

تولید و بررسی خواص پوشش الکترولس کامپوزیتی Ni-P-WC-BN

احسان لالی*^۱، محمود محمودی^۲

۱- کارشناسی ارشد خوردگی، بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، اصفهان، ایران

* Laali.Ehsan@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۰)

چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد امروزه استفاده از تکنیک رسوب‌دهی همزمان ذرات سرامیکی در حین پروسه الکترولس Ni-P مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. این ذرات مانند (PTFE، MoS₂، SiC، B₄C و Al₂O₃) می‌توانند خواصی مانند مقاومت شیمیایی بالا، عدم قابلیت انحلال، پایداری حرارتی در دمای بالا، سختی بالا و قابلیت خودروانکاری در پوشش ایجاد نمایند. هدف از این تحقیق تولید، بررسی و مقایسه خواص مقاومت به خوردگی و تریبولورژیکی نظیر سختی و ضریب اصطکاک پوشش‌های الکترولس کامپوزیتی Ni-P-WC-BN بر روی فولاد ساده کربنی است. در این بررسی سختی توسط دستگاه میکروسختی‌سنج و مقاومت به سایش توسط دستگاه پین روی دیسک اندازه‌گیری شد. ساختار و مورفولوژی سطح این پوشش‌ها نیز توسط پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص خوردگی پوشش‌ها در محلول نمکی ۳٪ NaCl توسط آزمون‌های پلاریزاسیون بررسی شد. نتایج نشان داد که پوشش کامپوزیتی الکترولس Ni-P-WC-BN از سختی، ضریب اصطکاک و حتی مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به پوشش‌های Ni-P-WC و Ni-P-BN برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

پوشش الکترولس کامپوزیتی، سختی، مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی

۱- مقدمه

بسته به نوع ذره، می‌تواند در پوشش الکترولس کامپوزیتی دمای شدیداً پایین یا خلأ بالا می‌باشد [۷]. ذرات سرامیکی BN حاصل سبب بهبود ویژگی‌های سایشی، اصطکاکی و خوردگی گردد [۸-۱۱]. ذرات سختی نظیر SiC، Al₂O₃ و SiO₂ جهت افزایش سختی و مقاومت به سایش پوشش استفاده می‌شود و ذراتی چون PTFE، گرافیت و MoS₂ بعنوان روانکار خشک با قرار گرفتن در پوشش الکترولس نیکل موجب کاهش ضریب اصطکاک و

پوشش‌های الکترولس نیکل به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب از جمله سختی و مقاومت به سایش بالا، مقاومت به خوردگی مناسب و ضخامت یکنواخت سبب شده که در صنایع مختلفی نظیر صنایع نفت و گاز، صنایع الکترونیک، صنایع نظامی و هوافضا به طور برجسته‌ای مورد توجه قرار گیرد [۱-۷]. اما جدیدترین پیشرفت در زمینه پوشش الکترولس نیکل-فسفر رسوب‌دهی همزمان ذرات جامد در طول پوشش‌دهی است که

شرایط مذکور در جدول (۱) و (۲) استفاده گردید. pH این حمام بوسیله سود ۱۵ نرمال و با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتالی روی اعداد ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ تنظیم و در جریان پوشش دهی ثابت نگه داشته می شد. بطور کلی نمونه ها به مدت سه ساعت در دماهای ۷۰، ۸۰ و ۹۰°C در داخل حمام آبکاری (بشر ۲۵۰ میلی لیتری) قرار گرفته و طی این مدت زمان، حمام مرتباً به هم زده می شد. به منظور معلق نگهداشتن ذرات موجود در محلول آبکاری از همزن مغناطیسی و همچنین ترکننده های سطح^۱ استفاده شد.

جدول (۱): شرایط حمام مورد استفاده

T	pH	هدف آزمایش
۹۰°C (ثابت)	۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵	مطالعه اثر pH
۷۰، ۸۰ و ۹۰°C	pH (ثابت)	مطالعه اثر دما

پیش از قرار دادن نمونه ها در حمام، ابتدا حمام آبکاری در داخل یک ظرف بزرگ تر پر از آب با دمای مورد نظر، قرار می گرفت تا به دمای لازم برسد و در آن موقع نمونه هایی که فعال شده بودند، در داخل حمام قرار می گرفتند. در نهایت نمونه ها از حمام خارج و به مدت ۱۲۰-۶۰ ثانیه درون آب مقطر قرار گرفته و سپس در هوا خشک می شدند. برای انجام آزمایشات، نمونه ها توسط یک نخ ابریشمی در داخل حمام آبکاری آویزان شدند. در تمام آزمایشات حجم محلول مورد استفاده ۱۵۰ میلی لیتر نگه داشته می شد. برای اینکار سعی شد با استفاده از پارافیلیم از تبخیر محلول حمام جلوگیری شود، هر چند، میزان تبخیر حمام در زمان های مورد آزمایش چندان قابل توجه نبود و تأثیر زیادی روی نتایج آزمایش نداشت. همچنین برای جلوگیری از رقیق شدن ترکیب حمام آبکاری، هر حمام آبکاری فقط برای یک نمونه به کار برده شد. اندازه ذرات WC و BN بکار برده شده در پوشش میکرونی بود. نحوه ی توزیع ذرات کامپوزیتی و

افزایش روانکاری پوشش می گردند [۱۰-۱۷]. معمولاً روانکارهای جامد در مواردی مورد استفاده قرار می گیرد که روانکار مایع نتواند استفاده شود. این موارد شامل دمای بالا، به دلیل ساختار هگزاگونال، بعنوان یک روانکار جامد بوده و لذا پوشش الکترولس کامپوزیتی Ni-P-BN، ضریب اصطکاک کمی دارد، لیکن پوشش حاوی این ذرات تنها در بارهای اعمالی کم کاربرد دارد [۱۸]. از طرفی ذرات WC بعنوان یکی از انواع ذرات، از لحاظ شیمیایی خنثی و همچنین سخت بوده، و پوشش الکترولس Ni-P-WC دارای ویژگی هایی نظیر قابلیت تحمل بار زیاد و مقاومت به خوردگی بالا می باشند، اگر چه قابلیت خودروانکاری خوبی ندارند [۱۶]. هدف از انجام این تحقیق تولید و بررسی خواص پوشش الکترولس کامپوزیتی Ni-P-WC-BN می باشد، چرا که رسوب همزمان این دو ذره کامپوزیتی سبب تولید پوشش کامپوزیتی با مجموع مزایا گشته و می تواند موجب بهبود ویژگی های سایشی، اصطکاک و خوردگی پوشش گردد.

