

اثر افزایش مقدار نانو ذرات SiC، بر سختی پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، حاصل از آبکاری الکتریکی

محسن رستمی^{۱*}، رضا ابراهیمی^۲ و احمد ساعتچی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۳- استاد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

*Mosen.ross62@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۰۳)

چکیده

در این تحقیق ایجاد پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr با استفاده از روش آبکاری الکتریکی بررسی شد. برای ایجاد این پوشش ها از حمام واتس استفاده گردید. بدین منظور، پودر های SiC و گرافیت به حمام اضافه شدند و اثر پارامتر مقدار نانو ذرات SiC در حمام واتس بر پوشش تشکیل شده، مورد بررسی قرار گرفت. ساختار پوشش های ایجاد شده با استفاده از روش پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) بررسی گردیدند. نتایج بدست آمده نشان داد، با افزایش مقدار نانو ذرات SiC از ۱۰ به ۲۵ (gr/lit)، میکروسختی و درصد وزنی Si در پوشش ها افزایش می یابد. بیشترین سختی پوشش در مقدار نانو ذرات ۲۵ (gr/lit) بدست آمد. نتایج حاصل شده نشان داد که خواص مورفولوژیکی و سختی پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr حاصل از فرآیند الکتروشیمیایی، با افزایش مقدار نانو ذرات SiC در حمام، بهبود می یابد. همچنین مشخص گردید که سختی پوشش های مذکور، ارتباط زیادی با مقدار گرافیت راسب شده در پوشش های کامپوزیتی ندارد.

واژه های کلیدی:

آبکاری الکتریکی، Ni-SiC-Gr، نانو ذرات SiC، سختی.

۱- مقدمه

بوده است [۱-۲]. در مواردی که سطحی با مقاومت سایشی و سختی بالا مورد نیاز باشد، ذراتی که سختی بیشتری نسبت به زمینه نیکلی داشته باشند، مناسب می باشند [۳]. در این تحقیق با استفاده از فرآیند آبکاری الکتریکی، پوشش کامپوزیتی با زمینه نیکل اعمال گردید. جهت افزایش سختی پوشش های مذکور،

در حال حاضر پوشش های کامپوزیتی زمینه نیکل یکی از پیشرفته ترین انواع پوشش های آبکاری به شمار می آیند. همواره ورود ذرات سرامیکی از جمله کاربید سیلیسیم و سازگار کردن آن با فلز پایه و زمینه نیکل مورد تحقیق و بررسی

فولادی با ابعاد ($1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$) استفاده گردید، پوشش‌ها، در مراحل بعدی تحت بررسی‌های فازی، مورفولوژیکی، میکروسختی، ریز ساختاری و عنصری، قرار گرفتند. در این تحقیق از بشر پیرکس با حجم کلی 250 cc و حجم کاری 100 cc ، جهت ایجاد حمام واتس، استفاده گردید. جهت توزین نمونه‌ها و مواد مصرفی از ترازوی دیجیتالی مدل Sartorius با دقت 0.1 gr استفاده شد. پوشش‌های مذکور، با ثابت فرض نمودن تمام پارامترها، و متغیر قرار دادن pH حمام، ایجاد گردیدند. ابتدا محلول واتس با ترکیب ذکر شده در جدول (۱) تهیه گردید. همچنین شرایط پوشش دهی با متغیر مقدار نانو ذرات SiC در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): ترکیب حمام واتس

مقدار (gr/lit)	مواد اولیه
۲۰۰	سولفات نیکل
۲۰	کلرید نیکل
۴۰	اسید بوریک
۱۲	نانو پودر SiC
۱	پودر گرافیت
۵	پودر CTAB
۵	پودر SDS
۱	ساخارین

