



## ساخت و مشخصه‌یابی پوششهای کامپوزیتی $Ni-P-Al_2O_3$ به روش الکترولس روی زیرلایه تیتانیوم و بررسی تاثیر اندازه ذرات تقویت کننده $Al_2O_3$ بر روی سختی پوشش کامپوزیتی

مرضیه حسینی<sup>۱</sup>، پریا شیخ<sup>۱</sup>، سیده راضیه انوری<sup>۲</sup>، فتح اله کریم زاده<sup>۳</sup>

۱. اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد (دانشجوی کارشناسی)

۲. اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد (دانشجوی دکتری)

۳. اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد، (دانشیار)

### چکیده

در این پژوهش برای بهبود خواص پوشش‌های الکترولس نیکل-فسفر از ذرات آلومینا به عنوان تقویت کننده برای ایجاد پوشش کامپوزیتی استفاده شد و برای بررسی تاثیر اندازه ذرات تقویت کننده روی سختی پوشش یک بار از ذرات آلومینا با متوسط قطر (۱۰۰-۲۰۰ میکرومتر) و یک بار از نانو ذرات آلومینا با متوسط قطر (۳۰-۴۰ نانو متر) استفاده شد. پوشش دهی به روش رسوب دهی شیمیایی (الکترولس) روی زیرلایه تیتانیوم انجام شد و خواص مکانیکی پوشش (به طور اختصاصی سختی) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش ۳ نمونه از جنس تیتانیوم را پس از آماده سازی سطحی وارد حمام الکترولس کرده، نمونه اول را در حمام الکترولس  $Ni-P$  در دمای ۸۸-۹۲ درجه سانتی گراد، نمونه دوم را در حمام آبکاری کامپوزیتی  $Ni-P-Al_2O_3$  (۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر) در دمای ۸۸-۹۶ درجه سانتیگراد و نمونه سوم را در حمام آبکاری نانو کامپوزیتی  $Ni-P-Al_2O_3$  (۳۰-۴۰ نانو متر) در دمای ۸۸-۹۶ درجه سانتی گراد قرار داده و پوشش دهی انجام شد. از هر یک از این نمونه‌ها به منظور بررسی توپوگرافی سطح آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری تصویربرداری شد. همچنین به منظور بررسی مورفولوژی سطح، تغییرات ساختاری و فازی از میکروسکوپ الکترونی روبشی و آزمون پراش پرتو ایکس استفاده گردید. سپس به منظور بررسی تاثیر افزودن ذرات تقویت کننده و بررسی تاثیر قطر ذرات آلومینا افزوده شده به پوشش بر روی سختی، با استفاده از دستگاه میکروسختی سنج و بیکرز سختی نمونه‌ها با نیروی ۲۰۰ گرم اندازه گیری شد و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان دادند سختی نمونه‌های پوشش داده شده با تقویت کننده افزایش چشمگیری نسبت به سختی نمونه پوشش داده شده در حمام الکترولس  $Ni-P$  بدون تقویت کننده دارد. همچنین مشخص شد که هر چه اندازه قطر ذرات تقویت کننده ریزتر باشد (ترجیحا نانو ذرات) سختی پوشش افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** الکترولس؛ نانو کامپوزیت؛  $Al_2O_3$ ؛ اندازه ذرات تقویت کننده؛ میکرو سختی.

## مقدمه

پوشش های کامپوزیتی یکی از پوشش های پیشرفته بوده که توزیع فازهای ثانویه جامد در زمینه پوشش تاثیر به سزایی بر خواص پوشش هادارند. این فازهای جامد می توانند به صورت الیاف یا ذرات بوده و در درون یک زمینه فلزی، سرامیکی یا پلیمری توزیع شده باشند [۱].

فازهای جامد ثانویه می توانند در حین رشد پوشش (نظیر فرایند پوشش دهی ابرکاری الکترولس یا ابرکاری الکتریکی) یا در حین تشکیل پوشش (مانند فرایند پوشش دهی پاشش حرارتی) در زمینه پوشش کامپوزیتی، هم رسوب شوند. [۱ و ۲].