۲- مواد و روش تحقیق

در تحقیق حاضر از ورقه های فولاد ساده کربنی به ابعاد 50mm×15mm×2mm بعنوان زیرلایه استفاده شد. قبل از هر گونه عملیات آبکاری روی نمونه ی فلزی، می بایستی عملیات آماده سازی سطح انجام شود به طوری که پوشش به خوبی روی آن بنشیند. برای رسیدن به این هدف، باید یک یا چند عمل آماده سازی به منظور پاک کردن آلودگی های سطح، و فعال سازی آن انجام شود. جهت آماده سازی به ترتیب عملیات سنباده زنی، پولیش، قرار دادن نمونه ها و شستشو دادن آن ها در استون توسط دستگاه آلتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه، قلیاشویی در محلول سود در دمای ۶۰°C به مدت ۳ تا ۵ دقیقه، چربی زدایی الکترولیتی در دمای ۸۰°C و در نهایت فعال سازی سطح زیرلایه در محلول ۵٪ اسید سولفوریک انجام شد. سپس برای ترسیب پوشش های کامپوزیتی Ni-P-BN، Ni-P-WC و Ni-P-WC-BN بر روی نمونه ها از حمامی با ترکیب شیمیایی و

حاصله توسط دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات Auto-Lab و به کمک آزمون پتانسیودینامیک در محدوده پتانسیل ۰/۲۵- تا ۰/۱۰۰V+ نسبت به پتانسیل مدار باز با سرعت روبش ۰/۵mV/sec در محلول ۳ درصد وزنی NaCl مورد بررسی قرار گرفت. در تمام آزمون‌های خوردگی از الکتروود کالومل به عنوان الکتروود مرجع برای گزارش مقادیر پتانسیل و از الکتروود کربنی به عنوان الکتروود شمارنده جریان استفاده شد. آنالیز نتایج آزمون‌های پلاریزاسیون و منحنی‌های تافل توسط نرم‌افزار GPES4.9 انجام شد. تاثیر عملیات حرارتی که به مدت یک ساعت و در دمای ۴۰۰°C انجام گرفت، نیز بررسی گردید.

مورفولوژی پوشش توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. سختی پوشش‌ها براساس روش اندازه‌گیری سختی ویکرز توسط دستگاه سختی‌سنج KOOPA MHI با اعمال نیروی عمودی ۵۰ گرم و مدت زمان اعمال نیرو ۱۵ ثانیه بر روی نمونه‌هایی با ضخامت تقریبی ۴۵ میکرون مورد سنجش قرار گرفت. آزمون سایش به روش پین روی دیسک و در دمای اتاق انجام شد. سرعت چرخش برای تمام نمونه‌ها ۶۰ RPM و نیروی اعمالی ۲۵ نیوتن بود. برای محاسبه نرخ سایش هر نمونه در دو مرحله، یکی پیش از شروع آزمون سایش و دیگری پس از آن، بعد از طی مسافت ۲۵۰ متر، توزین شد. مقاومت به خوردگی پوشش‌های

جدول (۲): ترکیب حمام مورد استفاده

Ni-P-WC-BN	Ni-P-BN	Ni-P-WC	Ni-P	ترکیب / پوشش
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	سولفات نیکل (g/l)
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	هیپوفسفیتم سدیم (g/l)
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	سولفات آمونیم (g/l)
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	استات سدیم (g/l)
۵-۱۵	-	۵-۱۵	-	پودر WC (g/l)
۵-۱۵	۵-۱۵	-	-	پودر BN (g/l)
۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	-	ترکننده‌های سطح

حضور و توزیع یکنواخت ذرات در پوشش‌ها را نشان داده که این امر ناشی از دو عامل است، یکی استفاده از ترکننده‌های سطح و دیگری استفاده از همزن مغناطیسی حین فرآیند پوشش دهی می‌باشد.

۳-۲- نتایج آنالیز اشعه X

شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) الگوی XRD پوشش‌های عملی Ni-P و Ni-P-BN-WC را قبل از عملیات حرارتی نشان می‌دهد. این نوع الگوی XRD نشان دهنده حضور ساختار آمورف در پوشش‌ها قبل از عملیات حرارتی است. این مسئله در تحقیقات دیگر هم نشان داده شده است [۸-۱۸]. علاوه بر آن، این نتایج وجود ذرات WC و BN را اثبات می‌کند. مقایسه پراش‌های

۳- نتایج و بحث

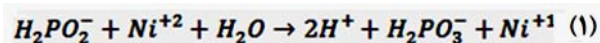
در این قسمت به بررسی و تشریح نتایج به دست آمده از این تحقیق پرداخته می‌شود.

در این رابطه خواص پوشش Ni-P و پوشش‌های کامپوزیتی Ni-P-WC، Ni-P-BN و Ni-P-WC-BN که به روش الکتروولس بر روی زیر لایه فولاد ساده کربنی ایجاد شدند، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۳-۱- تصاویر و مورفولوژی سطحی پوشش‌های تولید شده

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوشش‌های کامپوزیتی Ni-P-WC، Ni-P-BN و Ni-P-WC-BN که بترتیب در شکل‌های (۱-الف)، (۱-ب)، و (۱-ج) نشان داده شده،

واکنش‌های اصلی طی فرایند الکترولس است، به سمت راست پیش می‌رود و در نتیجه تشکیل پوشش راحت‌تر صورت می‌گیرد.