جدول (۲): شرایط پوشش دهی

نمونه	نوع جریان	دما ($^{\circ}\text{C}$)	زمان (min)	شدت جریانی (A/dm ²)	نانو پودر SiC (gr/lit)	pH	سرعت همزدن (rpm)
N ₁	DC	۴۵	۲۰	۴	۱۰	۴٫۲	۵۰۰
N ₂	DC	۴۵	۲۰	۴	۱۲	۴٫۲	۵۰۰
N ₃	DC	۴۵	۲۰	۴	۱۵	۴٫۲	۵۰۰
N ₄	DC	۴۵	۲۰	۴	۱۸	۴٫۲	۵۰۰
N ₅	DC	۴۵	۲۰	۴	۲۵	۴٫۲	۵۰۰

جهت تنظیم pH، از سود سوز آور و اسید سولفوریک پنج درصد استفاده شد. پس از انجام مراحل آماده سازی مواد و

ذرات سرامیکی کاربید سیلیسیم در زمینه نیکل راسب گردیدند. همچنین به دلیل خواص خود روانکاری گرافیت، به عنوان تحقیقی نو، گرافیت نیز برای اولین بار توسط روش الکتروشیمیایی در پوشش‌های نانو کامپوزیتی Ni-SiC اعمال گردید.

به دلیل ساختار واندروالس بین لایه‌های گرافیت، پوشش‌های گرافیتی در فصل مشترک‌های سطوح، نیازی به روغن کاری ندارند [۴]. در سال ۱۹۱۶ حمام واتس، انقلابی در روش الکتروشیمیایی ایجاد نمود. پوشش‌های کامپوزیتی حاصل از فرآیند الکتروشیمیایی به مقدار قابل توجهی در دو دهه اخیر مورد تحقیق و استفاده قرار گرفته است. همواره به علت سختی فراوان و عدم ترشوندگی SiC، ایجاد پوشش‌های Ni-SiC-Gr به روش الکتروشیمیایی، بسیار دشوار بوده است. کاربید سیلیسیم دارای سختی بالا، مقاومت به شوک حرارتی، مقاومت به خوردگی شیمیایی، مقاومت به سایش و سختی بالا می‌باشد. مضاف بر این مسئله، ورود ماده دیگری با ساختاری پیچیده به نام گرافیت، که خواص اصطکاکی خوبی در پوشش ایجاد می‌کند، بر دشواری کار می‌افزاید. علاوه بر این‌ها فولاد St37 به دلیل کاربرد بسیار وسیع در صنعت، استحکام بالا، در دسترس بودن، هزینه‌ی اندک، شکل‌پذیری خوب و چسبندگی مناسب، به عنوان فلز پایه مورد استفاده قرار گرفتند [۴-۶]. به طور کلی هدف از انجام این تحقیق، ایجاد پوشش نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr با متغیر قرار دادن مقدار نانو ذرات SiC بوده است، که تا کنون چنین تحقیقی صورت نگرفته است.

۲- روش تحقیق

یکی از عوامل بسیار مهم در پوشش دهی، آماده سازی سطح، قبل از فرآیند آبارکاری الکتروشیمیایی می‌باشد. در این تحقیق، پوشش‌ها بر زیر لایه‌هایی از جنس فولاد St37 اعمال گردیدند. به طور کلی آماده سازی سطح زیر لایه، شامل سه مرحله می‌باشد که عبارتند از: چربی‌گیری، اسید شویی و پولیش کاری. جهت ایجاد پوشش‌های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، از زیر لایه‌ی

جهت سختی سنجی پوشش‌های کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، از دستگاه میکرو سختی سنج مدل Micromet3 ساخت شرکت BOHLER، استفاده شد. نیروی اعمالی جهت سختی پوشش‌ها، ۵۰ gr انتخاب گردید. از سه نقطه‌ی مختلف در مقطع پوشش به ترتیب، نزدیک به زیر لایه، نقطه‌ی میانی و نقطه‌ی دور از زیر لایه، آزمون سختی به عمل آمد، نحوه انتخاب نقاط در آزمایش میکرو سختی در شکل (۲) نشان داده شده است. با استفاده از میانگین سه عدد سختی و با محاسبه انحراف میانگین، سختی نهایی حاصل گردید.

