



دانشکده مهندسی

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

تولید پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC به روش آبکاری الکتریکی و بررسی خواص آن

به کوشش

سارا پولادی

اساتید راهنما

دکتر محمد حسین شریعت

دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم

بهمن ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب سارا پولادی دانشجوی رشته ی مهندسی مواد گرایش خوردگی و حفاظت از مواد دانشکده مهندسی اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: سارا پولادی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۰/۱۱/۱۵

به نام خدا

تولید پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC به روش آبکاری
الکتریکی و بررسی خواص آن

به کوشش

سارا پولادی

پایان نامه

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

در رشته ی :

مهندسی مواد (خوردگی و حفاظت از مواد)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی پایان نامه، با درجه ی: عالی

دکتر محمد حسین شریعت، استاد بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم، استاد بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته).....

دکتر سیروس جوادپور، دانشیار بخش مهندسی مواد.....

دکتر مهدی جاویدی، استادیار بخش مهندسی مواد.....

بهمن ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به سرانجام رسیده است پیش از هر چیز از خداوند متعال سپاسگزارم. پس از آن بر خود واجب می دانم که از تمامی کسانی که در راستای انجام این پایان نامه اینجانب را یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم. بدین وسیله از اساتید ارجمند، دکتر محمد ابراهیم بحرالعلوم و دکتر محمد حسین شریعت که با راهنمایی ها و حمایت هایشان در طول پروژه همراه بنده بودند صمیمانه سپاسگزاری می کنم.

از اعضای محترم کمیته پروژه، جناب دکتر مهدی جاویدی و دکتر سیروس جوادپور که با راهنمایی های صمیمانه خود در رفع مشکلات، مرا در طول این پروژه همراهی کردند سپاسگزارم.

همچنین از مسئولین و کارکنان آزمایشگاه مواد، سرکار خانم مهندس منصف، پایدار، شریعتی، آقایان مهندس صالحی، دهقانیان، سمتی و صالحی که در تمامی مراحل تست های آزمایشگاهی به من یاری رساندند سپاسگزارم و از خداوند منان برای ایشان توفیق و سلامتی روزافزون خواستارم.

در پایان نیز از همراهی دوستان، خانواده عزیزم و به خصوص همسر مهربانم در همه ی مراحل این مهم نهایت سپاس را دارم.

چکیده

تولید پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC به روش آبکاری الکتریکی و بررسی خواص آن

به کوشش

سارا پولادی

در این تحقیق ابتدا پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P پایه نیکلی با استفاده از روش آبکاری الکتریکی و از حمام اسیدی بر روی ورق فولادی، پوشش داده شد. به منظور مطالعه ی ترکیب شیمیایی و مورفولوژی سطح، آنالیزهای X-ray fluorescence spectroscopy و Scanning Electron Microscopy مورد استفاده قرار گرفت. میزان میکروکرنش پوشش ها نیز به کمک گراف (XRD) X-ray Diffraction تعیین شد. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی و نتایج آنالیز XRD نشان داد میزان ترک و میکروکرنش در پوشش با افزایش درصد وزنی فسفر در پوشش کاهش یافته است. عملکرد خوردگی پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P بر روی ورق فولاد کم کربن بوسیله طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و تست تافل مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد با وارد شدن فسفر به پوشش و افزایش درصد وزنی آن، مقاومت به خوردگی پوشش افزایش می یابد. پوشش های نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC با اضافه کردن نانوذرات SiC به حمام آبکاری پوشش آلیاژی Ni-Zn-P ساخته شد. میکروساختار، میکروکرنش، زبری سطح، سختی، مقاومت به سایش و خوردگی پوشش های نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بررسی گردید.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	فصل اول: مقدمه
۷	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده
۷	۱-۲ آبکاری الکتریکی پوشش های آلیاژی Ni-Zn پایه نیکلی
۱۰	۲-۲ مورفولوژی پوشش آلیاژی Ni-Zn پایه نیکلی
۱۲	۳-۲ آبکاری الکتریکی آلیاژ Ni-Zn-P
۱۴	۴-۲ مورفولوژی پوشش آلیاژی Ni-Zn-P پایه نیکلی
۱۴	۵-۲ رفتار خوردگی پوشش آلیاژی Ni-Zn-P
۱۸	۶-۲ پوشش های کامپوزیتی
۱۸	۱-۶-۲ مقدمه
۱۹	۲-۶-۲ زمینه پوشش های کامپوزیتی
۱۹	۳-۶-۲ ذرات غیر محلول در زمینه کامپوزیت