آبرکاری الکترولس یکی از فرایندهای رسوب دهی شیمیایی است که توسط آن می توان پوشش های کامپوزیتی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. عملیات رسوب گذاری در این فرایند بدون استفاده از جریان الکتریکی و توسط واکنش های شیمیایی در حمام انجام شده و می توان فلزاتی نظیر Pd, Cu, Co, Ni را بر روی قطعات رسوب داد که در این میان پوشش الکترولس نیکل از جمله متداول ترین پوشش مورد تحقیق در دوده دهه اخیر بوده است [۳-۵]. آبرکاری الکترولس نیکل، با توجه به طبیعت حمام و شرایط رسوب دهی، عناصری نظیر P یا B (با توجه به نوع ماده احیا کننده در حمام) به ترتیب در حد ۱ الی ۱۳ درصد وزنی و ۰/۲ الی ۵ درصد وزنی در پوشش ظاهر خواهند شد که می توانند سبب ایجاد پوشش های آمورف یا کریستالی و یا ترکیبی از ساختار کریستالی و آمورف شوند [۳-۵]. نوع ذرات، شکل، اندازه و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن ها تاثیر به سزایی بر خواص تریبولوژیکی پوشش خواهند گذاشت [۱ و ۲]. ذرات سخت مورد استفاده در پوشش های الکترولس کامپوزیتی عمدتاً شامل TiC, B<sub>4</sub>C, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC، ذرات الماس و دیگر ترکیب های سرامیکی سخت هستند که تحقیقات وسیعی بر روی خواص آن ها انجام گرفته و یا در حال انجام است. [۱ و ۲]. از این نوع ذرات بیشتر به منظور بهبود خواص سایشی پوشش الکترولس استفاده می شود. بنا بر آنچه گفته شد می توان اهداف مربوط به استفاده از پوشش های الکترولس کامپوزیتی نیکل را در موارد زیر خلاصه کرد [۶]:

- کاربرد پوشش در قطعاتی که نیاز به مقاومت سایشی بالا، ضریب اصطکاک کم و خواص مکانیکی مطلوب دارند. - به کار گیری زیر لایه هایی نظیر تیتانیوم، آلومینیوم، آلیاژهای فولادی ارزان قیمت، سرامیک ها و پلاستیک ها همراه با پوشش الکترولس کامپوزیتی. - جایگزینی پوشش کامپوزیتی به جای پوشش های تک لایه فلزی و ایجاد خواص چندگانه در آن.

یکی از ویژگی های پوشش های الکترولس کامپوزیتی نیکل-فسفر سختی این پوششهاست. سختی پوشش های الکترولس کامپوزیتی شدت تحت تاثیر نوع و مقدار ذرات تقویت کننده قرار دارد. با لحاظ قانون مخلوط در کامپوزیت ها انتظار بر این است که با افزایش مقدار ذرات سخت در زمینه پوشش، سختی کل افزایش یابد در حالیکه در پوشش های کامپوزیتی حاوی ذرات نرم، سختی کل به علت سختی کم ذرات کاهش می یابد [۷-۹].

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

از جمله ذرات سختی که در زمینه پوشش‌های الکترولس افزوده می‌شوند می‌توان به ذرات آلومینا اشاره کرد. آلومینا یا اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مواد سرامیکی سخت نقش به‌سزایی در ایجاد پوشش‌های کامپوزیتی مقاوم به سایش دارد. این سرامیک به دلیل داشتن سختی و استحکام بالا، مقاومت حرارتی و الکتریکی مطلوب، مقاومت شیمیایی بالا و خواص متعدد دیگر، کاربردهای مختلفی را نظیر تولید مواد ضد آتش، کاتالیزورها، قطعات سرامیکی، مواد نسوز، ساینده‌ها و کامپوزیت‌ها به خود اختصاص داده است [۱۰]. استفاده از عناصر و ترکیبات، با هدف بهبود خواص خوردگی و سایشی پوشش‌های نیکل-فسفر صورت گرفته است. برای این منظور از عناصر مختلفی جهت ایجاد پوشش‌های آلیاژی و در نتیجه بهبود رفتار خوردگی این پوشش‌ها استفاده شده است. همچنین به منظور ارتقاء خواص تریبولوژیکی پوشش‌های نیکل-فسفر تلاش فراوانی برای توسعه پوشش‌های کامپوزیتی صورت گرفته که در این راستا از ترکیبات متنوعی استفاده شده است [۱۱]. با توجه به جایگاه خاص آلومینا به عنوان ماده‌ای سخت و مقاوم به سایش در میان مواد سرامیکی دیگر در این پژوهش سعی شده است با ورود ذرات آلومینا به زمینه پوشش فلزی Ni-P سختی زیر لایه تیتانیوم در دمای بالا بهبود و افزایش یابد. هدف از این مقاله بررسی تاثیر اضافه کردن ذرات تقویت‌کننده  $Al_2O_3$  به حمام نیکل-فسفر به منظور ایجاد پوشش کامپوزیتی و بررسی تاثیر اضافه کردن این ذرات بر روی سختی زیر لایه تیتانیوم و همچنین بررسی تاثیر اندازه این ذرات آلومینا اضافه شده، بر روی سختی پوشش است [۱۲].

### مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از تیتانیوم که ترکیب کوانتومتری آن در جدول ۱ آورده شده است به عنوان زیر لایه به صورت نمونه‌های مستطیل شکل به ابعاد  $15\text{mm} \times 20\text{mm}$  استفاده شد. همچنین برای ایجاد پوشش الکترولس Ni-P از محلول تجاری الکترولس نیکل-فسفر از سری Shy ساخت شرکت اشلوتر آلمان استفاده شد. مقدار نانو ذرات آلومینا (با متوسط قطر ۳۰-۴۰ نانومتر) و ذرات میکرونی  $Al_2O_3$  (با متوسط قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرون) مورد استفاده در حمام آبکاری کامپوزیتی به میزان  $7/5\text{ g}$  بوده است. ترکیب محلولی که برای استریک نیکل (Nickle Strike) استفاده شد در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین در مرحله استریک نیکل از نیکل تجاری به عنوان آند استفاده شد. محلول اچ مورد استفاده در این تحقیق نیز شامل ترکیباتی بود که در جدول ۳ ارائه شده است.

مراحل آماده سازی نمونه‌ها با این ترتیب بود که در ابتدا نمونه‌های تیتانیومی توسط کاغذ سنباده (از جنس SiC) از شماره ۸۰ تا ۳۲۰ سنباده زنی شد سپس با آب داغ و صابون چربی زدایی نمونه‌ها انجام گرفت. پس از آن در محلول اچ و در دمای محیط به مدت ۱ دقیقه اسید شویی انجام گرفت. پس از مرحله اسید شویی، نمونه با آب مقطر شستشو داده شد سپس مرحله استریک نیکل به منظور حذف لایه پسیو (غیرفعال) تشکیل شده روی زیر لایه فعال تیتانیوم انجام شد. به این ترتیب که ابتدا نمونه سنباده زده شده به مدت ۳۰ ثانیه در محلول نیکل استریک غوطه‌ور شد. سپس دوباره به مدت ۳۰ ثانیه نمونه در محلول نیکل استریک که جریان آن دی ۱V به آن اعمال