۳-۴- تأثیر دما بر روی سرعت پوشش دهی ترکیب

کامپوزیتی Ni-P-WC-BN

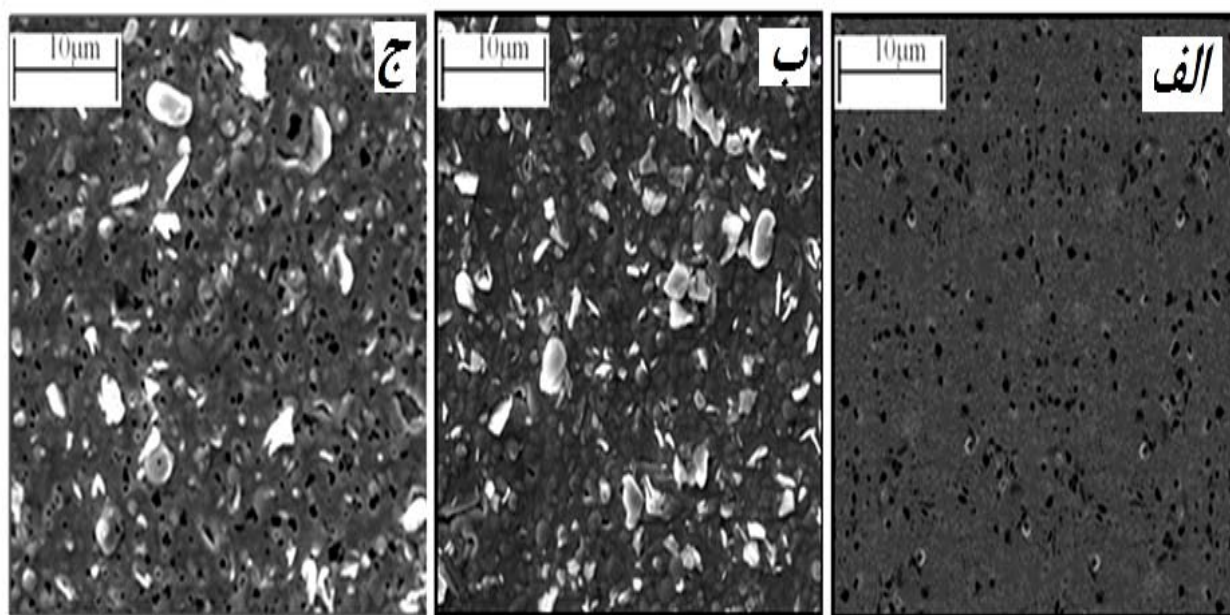
شکل (۴) تأثیر دمای حمام پوشش دهی بر ضخامت پوشش و سرعت پوشش دهی ترکیب کامپوزیتی Ni-P-WC-BN، در pH برابر با ۶/۱ و مدت زمان پوشش دهی سه ساعت را نشان می‌دهد. تأثیر دما بر سرعت پوشش دهی همانند تأثیر pH می‌باشد، به طوری که با افزایش دمای حمام سرعت پوشش دهی، ضخامت پوشش زیاد می‌گردد. در فرایند الکترولس واکنش‌های زیادی مانند واکنش (۱) رخ می‌دهد که تمامی این واکنش‌ها با اعمال انرژی خارجی فعال می‌گردند و بدون افزایش دما هیچ یک رخ نخواهد داد. بنابراین هرچه دمای حمام بالاتر باشد، واکنش‌ها راحت‌تر رخ می‌دهد و لذا سرعت پوشش دهی بالا می‌رود [۳-۴].

حاصله در شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) نشان دهنده عدم تأثیر گذاری ذرات بر ساختار پوشش Ni-P می‌باشد. الگوی XRD پوشش اعمالی Ni-P-BN-WC بعد از عملیات حرارتی در شکل (۲-ج) آمده است و نشان می‌دهد که پوشش الکترولس کامپوزیتی Ni-P-BN-WC از حالت آمورف به کریستالی تغییر ساختار داده است چرا که زمینه این پوشش در اثر انجام عملیات حرارتی به مخلوطی از فاز نیکل و فاز سخت Ni₃P تبدیل شده است.

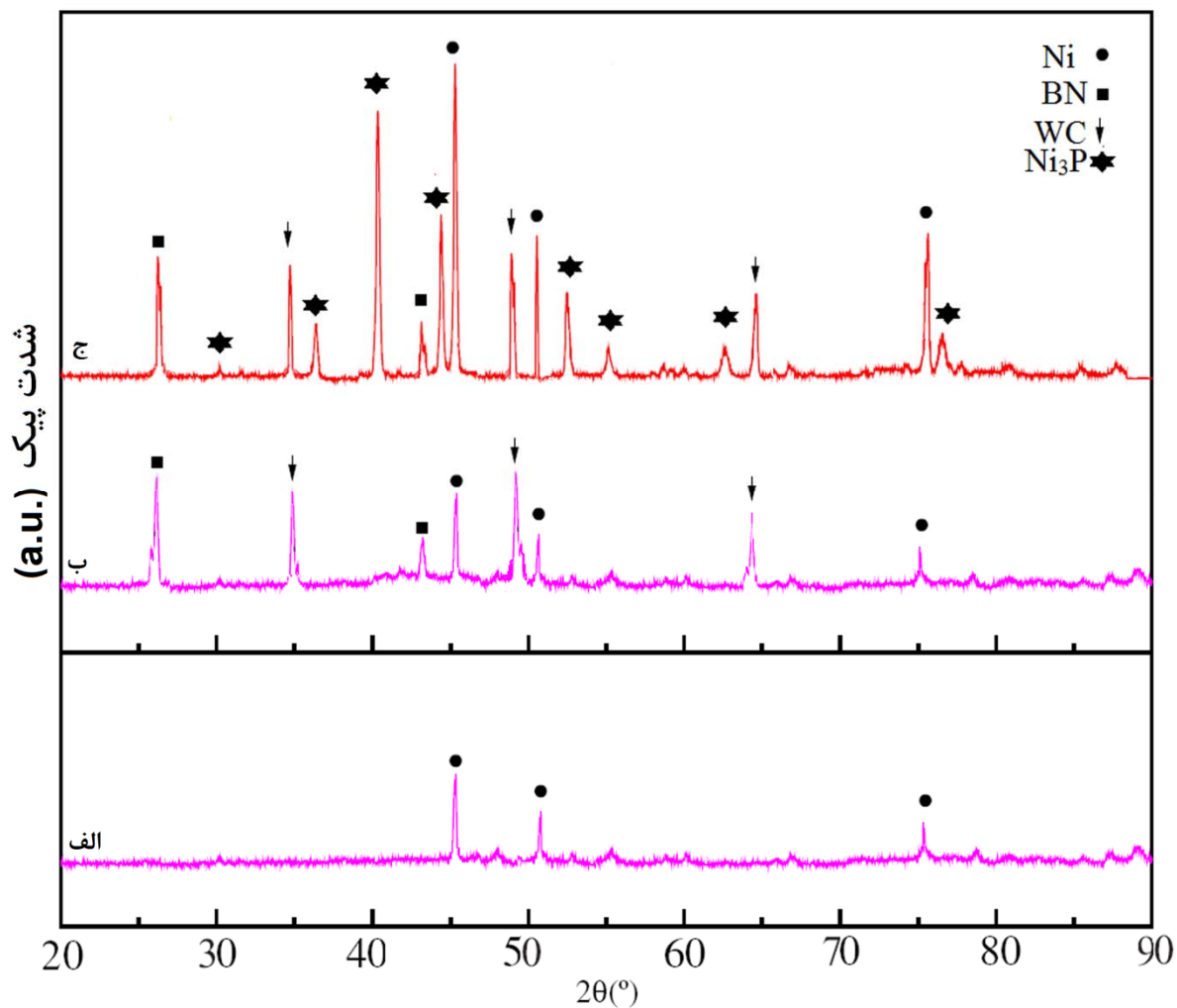
۳-۳- تأثیر pH بر سرعت پوشش دهی ترکیب کامپوزیتی

