنی فسفر در پوشش شده و مقاومت خوردگی پوشش افزایش خواهد یافت.

ج- عامل کمپلکس کننده

برای جلوگیری از تجزیه محلول آبکاری و کنترل واکنش به گونه ای که فقط روی سطح اکتیو انجام شود از عوامل کمپلکس کننده استفاده می شود. عامل کمپلکس کننده، غلظت یون های فلزی را در حد ثابت نگه داشته و پایداری مناسبی در محلول، به وجود می آورد. بنابراین علاوه بر پایداری، باعث کنترل سرعت آبکاری می شود. همچنین به دلیل بافر بودن، از تغییرات pH در محلول و از رسوب فسفید نیکل جلوگیری می کند و بر کیفیت رسوب، میزان فسفر، تنش های داخلی و تخلخل نیز موثر است. عوامل کمپلکس کننده عموماً اسیدهای آلی نظیر اسید گلی کولیک، سیتریک، لاکتیک، پروپیونیک، مالیک و نمک های اسیدی آن ها هستند.

د- بافرها

برای جلوگیری از تغییرات pH و ثابت نگه داشتن شرایط کاری و خواص پوشش، به محلول آبکاری بافرهایی نظیر نمک‌های سدیم یا پتاسیم، اسیدهای آلی مانند اسید استیک، پروپیونیک، ساسینیک و آدیپیک اضافه می‌شود. همچنین برای خنثی کردن اسید به وجود آمده در حین آبکاری از مواد قلیایی نظیر هیدروکسید آمونیم استفاده می‌شود.

و - شتاب‌دهنده‌ها

عوامل کمپلکس‌کننده باعث کاهش سرعت آبکاری می‌شوند که برای غلبه بر آن از مواد آلی نظیر اسید ساسینیک استفاده می‌شود. این عوامل باعث تضعیف پیوند بین هیدروژن و فسفر در مولکول هیوفسفیت شده و امکان رها شدن و جذب آن را به سطح فعال فراهم می‌سازند و در نتیجه به فرایند رسوب الکترولس شتاب بیشتری می‌دهند.

ه - پایدارکننده‌ها

گاهی در اثر وجود ذرات جامد کلوییدی مثل گرد و غبار و یا افزایش غلظت اورتوفسفیت به بیش از حد حلالیت، ممکن است حمام به طور غیرمنتظره تجزیه شود. در واقع هیدروژن زیادی آزاد شده و رسوبات ریز سیاه رنگ نیکل و فسفید نیکل در محلول به وجود می‌آیند. برای جلوگیری از این امر و به منظور کنترل واکنش احیا در حمام، موادی از ترکیبات گوگرد (مانند تیوریا^۱) یا ترکیبات اکسی آمین (مولیدات‌ها و بورات‌ها) و یا فلزات سنگینی چون سرب، بیسموت، قلع و کادمیم به عنوان پایدارکننده به حمام اضافه می‌شود. این مواد جذب سطح ذرات کلوییدی شده و از احیای نیکل بر سطح آن جلوگیری می‌کنند. مقدار پایدارکننده مورد استفاده از حساسیت خاصی برخوردار است به طوری که مقدار غیر مجاز آن در حمام، می‌تواند باعث توقف کامل رسوب‌دهی و یا برعکس، تجزیه حمام شود.

ز- افزودنی‌ها

افزودنی‌ها به سه علت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- الف- افزایش سرعت رسوب‌دهی و افزایش سختی پوشش، که از ترکیباتی مثل فلورید استفاده می‌شود.
- ب- عوامل ترک‌کننده آنیونی برای کاهش کشش سطحی جسم و آزاد شدن سریع حباب‌های هیدروژن.
- ج- براق کردن بیشتر و تنش‌زدایی پوشش [۱، ۲، ۳، ۴، ۵].