۲۰	۴-۶-۲ روش های عمده برای تهیه پوشش های کامپوزیتی
۲۱	۵-۶-۲ آبکاری پوشش کامپوزیتی از طریق الکترولیز
۲۱	۶-۶-۲ آبکاری الکتریکی با جریان مستقیم
۲۲	۷-۶-۲ آبکاری الکتریکی با جریان پالس
۲۳	۸-۶-۲ عوامل موثر بر غلظت ذرات در پوشش
۲۹	۹-۶-۲ خواص پوشش های کامپوزیتی
۳۳	۷-۲ مکانیزم های سایش
۳۴	۸-۲ تست های خوردگی
۳۴	۱-۸-۲ منحنی های تافل
۳۷	۲-۸-۲ تست امپدانس الکتروشیمیایی
۴۱	۳-۸-۲ رفتار لایه دوگانه در اثر اعمال ولتاژ متناوب
	۴-۸-۲ روش های مرسوم گزارش اطلاعات بدست آمده در تست های امپدانس
۴۳	الکتروشیمیایی
۴۹	فصل سوم: روش انجام کار
۴۹	۱-۳ استراتژی تحقیق
	۲-۳ نحوه ی دست یافتن به حمام آبکاری الکتریکی جدید برای ساخت پوشش آلیاژی پایه
۵۰	Ni-Zn-P نیکلی
۵۳	۳-۳ ساخت پوشش نانوکامپوزیت
	۴-۳ بررسی خواص و ویژگی های پوشش های آلیاژی Ni-Zn-P و نانوکامپوزیتی
۵۴	Ni-Zn-P/nano SiC
	۱-۴-۳ نحوه انجام آنالیز X-Ray Diffraction (XRD) و تعیین میزان میکروکرنش
۵۵	

۵۶	نحوه انجام تست های میکروسختی و زبری سطح پوشش ها
۵۷	نحوه ی انجام تست های خوردگی
۵۸	نحوه انجام تست های سایش و اندازه گیری ضریب اصطکاک
۶۰	فصل چهارم: نتایج، بحث و پیشنهادها
۶۰	۱-۴ مقدمه
۶۱	۲-۴ بررسی امکان ساخت پوشش آلیاژی Ni-Zn-P و خواص این پوشش ها
۶۱	۳-۴ ساخت پوشش آلیاژ دوتایی Ni-Zn پایه نیکلی
	۴-۴ بررسی اثر جریان پالسی و مستقیم بر مورفولوژی و میزان ترک در پوشش آلیاژ Ni-Zn
۶۳	۵-۴ بررسی امکان ساخت پوشش آلیاژ سه تایی Ni-Zn-P پایه نیکلی
	۱-۵-۴ بررسی اثر دانسیته جریان بر روی میزان ترک در پوشش های آلیاژی Ni-Zn-P
۷۲	
۷۵	۶-۴ بررسی ضخامت و یکنواختی پوشش
۷۶	۷-۴ مطالعه ی عملکرد خوردگی پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P
	۱-۷-۴ بررسی نتایج تست های پلاریزاسیون مربوط به پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P
۷۷	
	۲-۷-۴ بررسی نتایج تست های امپدانس الکتروشیمیایی مربوط به پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P
۸۰	
	۸-۴ بررسی امکان ساخت پوشش نانوکامپوزیت Ni-Zn-P/nano SiC و خواص این پوشش ها
۹۱	
۹۱	۱-۸-۴ اطلاعات بدست آمده از گراف های XRD پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی
۹۴	۲-۸-۴ نتایج بدست آمده از آنالیز EDX بر روی پوشش نانوکامپوزیتی
۹۶	۳-۸-۴ تصاویر FESEM از سطح مقطع عرضی پوشش های نانوکامپوزیتی