Ni-P-WC-BN

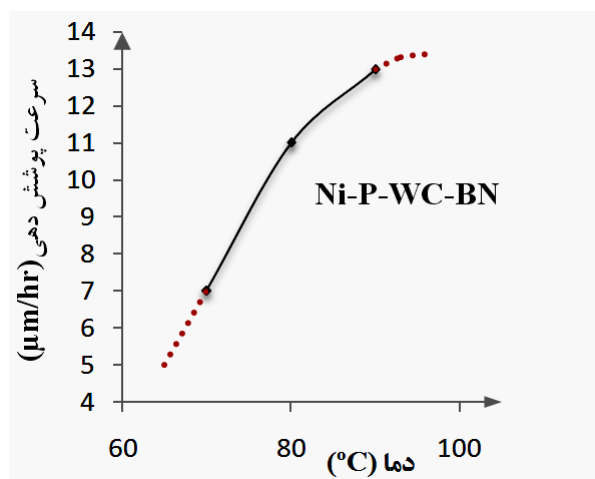
تأثیر pH بر سرعت پوشش دهی ترکیب الکترولس کامپوزیتی Ni-P-WC-BN، در دمای ۹۰°C و مدت زمان پوشش دهی سه ساعت، در شکل (۳) آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، افزایش میزان pH سبب افزایش سرعت پوشش دهی می‌گردد. این افزایش pH سبب افزایش قدرت احیای هیپوفسفیته سدیم که یک احیاکننده است، می‌شود، در واقع با افزایش pH میزان غلظت H⁺ کاهش می‌یابد و لذا واکنش (۱) که یکی از



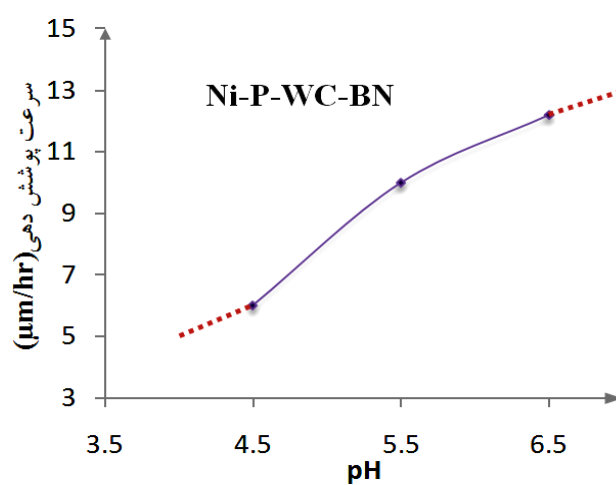
شکل (۱): تصاویر SEM از سطح پوشش‌های کامپوزیتی: الف) Ni-P-WC، ب) Ni-P-BN و ج) Ni-P-WC-BN



شکل (۲): الگوی XRD پوشش اعمالی الف (Ni-P) و ب (Ni-P-BN-WC) قبل از عملیات حرارتی و ج (Ni-P-BN-WC) بعد از عملیات حرارتی



شکل (۴): تأثیر دمای حمام بر سرعت پوشش دهی Ni-P-WC-BN در pH=۶/۱



شکل (۳): تأثیر pH بر سرعت پوشش دهی Ni-P-WC-BN در دمای ۹۰°C

۳-۵- تأثیر pH بر سختی پوشش الکترولس کامپوزیتی

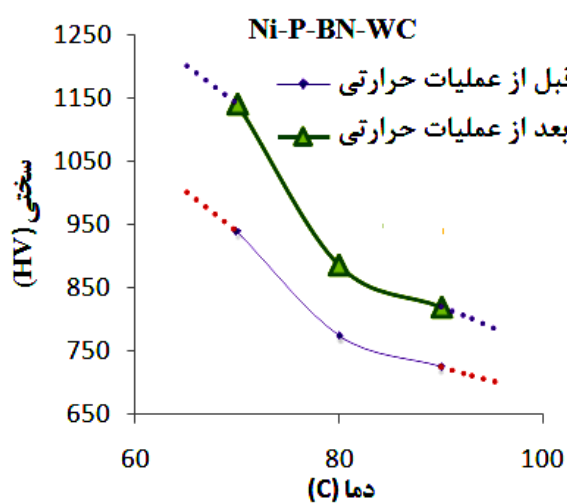
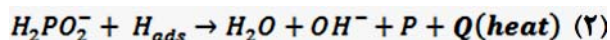
Ni-P-WC-BN

شکل (۵) تأثیر pH بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN در دمای ۹۰°C قبل و بعد از عملیات حرارتی نشان می‌دهد. با توجه به دیاگرام غیرتعادلی نیکل- فسفر [۱۹]، افزایش درصد فسفر، افزایش میزان سختی پوشش Ni-P را به همراه دارد. این نکته نیز واضح و مبرهن است که افزایش pH، واکنش (۲) را در جهت عکس پیش می‌برد که این مساله منجر به کاهش درصد فسفر در پوشش Ni-P-WC-BN می‌گردد. لذا در دمای ثابت، با کاهش درصد فسفر، میزان سختی پوشش کاهش می‌یابد. شکل (۵) تأثیر یکسان افزایش pH بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN قبل و بعد از عملیات حرارتی را نیز نشان می‌دهد. همچنین نشان می‌دهد که در یک pH و دمای ثابت، میزان سختی با عملیات حرارتی افزایش می‌یابد.