می شد غوطه ور شد. در این مرحله قطعه قطب مثبت (آند) و نیکل تجاری قطب منفی (کاتد) بود. سپس به مدت ۳ دقیقه جریان کاتدی به محلول اعمال گردید به این ترتیب که قطعه قطب منفی (کاتد) و نیکل تجاری قطب مثبت (آند) بود. در این مرحله لایه پسیو حذف و پوشش نیکلی با قطر حدود ۲۰-۱۰ nm روی زیر لایه تیتانیوم قرار گرفت. سپس مرحله آبکاری را انجام دادیم و نمونه را در محلول حمام الکترولس غوطه ور کردیم. دمای حمام باید بین ۸۸-۹۲ درجه سانتی گراد تنظیم و pH محلول در رنج ۴/۸-۴/۶ قرار گرفت. پس از این مرحله، پوشش دهی انجام شد. برای پوشش دهی به روش الکترولس همراه با تقویت کننده به این صورت عمل شد که وقتی دمای حمام به ۸۸ درجه سانتی گراد رسید مقدار ۲۰۰ ml از محلول را به همراه مقدار ۷/۵ g ماده تقویت کننده مورد نظر ( $Al_2O_3$ ) در ۲۰۰ ml محلول به مدت ۵ دقیقه توسط دستگاه همزن مغناطیسی با آهنربای استوانه ای شکل مخلوط شدند. سپس محلول حمام حاوی تقویت کننده به مدت ۲۰ دقیقه داخل دستگاه آلتراسونیک قرار گرفت تا از آگلومره شدن ذرات تقویت کننده جلوگیری شود. سپس محلول حاوی تقویت کننده از دستگاه آلتراسونیک خارج شده و به داخل حمام افزوده شد. وقتی دمای حمام به ۸۸ درجه سانتی گراد رسید نمونه نیکل استریک وارد حمام پوشش دهی شد و به مدت ۹۰ دقیقه عملیات پوشش دهی انجام گرفت. در این پژوهش، جهت بررسی اندازه ذرات آلومینا و مورفولوژی سطح پوشش ها از میکروسکوپ الکترونی و به منظور مشاهده توپوگرافی سطحی و سطح مقطع پوشش ها از میکروسکوپ نوری استفاده شد و تصاویر از سطح نمونه های پوشش داده شده با نانو ذرات آلومینا با قطر ۴۰-۳۰ نانومتر و ذرات آلومینا با قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر با بزرگنمایی های ۲۰۰ و ۵۰۰ تهیه شد. اندازه گیری سختی نمونه ها نیز با استفاده از دستگاه ریز سختی سنج (با وارد کردن نیروی ۲۰۰ g به مدت ۱۵ ثانیه) انجام شد به طوری که برای هر پوشش به تعداد ۴ بار اندازه گیری انجام شد و مقدار میانگین به عنوان سختی پوشش در نظر گرفته شد. همچنین به جهت آنالیز فازی پوشش ها آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) بروی نمونه ها انجام شد و الگوی پراش آنها بدست آورده شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش اندازه ذرات آلومینا در مقیاس میکرونی با تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به صورت کروی با اندازه متوسط قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرون به دست آمد. همچنین اندازه نانو ذرات آلومینا با توسط نرم افزار آنالیز تصویر با متوسط قطر ۳۰-۴۰ نانومتر محاسبه شد (شکل ۱). شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه های پوشش داده شده در حمام الکترولس Ni-P در حضور و بدون حضور ذرات تقویت کننده را نشان می دهد. با اندازه گیری سختی نمونه های پوشش داده شده با Ni-P- $Al_2O_3$  و مقایسه نتایج سختی به دست آمده با سختی نمونه پوشش داده شده در حمام الکترولس Ni-P بدون تقویت کننده که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است، مشخص شد که با اضافه کردن ذرات تقویت کننده و ایجاد پوشش الکترولس کامپوزیتی به دلایل زیر، سختی پوشش الکترولس به مقدار قابل توجهی افزایش یافت:

الف-به دلیل ایجاد فازهای با استحکام بالا در یک زمینه انعطاف پذیر.

ب-به دلیل تشکیل مناطقی در پوشش که قادر به جذب و یا پراکندگی انرژی، آزادسازی تنش، منحرف کردن و متوقف ساختن رشد ترک باشند [۱۲].

در جدول ۴ با مقایسه اعداد سختی، تاثیر اندازه ذرات تقویت کننده بر روی سختی پوشش الکترولس مشخص می شود. به منظور بررسی تاثیر این پارامتر، یک بار پوشش دهی با ذرات تقویت کننده آلومینا با متوسط قطر ذرات ۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر و یک بار با نانو ذرات آلومینا (۳۰-۴۰ نانو مترانجام شد و سختی به دست آمده از نمونه ها با هم مقایسه گشت. مشاهده شد که هرچه اندازه ذرات تقویت کننده ریزتر باشند سختی به دست آمده بیشتر خواهد بود. علاوه بر این بر اثر ایجاد پوشش الکترولس Ni-P بر روی زیر لایه تیتانیوم، سختی و استحکام زیر لایه تیتانیوم به میزان قابل توجهی افزایش می یابد.