۹۹	۴-۸-۴ مقایسه مقاومت به خوردگی پوشش های نانوکامپوزیتی با پوشش های آلیاژی.
۱۰۴	۵-۸-۴ مطالعه ی میکروسختی پوشش های آلیاژی Ni-Zn-P و نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC
۱۰۴	۱-۵-۸-۴ اثر مقدار غلظت نانوذرات بر میکروسختی پوشش
۱۰۶	۲-۵-۸-۴ اثر دانسیته جریان بر میکروسختی پوشش
۱۰۸	۳-۵-۸-۴ بررسی اثر سرعت هم زدن حمام بر میکروسختی پوشش نانوکامپوزیت
۱۰۹	۶-۸-۴ مطالعه ی مقاومت به سایش پوشش های نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC
۱۱۶	۷-۸-۴ بررسی زبری سطح پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی
۱۱۸	۸-۸-۴ بررسی ضریب اصطکاک پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی
۱۲۰	فصل پنجم: نتیجه گیری
۱۲۰	۱-۵ نتایج
۱۲۱	۲-۵ پیشنهادات
۱۲۳	فهرست منابع

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان و شماره
۵۰	جدول ۱-۳ : ترکیب حمام اسیدی و شرایط آبکاری الکتریکی
۵۱	جدول ۲-۳ : ترکیب حمام و شرایط آبکاری آلیاژ Ni-Zn-P
۵۴	جدول ۳-۳ : شرایط رسوب دهی پوشش های نانوکامپوزیتی
۶۹	جدول ۱-۴ : نتایج آنالیز XRF ترکیب شیمیایی پوشش
۷۸	جدول ۲-۴ : پارامترهای الکتروشیمیایی محاسبه شده از طریق نمودارهای تافل
۹۱	جدول ۳-۴ : نتایج بدست آمده از آنالیز نمودارهای EIS
۹۴	جدول ۴-۴ : نتایج محاسبه میزان میکروکنش پوشش

فهرست شکل ها

عنوان و شماره	صفحه
شکل ۱-۲ : تغییرات درصد نیکل رسوب کرده بر حسب تابعی از دمای حمام آبکاری استفاده شده برای پوشش Zn-Ni .	۹
شکل ۲-۲ : پوشش آلیاژ دوتایی پایه نیکلی Ni-Zn	۱۱
شکل ۳-۲ : مورفولوژی سطح و مقطع عرضی پوشش آلیاژی Ni-Zn	۱۱
شکل ۴-۲ : تغییرات درصد نیکل رسوب کرده در آلیاژ Ni-Zn-P بر حسب تابعی از دمای حمام و دانسیته ی جریان رسوب دهی .	۱۲
شکل ۵-۲ : اثر دانسیته جریان اعمالی در دمای $80^{\circ}C$ بر روی دانسیته جریان جزئی رسوب نیکل، روی و فسفر	۱۳
شکل ۶-۲ : نتایج تست های خوردگی گالوانیک پوشش های روی خالص و آلیاژی Zn-Ni بدست آمده از آبکاری پالسی و جریان مستقیم.	۱۶
شکل ۷-۲ : اثر تغییر درصد وزنی Zn در پوشش Ni-Zn-P بر روی پتانسیل مدار باز این پوشش ها	۱۷
شکل ۸-۲ : نمودارهای تافل پوشش های Ni-Zn-P با مقادیر مختلف Zn در پوشش.	۱۸