مانت	
۱	
۲	پوشش
۳	
زیر لایه (St ₃₇)	

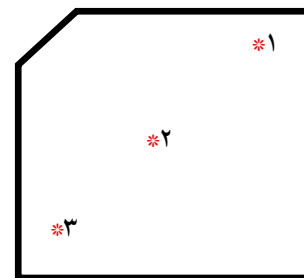
شکل (۲): نحوی سختی سنجی برای محاسبه‌ی سختی پوشش‌ها

۳- نتایج و بحث

شکل (۳ الف) منحنی تغییرات میکروسختی پوشش نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr را نسبت به مقدار وزنی نانو ذرات SiC، نشان می‌دهد. در نمودار شکل (۳ الف) مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار SiC در حمام، میزان سختی پوشش‌ها افزایش یافته است. در غلظت ۱۰ gr/lit، کمترین مقدار هم رسوبی ذرات، و در غلظت ۲۵ gr/lit، بیشترین درصد هم رسوبی SiC در پوشش نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، مشاهده گردید. همچنین منحنی تغییرات درصد وزنی Si و Gr بر حسب افزایش مقدار پودر SiC در حمام واتس، به ترتیب در شکل‌های (۳ ب) و (۳ ج) نشان داده شده است.

فرآیند، با استفاده از جریان مستقیم رکتی فایر، فرآیند راه اندازی شد، به گونه‌ای که آند گرافیتی به قطب مثبت و کاتد فولادی (St37) به قطب منفی رکتی فایر متصل گردیدند. مدت زمان انجام هر آزمایش ۲۰ دقیقه انتخاب شد. با متغیر قرار دادن مقدار پودر SiC در حمام واتس از ۱۰ تا ۲۵ (gr/lit)، مبادرت به ایجاد پوشش‌های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، گردید.

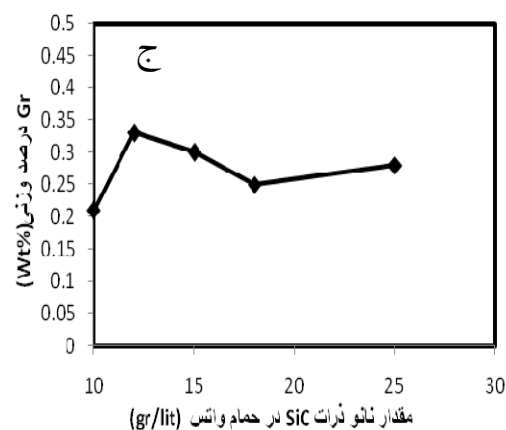
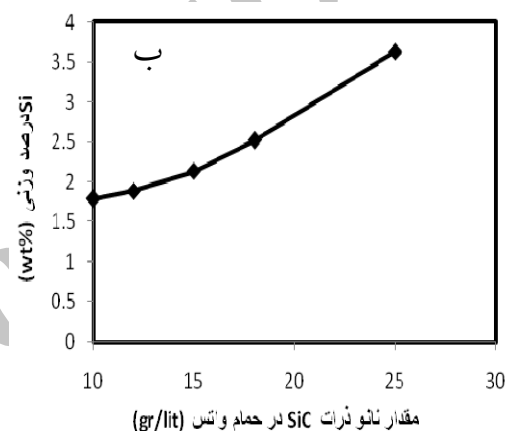
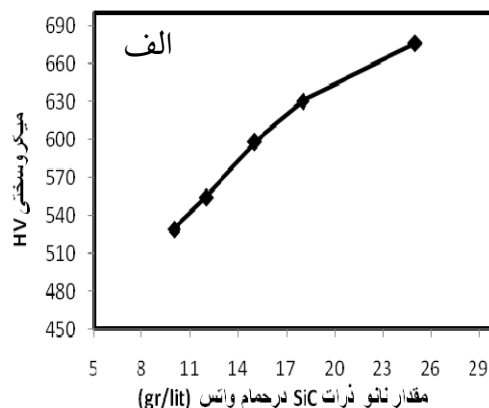
جهت بررسی فازهای تولید شده در پوشش، از دستگاه آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) مدل Philips xpert استفاده شد. همچنین برای انجام مطالعات مورفولوژیکی و محاسبه درصد وزنی عناصر موجود در پوشش‌ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA Tescan easyprobe، استفاده گردید. جهت بررسی دقیق‌تر و مشاهده نحوه پراکندگی نانو ذرات SiC در پوشش‌ها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل S-4160002 استفاده گردید. جهت محاسبه درصد وزنی عناصر، با استفاده از آنالیزور عنصری EDAX میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سه نقطه ثابت در پوشش‌های مذکور در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر آنالیز عنصری به عمل آمد که با استفاده از میانگین سه عدد حاصل شده، درصد وزنی نهایی گزارش شد. نحوه انتخاب سه نقطه جهت اخذ درصد وزنی عناصر در پوشش‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): شماتیک انتخاب محل آنالیز عنصری در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر

الکترولیتی واتس، امکان برخورد ذرات با سطح کاتد و جذب بر سطح کاتد را افزایش می دهد [۷-۸]، بر این اساس مشارکت ذرات در پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr افزایش یافته است. در نتیجه افزایش غلظت نانوذرات در حمام، موجب تجمع بیشتر نانوذرات در حمام گردیده و مشارکت نانو ذرات در پوشش ها افزایش می یابد. این نتایج با گزارشات دیگر مطابقت دارد [۹ و ۷]. در شکل (۳ ج) با افزایش میزان نانو ذرات SiC در حمام واتس، درصد وزنی گرافیت در پوشش نانو کامپوزیتی با SiC ۱۲ gr/lit به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس کاهش یافته است. علت این امر را می توان در تاثیر افزایش نانو ذرات SiC بر حد جذب اشباع میکرو ذرات گرافیت در پوشش نانو کامپوزیتی دانست [۱۰]. با توجه به این موضوع، ابتدا تا مقدار ۱۲ gr/lit، SiC در حمام با توجه به ثابت بودن مقدار گرافیت در حمام، به دلیل کمبود نانو ذرات SiC در حمام، میکرو ذرات گرافیت بیشتر در پوشش دهی مشارکت نموده و دیرتر به حد اشباع در پوشش رسیده اند [۱۱-۱۲]. اما با ورود مقادیر بیشتر از ۱۲ gr/lit SiC به حمام واتس، به میکرو ذرات گرافیت فرصت جذب بیشتر بر سطح کاتد از سوی نانو ذرات داده نشده است و با افزایش جذب نانو ذرات در پوشش، درصد وزنی میکروذرات در پوشش کاهش یافته است [۱۲].

سختی متوسط پوشش نانو کامپوزیتی در غلظت ۱۰ gr/lit نانو ذرات SiC، ۵۲۹HV می باشد. در غلظت ۲۵ gr/lit، سختی پوشش به ۶۷۶HV رسید. با توجه به این نتایج می توان دریافت، مقدار میکرو سختی پوشش ها با میزان رسوب نانو ذرات SiC در پوشش، نسبت مستقیم دارد [۱۳-۱۴]. به عبارتی می توان گفت که با افزایش مقدار نانو ذرات SiC در حمام واتس و همچنین افزایش پتانسیل کلی واکنش با اعمال جریان، انرژی سیستم افزایش می یابد. سیستم، جهت به حداقل رساندن انرژی خود مجبور است ذرات باردار SiC و Gr را راسب نموده و انرژی خود را به حداقل برساند [۱-۱۵ و ۲]. لذا با افزایش میزان نانوذرات