با بررسی الگوی پراش اشعه ایکس زیر لایه خام تیتانیوم، پوشش خام Ni-P و پوشش نانو کامپوزیتی Ni-p- $Al_2O_3$  که در شکل های ۶، ۷ ارائه شده به تشکیل پوشش آمورف Ni-p و Ni-p- $Al_2O_3$  پی می بریم که دلالت بر آن دارد که این پوشش آمورف به دلیل تنظیم pH حمام در محدوده ۴/۸-۴/۶ ایجاد شده است. همچنین علت افزایش سختی نمونه های پوشش داده شده همین ساختار آمورف ایجاد شده می باشد که با ایجاد فازهای با استحکام بالا در یک زمینه انعطاف پذیر و تشکیل مناطقی در پوشش که قادر به جذب یا پراکندگی انرژی، آزاد سازی تنش و منحرف و متوقف ساختن رشد ترک هستند سختی را افزایش می دهند. با مقایسه الگوی پراش اشعه ایکس پوشش خام Ni-p و پوشش کامپوزیتی Ni-p- $Al_2O_3$  به حضور پیک مشخصه آلومینا پی برده که حضور این پیک در پوشش کامپوزیتی دلیلی برای توجیه افزایش سختی پوشش آمورف کامپوزیتی Ni-p- $Al_2O_3$  تشکیل شده نسبت به پوشش آمورف خام Ni-P می باشد.

### نتیجه گیری

بر اساس یافته های حاصل از این مقاله نتایج شاخص این پژوهش به شرح زیر است:

۱- بر اثر ایجاد پوشش های کامپوزیتی با ایجاد فازهای با استحکام بالا در یک زمینه انعطاف پذیر سختی افزایش می یابد. در این پژوهش اضافه کردن ذرات آلومینا به عنوان تقویت کننده برای ایجاد پوشش کامپوزیتی روی زیر لایه تیتانیوم سختی پوشش را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش داد. زیرا با تشکیل پوشش کامپوزیتی بر اثر ایجاد مناطقی در پوشش که قادر به جذب و یا پراکندگی انرژی، آزاد سازی تنش، منحرف کردن و متوقف ساختن رشد ترک باشند سختی افزایش می یابد.

۲- ایجاد پوشش الکترولس کامپوزیتی روی زیر لایه تیتانیوم سختی زیر لایه را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش داده و کاربرد تیتانیوم را در مصارف مختلف بهبود می بخشد.

۳- هر چه اندازه ذرات تقویت کننده ریزتر باشد، هم رسوبی آنها بهتر بوده و اتصال قوی تری بین ذره و زمینه به وجود خواهد آمد در نتیجه سختی بیشتر خواهد شد. در این پژوهش پوشش دهی یک بار با نانو ذرات آلومینا

ساخت و مشخصه یابی پوشش های کامپوزیتی....

با متوسط قطر (۳۰-۴۰ نانو متر) و یک بار با ذرات آلومینا با متوسط قطر (۱۰۰-۲۰۰ میکرومتر) به عنوان تقویت کننده انجام شد و نتایج نشان داد که پوشش دهی با نانو ذرات آلومینا سختی پوشش را به میزان بیشتری افزایش می دهد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات کادر آزمایشگاهی و اداری دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان جهت همکاری در انجام این پژوهش تشکر می گردد. همچنین از راهنمایی و حمایت های فراوان استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر فتح اله کریم زاده به لحاظ پشتیبانی علمی، معنوی و مالی کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم. علاوه بر این از زحمات همه جانبه سرکار خانم سیده راضیه انوری و مریم مؤذنی در جهت پیشبرد بی وقفه این مقاله صمیمانه تشکر و قدردانی می گردد.