- شکل ۹-۲ : سه نوع کلی از سیکل های جریان پالسی متداول در آبکاری پالسی الف) آبکاری پالسی مستطیلی ب) آبکاری سیکلی معکوس ج) آبکاری پالسی سینوسی ۲۳
- شکل ۱۰-۲ : نمودار تغییر غلظت PTFE در پوشش در اثر تغییر غلظت PTFE در محلول ۲۴
- شکل ۱۱-۲ : رابطه بین دانسیته جریان و درصد حجمی ذرات گرافیت در پوشش برنزی در هر دو روش SCD و CECD ۲۵
- شکل ۱۲-۲ : اثر دانسیته جریان بر درصد وزنی ذرات SiC در پوشش کامپوزیتی Ni-nano SiC ۲۷
- شکل ۱۳-۲ : درصد گرافیت در پوشش کامپوزیتی بر حسب نرخ همزدن حمام ۲۸
- شکل ۱۴-۲ : تغییر سرعت سایش پوشش کامپوزیتی Ni-SiC با درصد وزنی ذرات SiC در پوشش ۳۱
- شکل ۱۵-۲ : منحنی تافل اکتیواسیون ۳۵
- شکل ۱۶-۲ : منحنی تافل نفوذی ۳۶
- شکل ۱۷-۲ : محاسبه سرعت خوردگی از روی منحنی تافل ۳۷
- شکل ۱۸-۲ : خاصیت سیکلی ولتاژ متناوب ۳۸
- شکل ۱۹-۲ : مدار الکتریکی معادل لایه دوگانه ۳۹
- شکل ۲۰-۲ : اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان متناوب ۴۰
- شکل ۲۱-۲ : خاصیت برداری ولتاژ و جریان متناوب ۴۱
- شکل ۲۲-۲ : لایه دوگانه تشکیل شده در سطح یک فلز در حال خورده شدن ۴۲
- شکل ۲۳-۲ : یک نمونه از منحنی های کامپلکس EIS دارای یک ثابت زمانی ۴۵
- شکل ۲۴-۲ : یک نمونه از منحنی های لگاریتمی اندازه امپدانس کل بر حسب فرکانس ۴۶
- شکل ۲۵-۲ : یک نمونه از منحنی های لگاریتمی زاویه فاز بر حسب فرکانس ۴۷
- شکل ۱-۳ : شماتیک دستگاه ها و سیستم آبکاری پوشش ۵۳
- شکل ۲-۳ : دستگاه زبری سنج ۵۶
- شکل ۳-۳ : دستگاه میکروسختی ۵۶

شکل ۳-۴ : دستگاه پتانسیواستات مدل AUTOLAB ۵۷

شکل ۳-۵ : میکروسکوپ الکترونی مدل Oxford LEO 440 SEM ۵۸

شکل ۴-۱ : تغییرات درصد نیکل در پوشش آلیاژی Ni-Zn بر حسب دما، در دانسیته جریان ۳ A/dm^2 ۶۲

شکل ۴-۲ : تصویر SEM از سطح پوشش آلیاژی Ni-Zn پایه نیکلی بدست آمده در چگالی جریان ۳ A/dm^2 با بزرگنمایی کم (تصویر سمت راست) و بزرگنمایی بالا (تصویر سمت چپ) ۶۳

شکل ۴-۳ - الف: تصویر SEM از سطح پوشش آلیاژی Ni-Zn رسوب داده شده با جریان پالسی، دانسیته جریان پیک ۳ A/dm^2 ، $t_{on}= ۲۷۵ \mu\text{s}$ ، $t_{off} = ۵ \text{ ms}$ ۶۵

شکل ۴-۴ : مورفولوژی پوشش آلیاژی Ni-Zn رسوب داده شده به روش آبکاری الکتریکی (الف) جریان مستقیم، (ب) جریان پالسی. ۶۶

شکل ۴-۵ : منحنی های نایکوئیست پوشش آلیاژی Ni-Zn رسوب داده شده با جریان مستقیم و پالسی. ۶۷

شکل ۴-۶ : نمودارهای تافل پوشش آلیاژی Ni-Zn رسوب داده شده با جریان مستقیم و پالسی. ۶۷

شکل ۴-۷ : تصویر SEM از سطح پوشش آلیاژی Ni-Zn-P-2 پایه نیکلی بدست آمده در چگالی جریان ۳ A/dm^2 با بزرگنمایی بالا (تصویر سمت راست) و بزرگنمایی کم (تصویر سمت چپ). ۶۸