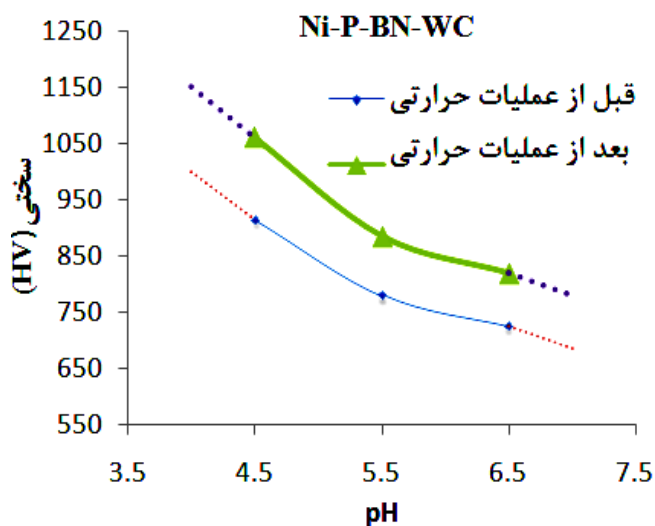
۳-۶- تأثیر دما بر سختی پوشش الکترولس کامپوزیتی

Ni-P-WC-BN

شکل (۶) تأثیر دما بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN در pH برابر با ۶/۱ قبل و بعد از عملیات حرارتی نشان می‌دهد. با توجه به دیاگرام غیرتعادلی نیکل- فسفر [۱۹]، افزایش درصد فسفر، افزایش میزان سختی پوشش Ni-P را به همراه دارد. این نکته نیز واضح و مبرهن است که افزایش دما، واکنش (۲) را در جهت عکس پیش می‌برد که این مساله منجر به کاهش درصد فسفر در پوشش Ni-P-WC-BN می‌گردد. لذا در pH ثابت، با کاهش درصد فسفر، میزان سختی پوشش کاهش می‌یابد. شکل ۶ تأثیر یکسان افزایش دما بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN قبل و بعد از عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. همچنین نشان می‌دهد که در یک pH و دمای ثابت، میزان سختی با عملیات حرارتی افزایش می‌یابد.



شکل (۶): تأثیر دما بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN در pH برابر با ۶/۱