### مراجع

۱. Steinhauser, s. and wielage, B., "composite coating: manufacture, properties and applications", surf. eng., vol. ۱۳, No. ۴, pp. ۲۸۹-۲۹۴, ۱۹۹۷.
۲. Feldstein, N., "electroless composite coating", met. finish., vol. ۹۴, No. ۱, pp. ۳۸-۴۱, ۱۹۸۱.
۳. Baudrand, D., Asm Metals handbook: surface engineering, ۱ ed., Asm international, ohio, ۱۹۹۲.
۴. Parkinson, R., "properties and applications of electroless nickel", NiDI technical series, No. ۱۰۰۵۱, pp. ۱-۳۵, ۱۹۹۷.
۵. Riedel, w., Electroless nickel plating, ۱ ed., Asm international, ohio, ۱۹۹۱.
۶. Feldstein, M. d., "surpassing chrome plating with composite electroless nickel coating", conference on chrome and cadmium alternatives: Pittsburgh, pp. ۱-۸, oct. ۲۰۰۰.
۷. Balaraju, J. N., sankaraNarayanan, T. S. N. and seshadri, S. K., "electroless Ni - p composite coating" J. Appl. Electrochem., vol. ۳۳, No. ۹, pp. ۸۰۷-۸۱۶, ۲۰۰۳.
۸. Agarwala, R. C. and Agarwala, V., "Electroless alloy/composite coatings: A review", Sadhana, Vol. ۲۸, No. ۳-۴, pp. ۴۷۵-۴۹۳, ۲۰۰۳.
۹. Harris, B., engineering composite materials, ۲ ed., the institute of materials, Minerals and mining, London, ۱۹۹۹.
۱۰. Richerson, D., modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design, ۳ ed, crcpress, boca raton, ۲۰۰۵.
۱۱. k.zangeneh-madar, s. m. monirvaghefi, "the effect of thermo chemical treatment on the structure and hardness of electroless Ni-P coated low alloy steel", surface and coating technology, ۱۸۲, ۲۰۰۴, ۱۴-۷۱

۱۲. شهرام علیرضایی، رساله دکتری تخصصی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۲.

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

جدول ۱: ترکیب کوانتومتری تیتانیوم مورد استفاده در این پژوهش به عنوان زیر لایه

Ti	Al	Mo	Sn	Zr	Mn	V	Fe	Nb	Cr	Cu	Ni	Pd
۹۶	۰/۱۲۳	۱/۳۷	<۰/۵۰	۰/۱۱۷	<۰/۱۰۰	<۰/۱۰۰	<۰/۱۰۰	۰/۵۰	۰/۲۲۳	۱/۰۹	۰/۰۰۳	/۱

جدول ۲: ترکیب محلول نیکل استر یک (Nickle Strike)

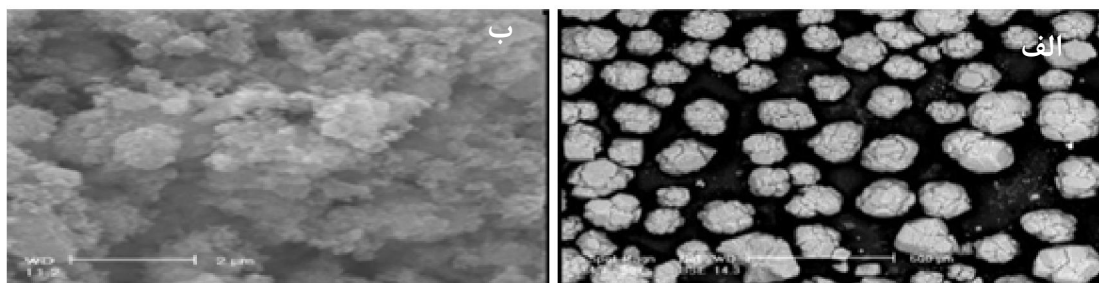
نوع ماده	مقدار
هیدروکلریک اسید	۱۲/۵ml
کلرید نیکل	۱۲g
آب مقطر	۲۵/۵ml

جدول ۳: ترکیب محلول اسید شویی زیر لایه تیتانیومی

نوع ماده	مقدار
نیتریک اسید	۱۵ml
آب مقطر	۳۳/۵ml
هیدروفلوریک اسید	۱/۵ml

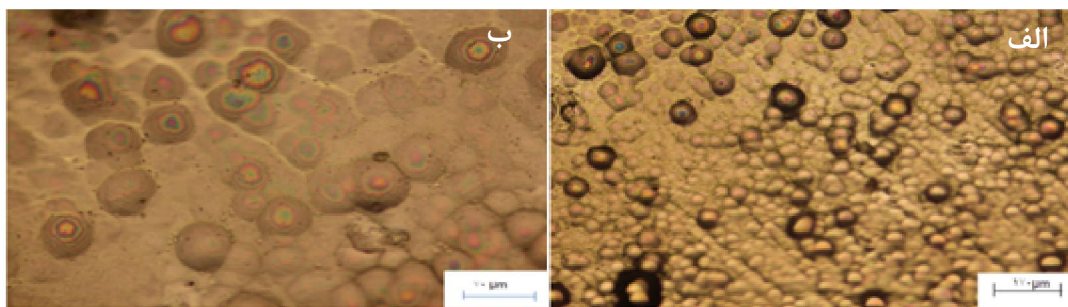
جدول ۴: مقایسه سختی نمونه خام تیتانیوم و نمونه‌های پوشش دهی شده توسط روش الکترولس