شکل ۴-۸ : نمودار میله ای درصد وزنی عناصر در پوشش های رسوب داده شده از حمام حاوی مقادیر ۵ g/l ، ۱۵ و ۲۵ اسید فسفریک. ۶۹

شکل ۴-۹ - الف : مورفولوژی سطح پوشش های آلیاژی Ni-Zn-P بدست آمده از حمام حاوی ۵ g/l اسید فسفریک در دانسیته جریان ۳ A/dm^2 ۷۰

شکل ۴-۱۰ - الف : تصویر SEM از سطح پوشش آلیاژی بدست آمده از حمام حاوی ۵ g/l اسید فسفریک، در دانسیته جریان ۳ A/dm^2 ۷۲

- شکل ۴-۱۱-الف : تصویر SEM از سطح پوشش آلیاژی بدست آمده از حمام حاوی ۲ g/l اسید فسفریک، در دانسیته جریان 3 A/dm^2 ۷۴
- شکل ۴-۱۲ : تصویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع عرضی پوشش آلیاژی Ni-Zn-P-2 ۷۶
- شکل ۴-۱۳ : نمودارهای تافل پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P ۷۸
- شکل ۴-۱۴ : مدار معادل الکتریکی ۸۱
- شکل ۴-۱۵-الف : منحنی نایکوئیست پوشش آلیاژ دوتایی Ni-Zn-1 ۸۱
- شکل ۴-۱۶-الف : منحنی نایکوئیست پوشش آلیاژ سه تایی Ni-Zn-P-2 ۸۲
- شکل ۴-۱۷-الف : منحنی نایکوئیست پوشش آلیاژ سه تایی Ni-Zn-P-3 ۸۳
- شکل ۴-۱۸-الف : منحنی نایکوئیست پوشش آلیاژ سه تایی Ni-Zn-P-4 ۸۴
- شکل ۴-۱۹ : نمودارهای فیت شده نایکوئیست و باد-فاز ۸۶
- شکل ۴-۲۰ : نمودارهای فیت شده ی نایکوئیست پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P ۸۸
- شکل ۴-۲۱ : نمودارهای باد پوشش های آلیاژی Ni-Zn و Ni-Zn-P ۸۹
- شکل ۴-۲۲ : گراف XRD پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC-1 ۹۲
- شکل ۴-۲۳ : گراف های XRD پوشش های آلیاژی Ni-Zn-P و نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC رسوب داده شده در دانسیته جریان 3 A.dm^{-2} ۹۳
- شکل ۴-۲۴ : گراف آنالیز EDS مربوط به پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از حمام حاوی ۱۰ g/l کاربید سیلیسیم ۹۵
- شکل ۴-۲۵ : تصویر آنالیز MAP ذرات کاربید سیلیسیم در پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از حمام حاوی ۱۰ g/l کاربید سیلیسیم ۹۶
- شکل ۴-۲۶ : تصویر FESEM از مقطع عرضی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/ SiC-1 بدست آمده از حمام حاوی ۱۰ g/l کاربید سیلیسیم و در دانسیته جریان 3 A.dm^{-2} ۹۷

شکل ۴-۲۷ : تصویر FESEM از مقطع عرضی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/ SiC-3 بدست آمده از حمام حاوی ۱۰ g/l کاربید سیلیسیم و در دانسیته جریان 5 A.dm^{-2} ۹۷

شکل ۴-۲۸ : تصاویر SEM از مورفولوژی سطح پوشش های Ni-Zn-P-2 (a)،
 Ni-Zn-P-4 (b)، Ni-Zn-P-nano SiC-1 (c)، Ni-Zn-P-nano SiC-3 (d) ... ۹۹

شکل ۴-۲۹ : منحنی های نیکوئیست پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی رسوب داده شده در دانسیته جریان 3 A.dm^{-2} ۱۰۱

شکل ۴-۳۰ : نمودارهای تافل پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی رسوب داده شده در دانسیته جریان 3 A.dm^{-2} ۱۰۲