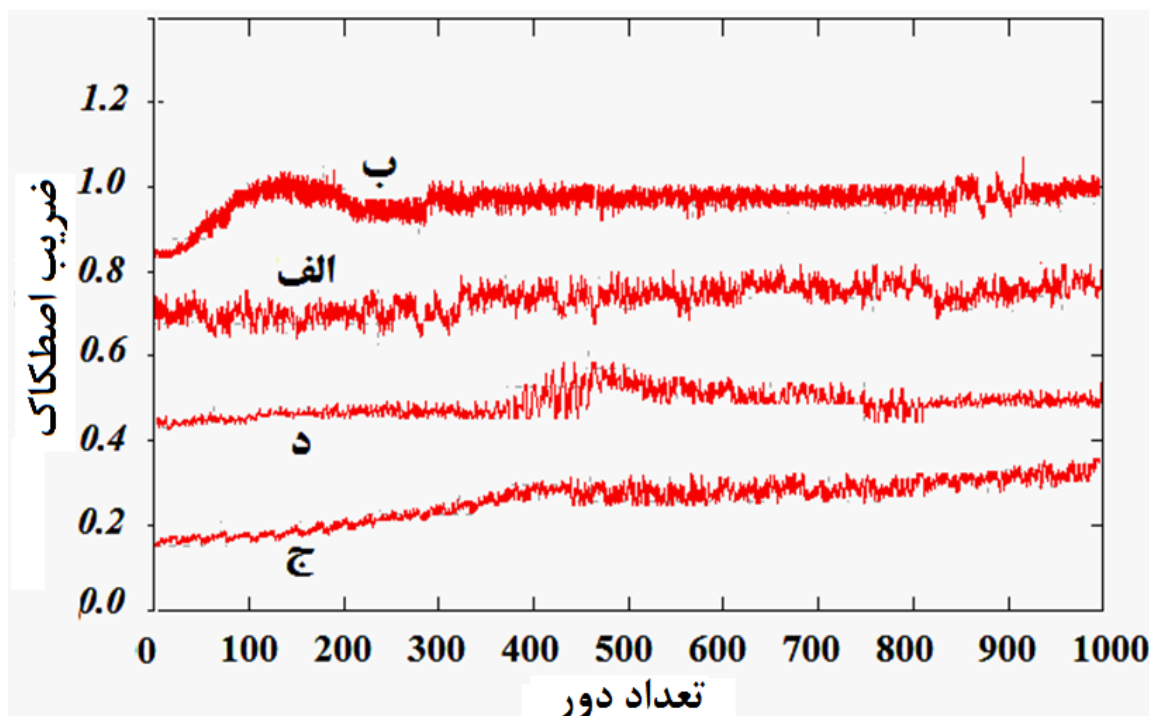


شکل (۵): تأثیر pH بر سختی پوشش Ni-P-WC-BN در دمای ۹۰°C

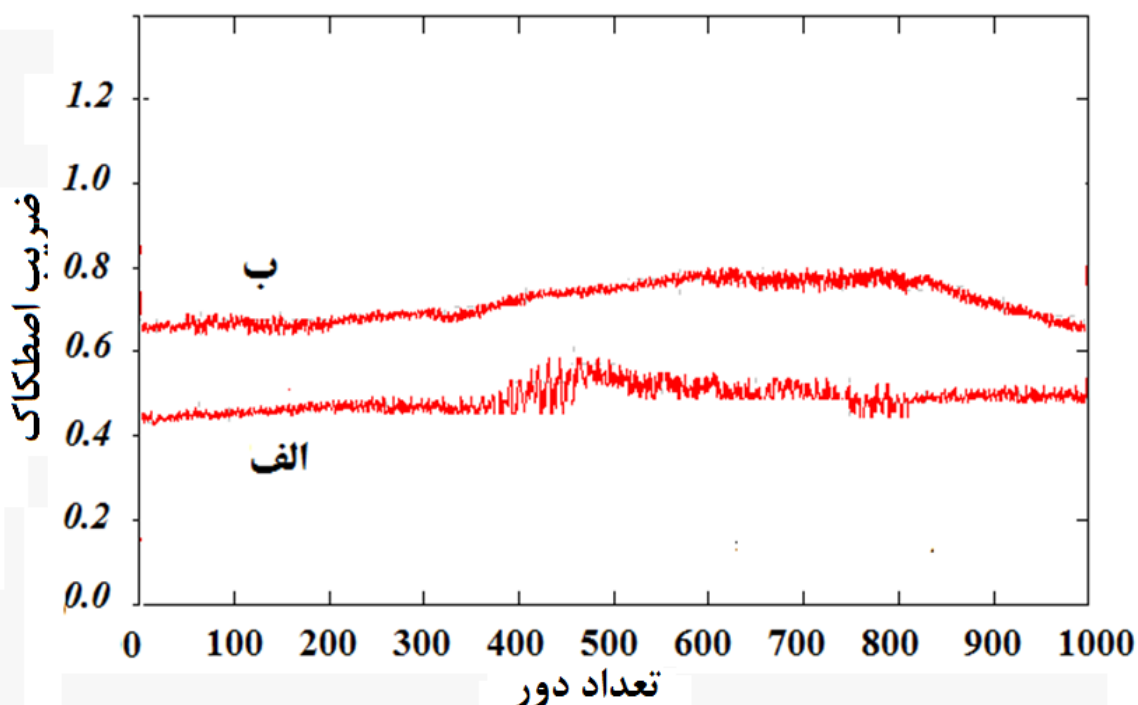
۳-۷ نتایج آزمون سایش

قبل و بعد از عملیات حرارتی انجام گرفته است که نشان می‌دهد به دلیل تشکیل فاز سخت فسفات، ضریب اصطکاک افزایش یافته است. در جدول ۳ و ۴ نیز مقایسه‌ای بین نرخ سایش و سختی پوشش‌های کامپوزیتی قبل و بعد از عملیات حرارتی صورت گرفته است. با توجه به نتایج می‌توان اثر افزودن ذرات سخت کننده WC را در کاهش نرخ سایش و افزایش سختی پوشش‌ها مشاهده نمود. افزودن ذرات خودروانکار BN به پوشش اگرچه سبب کاهش ضریب اصطکاک پوشش‌ها می‌شود اما ازدیاد نرخ سایش و کاهش سختی پوشش‌ها را نیز به همراه دارد. انجام عملیات حرارتی نیز به دلیل ایجاد تغییر ساختاری در پوشش الکترولس و تشکیل فاز سرامیکی و سخت Ni_3P ، سبب ازدیاد سختی و کاهش نرخ سایش می‌شود.

شکل (۷) ضریب اصطکاک پوشش‌های Ni-P، Ni-P-BN، Ni-P-WC و Ni-P-BN-WC را به صورت تابعی از تعداد دور نشان می‌دهد. به دلیل وجود ذرات سخت کننده WC، پوشش‌های Ni-P-WC دارای بیشترین ضریب اصطکاک می‌باشد. در صورتی که افزودن ذرات BN به ماتریکس Ni-P سبب کاهش شدید و قابل توجه ضریب اصطکاک می‌شود که علت این مساله را باید در خصوصیت ذاتی خودروانکاری ذرات BN جستجو کرد. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که ضریب اصطکاک پوشش Ni-P-BN-WC که شامل دو ذره‌ی سخت کننده و خودروانکار است، بین ضریب اصطکاک پوشش‌های Ni-P-BN و Ni-P-WC می‌باشد. در شکل (۸) مقایسه‌ای بین نمودار ضریب اصطکاک پوشش Ni-P-BN-WC



شکل (۷): ضریب اصطکاک پوشش‌های: (الف) Ni-P، (ب) Ni-P-WC، (ج) Ni-P-BN و (د) Ni-P-BN-WC



شکل (۸): ضریب اصطکاک پوشش Ni-P-BN-WC: الف) قبل و ب) بعد از عملیات حرارتی

جدول (۴): مقایسه‌ی بین نرخ سایش پوشش‌ها قبل و بعد از عملیات حرارتی

نرخ سایش ($10^{-3} \text{mm}^3 \text{m}^{-1}$)		پوشش
بعد از عملیات حرارتی	قبل از عملیات حرارتی	
۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۰۹	Ni-P
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۴	Ni-P-WC
۰/۰۷۰۱	۰/۱۳۰۴	Ni-P-BN
۰/۰۰۲۴	۰/۰۴۵۱	Ni-P-WC-BN

جدول (۳): مقایسه‌ی بین سختی پوشش‌ها قبل و بعد از عملیات حرارتی

سختی (ویکرز)		پوشش
بعد از عملیات حرارتی	قبل از عملیات حرارتی	
۶۴۸	۵۲۴	Ni-P
۹۹۶	۹۰۳	Ni-P-WC
۷۲۳	۶۵۱	Ni-P-BN
۸۵۴	۷۵۲	Ni-P-WC-BN