نوع نمونه	سختی میانگین (Hv)
زیر لایه خام تیتانیوم	۲۵۵/۶
تیتانیوم پوشش داده شده به روش الکترولس Ni-P	۵۲۵/۱۹
تیتانیوم پوشش داده شده با $Ni-P-Al_2O_3$ (۱۰۰- $\mu m$ )	۷۴۷/۱۲
تیتانیوم پوشش داده شده با $Ni-p-Al_2O_3$	۹۹۱

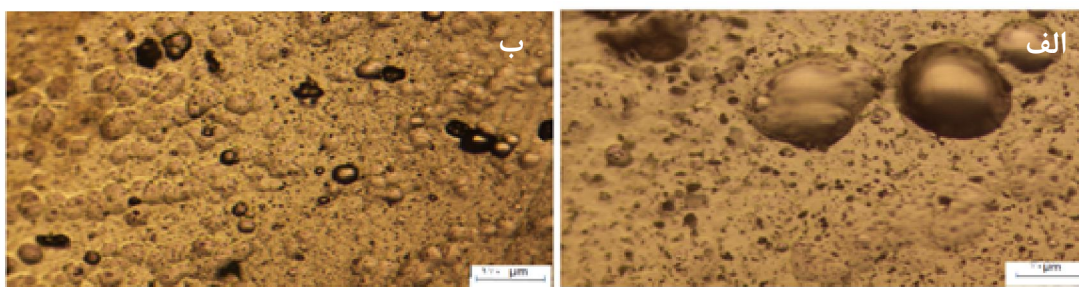


شکل ۱: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ذرات آلومینا با قطر متوسط (الف) ۲۰۰-۱۰۰ میکرون و (ب) ۳۰-۴۰ نانومتر.

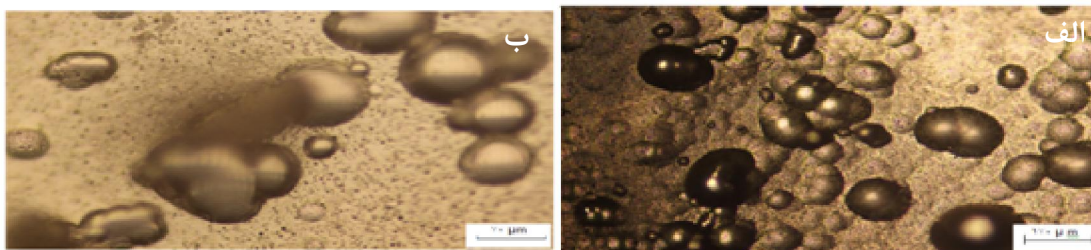
ساخت و مشخصه یابی پوشش های کامپوزیتی....



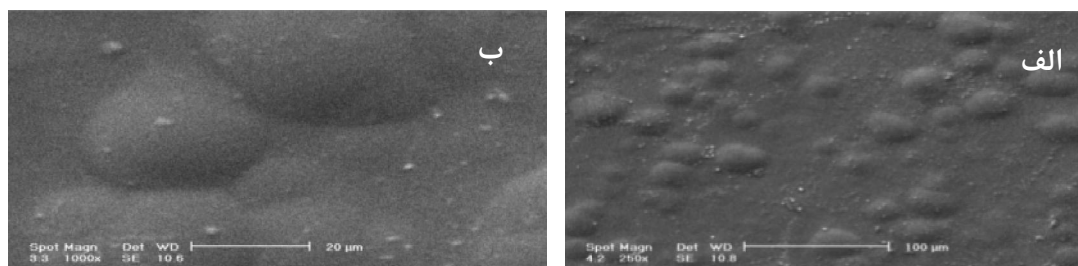
شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه پوشش داده شده با حمام الکترولس Ni-P در دو بزرگنمایی: (الف) ۲۰۰ و (ب) ۵۰۰.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه پوشش داده شده با  $Ni-P-Al_2O_3$  (۱۰۰-۲۰۰ میکرون) در دو بزرگنمایی: (الف) ۲۰۰ و (ب) ۵۰۰.