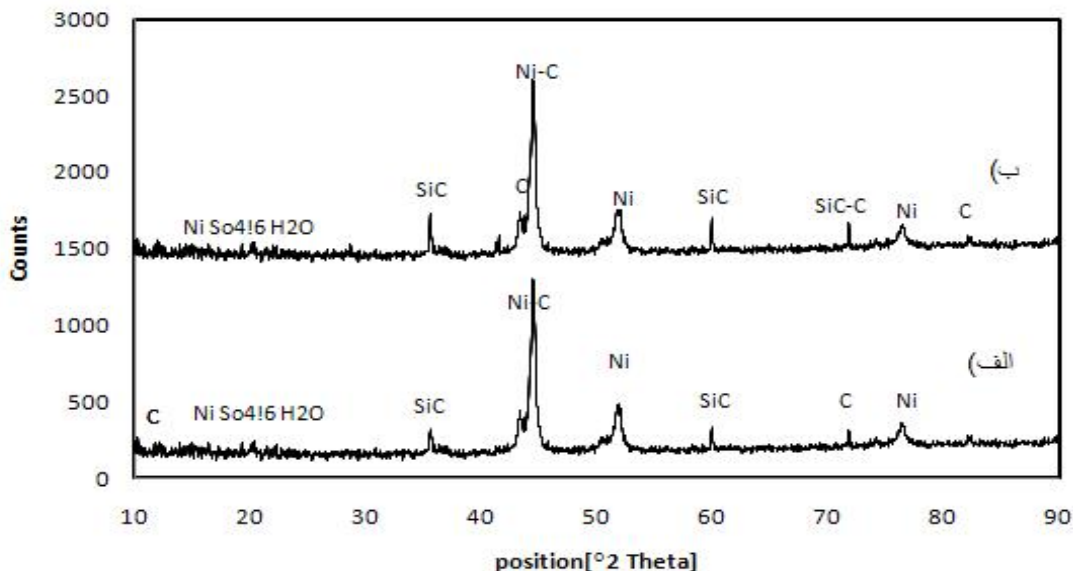
شکل (۳): تاثیر افزایش درصد نانو ذرات SiC در: الف) سختی پوشش، ب) درصد ذرات SiC در پوشش و ج) درصد گرافیت در پوشش

هنگامی که مقدار نانو ذرات SiC در محلول کم می باشد، تعداد ذراتی که به صورت ضعیف جذب کاتد شده اند، بیشتر می گردند [۶]. در واقع افزایش غلظت نانو ذرات، در حمام

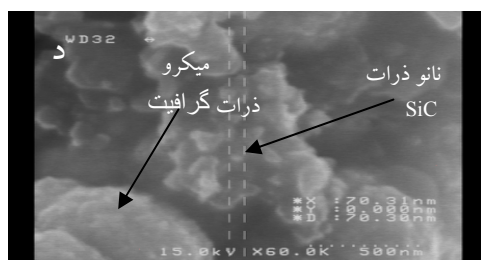
که در رابطه (۱): G مدول برشی، b بردار برگرز نابجایی میان دو ذره و λ فاصله میان دو ذره می‌باشد [۱۸]. هنگامی که تعداد ذرات سخت افزایش یابد و پراکندگی آنها نیز در زمینه مناسب باشد، فاصله ی متوسط میان ذرات (λ) کاهش می یابد و یک پوشش کامپوزیتی با سختی بیشتر حاصل می شود [۱۷ و ۱۸]. این موانع از رشد دانه ها جلوگیری نموده و لذا مراکز جوانه زنی افزایش می یابند. با افزایش مراکز جوانه زنی، دانه ها کوچکتر شده و مطابق نظر هال-پچ می توان نتیجه گرفت، که یکی از دلایل اصلی افزایش میکروسختی، ریز شدن دانه ها به دلیل افزایش مراکز جوانه زنی می باشد [۱۹]. در ادامه با مطالعه ی الگوی پراش پرتو ایکس نمونه های N_2 و N_4 (شکل (۴)) به ترتیب با 12gr/lit و 18gr/lit نانو پودر SiC، به بررسی فازی این پوشش ها پرداخته شد. مشاهده شد، با افزایش مقدار نانو ذرات SiC در حمام واتس، مقدار SiC رسوبی در پوشش N_4 نسبت به پوشش N_2 ، افزایش نشان می دهد.