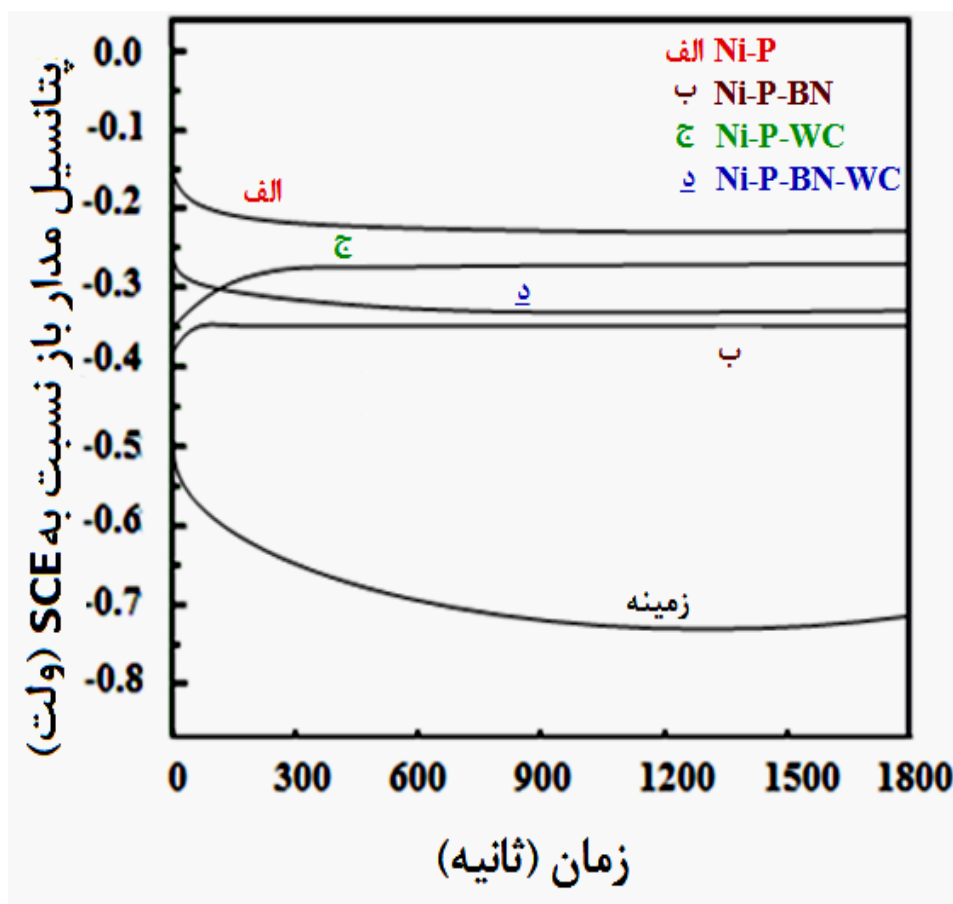
۳-۸- نتایج آزمون خوردگی

نمونه‌های پوشش داده شده دارای پتانسیل سطح^۲ بالاتری نسبت به زمینه بدون پوشش هستند که نشان از بهبود حفاظت آندی نمونه‌های پوشش داده شده در محیط نمکی ۳٪ NaCl دارد. البته

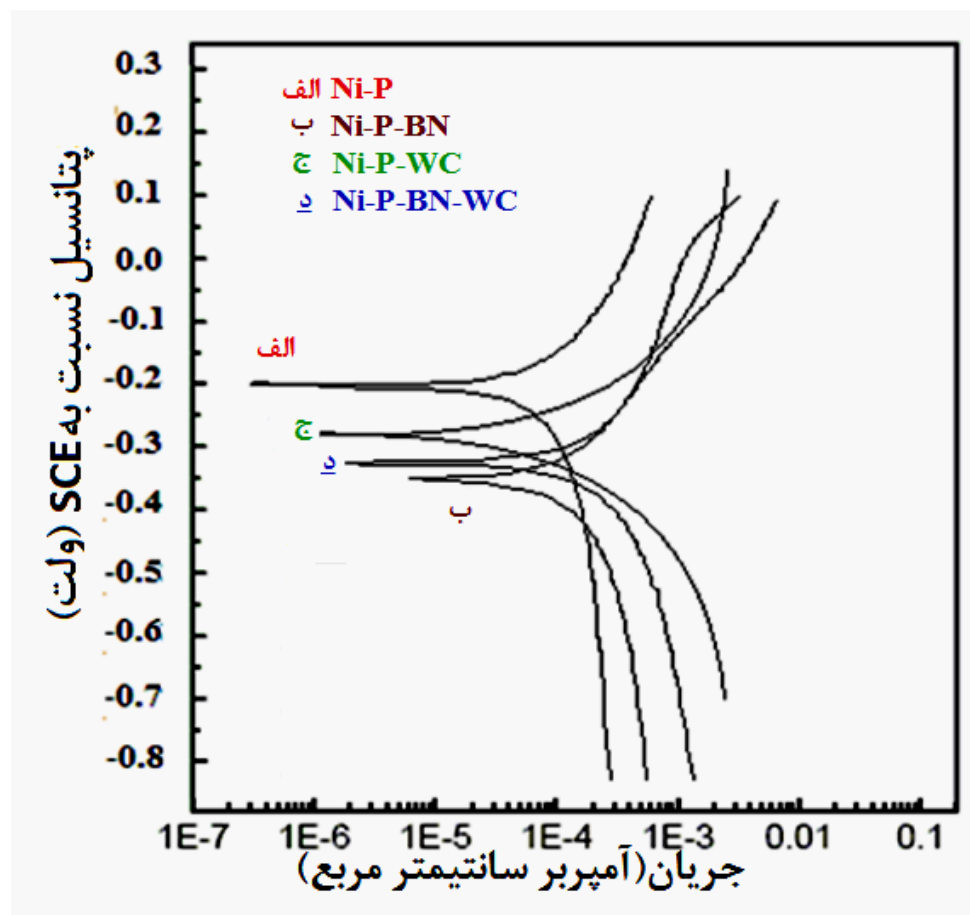
با توجه به شکل (۹) که پتانسیل مدار باز را برای خود زمینه (فولاد ساده کربنی) و پوشش‌های Ni-P، Ni-P-WC، Ni-P-BN و Ni-P-BN-WC نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که همه‌ی

زیادی بازدارنده‌های همزمان رسوب کرده است که مقاومت خوردگی و غیرفعال شدن پوشش را کاهش می‌دهد. همچنین این ذرات می‌توانند ایجاد کننده‌ی ترک باشند که این ترک‌ها مکان‌هایی برای خوردگی می‌شوند. این ذرات زوج گالوانیکی قوی با زمینه پوشش تولید می‌کنند که خوردگی را سرعت می‌بخشد. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که افزودن ذرات BN خیلی بیشتر از ذرات WC سبب کاهش مقاومت خوردگی می‌شود، علت این امر می‌تواند تفاوت در خواص الکتروشیمیایی و تفاوت در پتانسیل سطحی دو ذره باشد. این امر سبب شده است که مقاومت به خوردگی پوشش Ni-P-BN-WC مابین مقاومت به خوردگی دو پوشش Ni-P-BN و Ni-P-WC قرار گیرد.