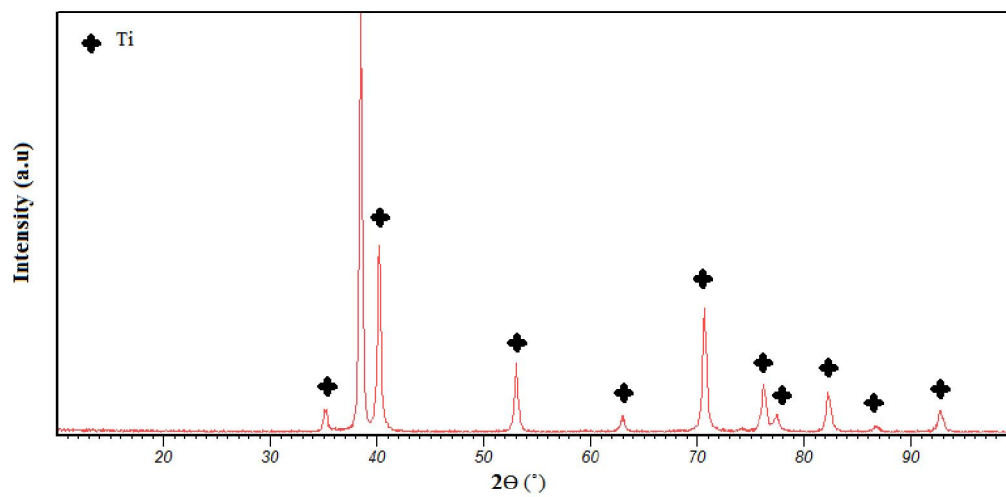
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه پوشش داده شده با  $Ni-P-Al_2O_3$  (۳۰-۴۰ نانومتر) در دو بزرگنمایی: (الف) ۲۰۰ و (ب) ۵۰۰.



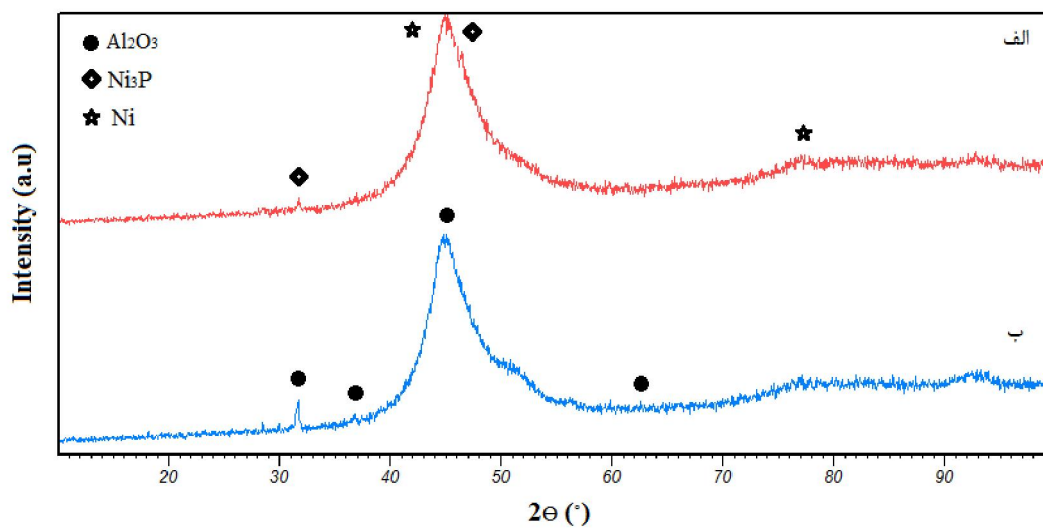
شکل ۵: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مورفولوژی سطح پوشش (الف)  $Ni-P-Al_2O_3$  و (ب) Ni-P.



پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۶. الگوی پراش پرتو ایکس زیر لایه تیتانیوم خالص بدون پوشش.



شکل ۷. الگوی پراش پرتو ایکس تیتانیوم پوشش داده شده با حمام الکترولس نیکل-فسفر: (الف) بدون تقویت کننده و (ب) در حضور نانوذرات  $Al_2O_3$ .