در SiC در حمام و افزایش میزان رسوب نانو ذرات SiC در پوشش، میکروسختی پوشش ها افزایش نشان می دهند [۱۶ و ۱۷]. این افزایش سختی را می توان ناشی از پراکندگی سختی و توزیع ذرات سخت در زمینه نیکل نیز دانست. در مکانیزم پراکنده سختی با افزایش ذرات سخت در زمینه فلزی، فاصله متوسط نانوذرات سخت از یکدیگر به کمتر از قطر نانو ذرات رسیده و موجب پدیده پراکنده سختی می گردند [۱۷ و ۲]. با افزایش نانو ذرات رسوبی SiC و به دنبال آن میکروذرات گرافیت، فاصله میان ذرات نیز کاهش می یابد، در نتیجه بر اساس معادله ی ارووان (معادله ۱)، نانو ذرات SiC به عنوان ناخالصی های سرامیکی سخت در پوشش عمل نموده، و مانع از حرکت نابجایی ها در پوشش می شوند. لذا تنش برشی اعمالی جهت حرکت نابجایی ها افزایش می یابد.

$$\tau_0 = \frac{Gb}{\lambda} \quad (1)$$

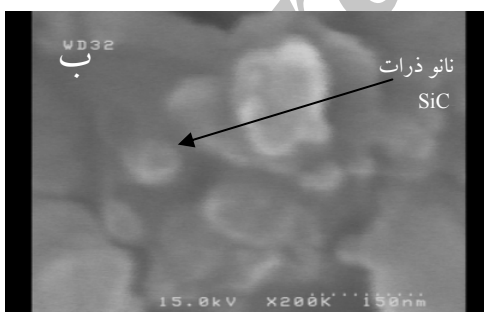
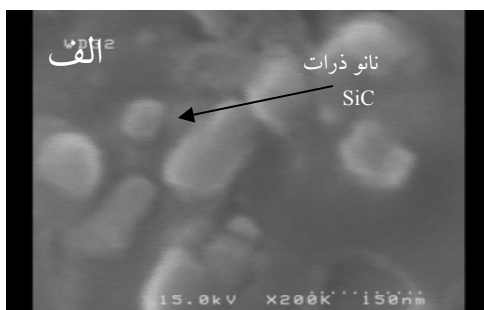


شکل (۴): الگوی پراش پرتو اشعه ایکس (XRD) از پوشش های نانو کامپوزیتی: الف) پوشش نانو کامپوزیتی با 12gr/lit پودر نانو SiC و ب) پوشش نانو کامپوزیتی با 18gr/lit پودر نانو SiC



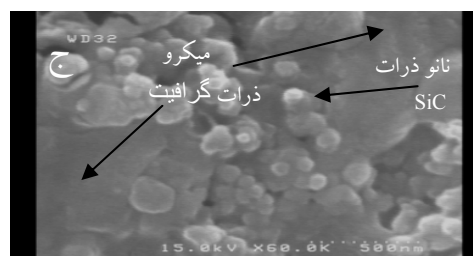
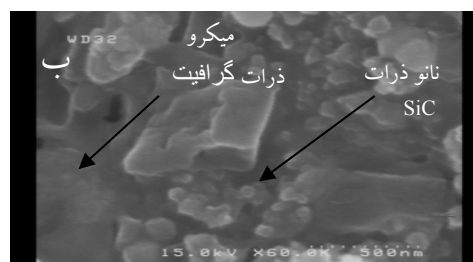
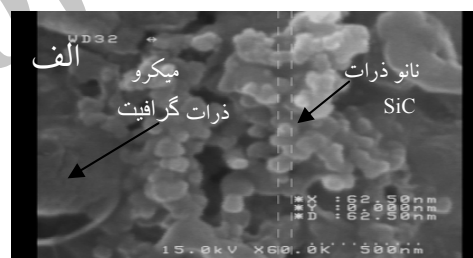
شکل (۵): تصویر FESEM از پوشش های نانو کامپوزیتی: الف) ۱۲ gr/lit پودر نانو SiC (N_2)، ب) ۱۵ gr/lit پودر نانو SiC (N_3)، ج) ۱۸ gr/lit پودر نانو SiC (N_4) و د) ۲۵ gr/lit پودر نانو SiC (N_5)