در این محلول نمونه‌های با پوشش کامپوزیتی دارای پتانسیل مدار باز کمتری نسبت به نمونه Ni-P هستند. نکته دیگر اینکه پوشش‌ها پتانسیل سطح نسبتاً پایداری دارند که نشان دهنده‌ی وجود پوشش‌های همگن است. مقایسه‌ای از نمودارهای پلاریزاسیون پوشش‌های Ni-P، Ni-P-WC، Ni-P-BN و Ni-P-BN-WC در شکل (۱۰) آمده است که بیانگر این نکته است که وجود پوشش تا حد زیادی سبب بهبود مقاومت به خوردگی فولاد ساده کربنی می‌شود که علت آن قطع ارتباط فولاد ساده کربنی از محیط توسط پوشش است. نکته دیگر اینکه در پوشش‌های کامپوزیتی، وجود ذرات سبب کاهش مقاومت به خوردگی می‌شود. چرا که زمینه این پوشش‌ها حاوی مقادیر



شکل (۹): پتانسیل مدار باز پوشش‌های: الف) Ni-P، ب) Ni-P-BN، ج) Ni-P-WC و د) Ni-P-BN-WC



شکل (۱۰): نمودارهای LPR پوشش‌های (الف) Ni-P، (ب) Ni-P-BN، (ج) Ni-P-WC و (د) Ni-P-BN-WC

۴- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از ترکنده سطح مناسب و همزن مغناطیسی حین پروسه پوشش دهی، سبب توزیع یکنواخت ذرات سرامیکی در پوشش‌های کامپوزیتی Ni-P-WC، Ni-P-BN و Ni-P-WC-BN می‌شود.

۲- در اثر عملیات حرارتی، پوشش کامپوزیتی Ni-P-BN-WC از حالت آمورف به کریستالی تغییر ساختار داده است.

۳- افزایش میزان pH در دمای ثابت و همچنین افزایش دما در pH ثابت، سبب افزایش سرعت پوشش دهی می‌گردد.

۴- میزان سختی با افزایش دما در pH ثابت و یا افزایش pH در دمای ثابت، زیاد می‌گردد.

۵- پوشش کامپوزیتی الکترولس Ni-P-WC-BN دارای سختی، ضریب اصطکاک، نرخ سایش و حتی مقاومت به خوردگی بین پوشش‌های Ni-P-WC و Ni-P-BN می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] W. Riedel, "Electroless Nickel Plating", ASM International, Metals Park, Ohio, USA, pp.15-180, 1991.
- [2] M. Schlesinger, "Electroless Deposition of Nickel", John Wiley and Sons, Inc, Canada, pp. 667-690, 2000.
- [3] Q. Zhao, Y. Liu, H. Müller-Steinhagen, G. Liu, Graded "Ni-P-PTFE Coatings and Their Potential Applications", Surface and Coating Technology, Vol. 155, pp. 279-284, 2002.

- [13] Yating Wu, Hezhou Liu, Bin Shen, Lei Liu, Wenbin Hu. "The Friction and Wear of Electroless Ni-P Matrix with PTFE and/or SiC particles composite", *Tribology International*, Vol. 39, pp. 553-559, 2006.
- [14] Yating Wu, Bin Shen, Lei Liu, Wenbin Hu, "The Tribological Behaviour of Electroless Ni-P-Gr-SiC Composite", *Wear*, Vol. 261, pp. 201-207, 2006.
- [15] O.A. Leo'n a, M.H. Staia b, H.E. Hinterman, "Wear Mechanism of Ni-P-BN (h) Composite Autocatalytic Coatings", *Surface & Coatings Technology*, Vol. 200 pp. 1825 - 1829, 2005.
- [16] Z. Abdel Hamid a, S.A. El Badry b, A. Abdel Aal, "Electroless Deposition and Characterization of Ni-P-WC Composite Alloys", *Surface & Coatings Technology*, Vol 201, pp. 5948-5953, 2007.
- [17] S.M. Moonirvaghefi, A. Saatchi, J. Hejazi, "The Effect of Agitation on Electroless Nickel-Phosphorus-Molybdenum Disulfide Composite Plating", *Metal Finishing*, pp. 102-106, 1997.
- [18] Ovidio A. Leo'n, Mariana H. Staia, Hans E. Hintermann, "Deposition of Ni-P-BN(h) Composite Autocatalytic Coatings", *Surface and Coatings Technology*, Vol 108, pp. 461-465, 1998.
- [19] ASM Handbook, "Alloy Phase Diagrams", ASM International, Materials Park, Ohio, Vol. 3, p.282, 1990.
- [4] Y.Gao, Z.J. Zheng, M. Zhu, C.P. Luo, Corrosion Resistance of Electrolessly Deposited Ni-P and Ni-W-P Alloys with Various Structures, *Material Science and Engineering A*, Vol. 381, pp. 98-103, 2004.
- [5] A. Abdel Aal, Z.I. Zaki, Z. Abdel Hamid, Novel Composite Coatings Containing (TiC-Al₂O₃) Powder, *Material Science and Engineering A*, Vol. 447, pp 95-103, 2007.
- [6] C.Y. Huang, W.W. Mo, M.L. Roan, "Studies on the Influence of Double-Layer Electroless Metal Deposition on the Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Fiber/ABS Composites", *Surface and Coating Technolgy*, Vol. 184, pp.163-165, 2004.
- [7] M. Ratzker, D.S. Lashmore, K.W. Pratt, "Plating Surface Finish", pp. 73-74, 1986.
- [8] I. Apachitei, F.D. Tichelaar, J. Duszczuk, L. Katgerman, "The Effect of Heat Treatment on the Structure and Abrasive Wear Resistance of Autocatalytic NiP and NiP-SiC Coatings", *Surface and Coating Technology*, Vol. 149, pp. 263-264, 2002.
- [9] A. Grosjean, M. Rezrazi, "Hardness, Friction and Wear Characteristics of Nickel-SiC Electroless Composite Deposits", *Surface and Coating Technology*, Vol. 137, pp. 92-96, 2001.
- [10] S. Alirezai, S.M. Monirvaghefi, M. Salehi, A. Saatchi, "Wear Behavior of Ni-P and Ni-P-Al₂O₃ Electroless Coatings", *Wear*, Vol. 262, pp. 978-980, 2007.
- [11] S.M. Moonirvaghefi, A. Saatchi, "Tribological behaviour of electroless Ni-P-MoS₂", *Metallkd*, Vol. 88, pp. 498-501, 1997.
- [12] Y.T. Wu, L. Lei, B. Shen, W.B. Hu. "Investigation in Electroless Ni-P-Cg (graphite)-SiC Composite Coating", *Surface & Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 441-445, 2006.

۶- پی نوشت

- 1- Surfactant
- 2- Surface potential