شکل ۴-۳۱ : منحنی های نیکوئیست پوشش آلیاژی Ni-Zn-P و نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC رسوب داده شده در دانسیته جریان 5 A/dm^2 ۱۰۳

شکل ۴-۳۲ : نمودار های تافل پوشش آلیاژی Ni-Zn-P و نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC رسوب داده شده در دانسیته جریان 5 A/dm^2 ۱۰۳

شکل ۴-۳۳ : تاثیر غلظت SiC موجود در حمام آبکاری بر سختی پوشش های نانوکامپوزیتی بدست آمده در چگالی جریان 5 A.dm^{-2} و سرعت هم زدن ۱۸۰ rpm ۱۰۵

شکل ۴-۳۴ : تاثیر چگالی جریان بر روی سختی پوشش های نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از الکتrolیت حاوی ۵ g/l ، ۱۰ و ۱۵ در سرعت همزدن ۱۸۰ rpm ۱۰۷

شکل ۴-۳۵ : تصویر میکروسکوپ نوری از اثر ایندنتور بر روی پوشش نانوکامپوزیتی رسوب داده شده از حمام حاوی ۱۰ g/l کاربید سیلیسیم و در دانسیته جریان 7 A.dm^{-2} ۱۰۸

شکل ۴-۳۶ : تاثیر سرعت هم زدن حمام آبکاری بر سختی پوشش های نانوکامپوزیتی بدست آمده از الکتrolیت حاوی ۵ g/l سیلیسیم کاربید و چگالی جریان 5 A.dm^{-2} ۱۰۹

شکل ۴-۳۷ : نمودارهای مقدار کاهش وزن پوشش های آلیاژی و نانوکامپوزیتی بر حسب مسافت سایش ۱۱۱

- شکل ۴-۳۸ : مسیر سایش بر روی پوشش آلیاژی Ni-Zn-P به ضخامت $90\ \mu\text{m}$ در نیروی عمودی ۲۰N ۱۱۲
- شکل ۴-۳۹ : مسیر سایش بر روی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از حمام حاوی $5\ \text{g/l}$ SiC، به ضخامت $90\ \mu\text{m}$ در نیروی عمودی ۲۰N ۱۱۳
- شکل ۴-۴۰ : مسیر سایش بر روی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از حمام حاوی $10\ \text{g/l}$ SiC، به ضخامت $90\ \mu\text{m}$ در نیروی عمودی ۲۰N ۱۱۳
- شکل ۴-۴۱ : مسیر سایش بر روی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Zn-P/nano SiC بدست آمده از حمام حاوی $15\ \text{g/l}$ SiC، به ضخامت $90\ \mu\text{m}$ در نیروی عمودی ۲۰N ۱۱۴
- شکل ۴-۴۲ : تصویر SEM از سطح ساییده شده آلیاژ Ni-Zn-P ۱۱۵
- شکل ۴-۴۳ : تصویر SEM از سطح ساییده شده نانوکامپوزیت Ni-Zn-P/nano SiC ۱۱۵
- شکل ۴-۴۴ : اثر تغییرات غلظت SiC در حمام بر روی میزان متوسط زبری سطح ۱۱۷
- شکل ۴-۴۵ : اثر تغییرات غلظت دانسیته جریان بر روی میزان متوسط زبری سطح دو پوشش نانوکامپوزیتی رسوب داده شده از حمام های حاوی $5\ \text{g/l}$ و $10\ \text{g/l}$ SiC ۱۱۷
- شکل ۴-۴۶ : نمودار میله ای متوسط ضریب اصطکاک پوشش آلیاژی و نانوکامپوزیتی ۱۱۸

فهرست نشانه های اختصاری

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

EIS = (Electrochemical Impedance Spectroscopy) امپدانس الکتروشیمیایی

FESEM = (Field Emission Scanning Electron Microscope) میکروسکوپ الکترونی

SEM = (Scanning Electron Microscope) میکروسکوپ الکترونی

XRD = (X-ray Diffraction) تفرق اشعه ایکس

فصل اول