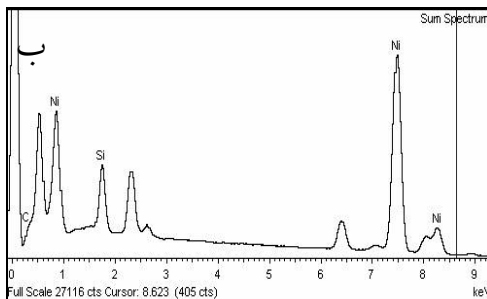
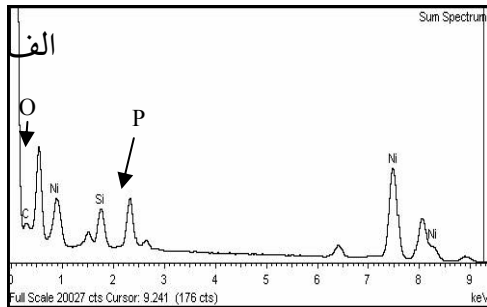
جهت مشاهده ی دقیق تر پوشش های N_2 و N_4 ، از تصاویر (FESEM) با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰۰ برابر استفاده گردید، که در شکل (۶) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود، نانو ذرات SiC در تشکیل پوشش کامپوزیتی مشارکت نمودند.



شکل (۶): تصویر FESEM از پوشش های نانو کامپوزیتی با بزرگنمایی های ۲۰۰۰۰۰ برابر: الف) پوشش با ۱۲ gr/lit پودر نانو SiC (N_2)، ب) پوشش با ۱۸ gr/lit پودر نانو SiC (N_4)

افزایش نانو ذرات SiC در رسوب، با افزایش مقدار ذرات در الکترولیت را می توان، توسط مدل جذب دو مرحله ای گوگلیمی نیز بررسی نمود [۲۰]. هر چه غلظت ذرات SiC در الکترولیت بیشتر شود، سرعت جذب افزایش یافته و موجب ارتقاء درصد وزنی نانو ذرات SiC در پوشش می شود [۲۰]، به بیانی دیگر، با افزایش مقدار ذرات SiC در حمام، ظرفیت گیرایی فلز در حال رشد افزایش یافته و میزان مشارکت نانو ذرات SiC و میکرو ذرات Gr در پوشش ها افزایش می یابد [۲۱، ۶]. جهت بررسی مورفولوژی سطحی، از پوشش های این گروه، از تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ (FESEM)، (شکل (۵)) استفاده گردید، در پوشش N_2 ، ذرات SiC به همراه میکرو ذرات Gr به شکل توده های به هم پیوسته، بر زمینه Ni رسوب نمودند.

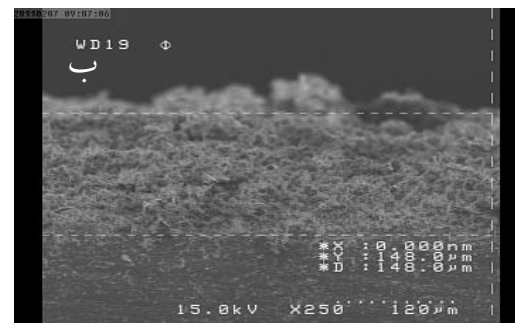
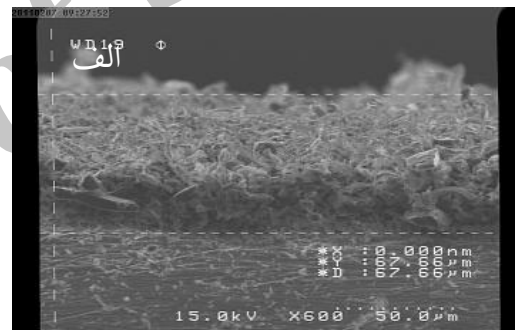




شکل (۸): آنالیز عنصری از پوشش‌های نانو کامپوزیتی: الف) ۱۲gr/lit پودر نانو SiC (N₂)، ب) ۱۸ gr/lit پودر نانو SiC (N₄)

هر یون پس از احیا شدن و ورود به ساختار، در اثر احیای یون‌های بعدی، در ریز ساختار قفل شده و اتم‌های بعدی نیز روی آن انباشته می‌شوند [۲۱]. لذا می‌تواند یکی از دلایل افزایش درصد وزنی Si در پوشش‌ها و به دنبال آن افزایش میکروسختی پوشش‌ها، همین موضوع باشد. به طور کلی افزایش میکروسختی پوشش‌های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr تحت تاثیر دو پارامتر صورت گرفته است. اول زمینه فلزی؛ و دوم مقدار ذرات سخت وارد شده در زمینه نیکلی، که موجب افزایش میکروسختی گردید [۲۱ و ۲۶]. این عوامل منجر به تغییر در بافت پوشش و افزایش سختی آنها گردید. با توجه به الگوی پراش پرتو ایکس (شکل (۴))، به وضوح قابل مشاهده است، که میزان هم رسوبی ذرات SiC با افزایش غلظت نانو ذرات در محلول، از ۱۲gr/lit تا ۱۸ gr/lit افزایش نشان می‌دهد. با افزایش مقدار نانو ذرات SiC و Gr در حمام حضور فازهای ثانویه در پوشش و به دنبال آن، هم رسوبی ذرات، افزایش می‌یابد [۱۷ و ۲۱]. درحقیقت درصد وزنی توده‌های متشکل از نانو ذرات SiC و Gr در پوشش‌های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr، با افزایش غلظت نانو SiC در حمام واتس، افزایش یافت.

در شکل (۷) تصویر سطح مقطع پوشش‌های نانو کامپوزیتی به ترتیب با ۱۲gr/lit و ۱۸gr/lit نانو ذرات SiC، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار نانو ذرات SiC در حمام، ضخامت پوشش نیز افزایش نشان می‌دهد. دلیل این موضوع را می‌توان در افزایش مشارکت نانو ذرات و انباشتگی لایه‌های کامپوزیتی بر سطح کاتد جستجو نمود [۲۱ و ۲]. همینطور در شکل (۸) نمودار حاصل از آنالیز عنصری از دو پوشش نانو کامپوزیتی به ترتیب با ۱۲gr/lit و ۱۸gr/lit نانو ذرات SiC، نشان داده شده است. در شکل (الف) پیک گرافیت (C) نسبت به شکل (ب) قویتر است. همینطور پیک عنصر سیلیسیم (Si) در شکل (ب) نسبت به شکل (الف) قویتر می‌باشد، که بر گفته‌های قبلی و نتایج شکل (۳) صحنه می‌گذارد.



شکل (۷): تصویر FESEM از سطح مقطع پوشش‌های نانو کامپوزیتی: الف) ۱۲gr/lit پودر نانو SiC (N₂)، ب) ۱۸ gr/lit پودر نانو SiC (N₄)

با توجه به اینکه حمام واتس، حاوی نانو ذرات SiC و Gr می‌باشد، مکانهای کنج و لبه‌ای جدید، امکان جوانه زنی بیشتر و ریز دانه شدن پوشش را فراهم می‌کنند.

- [8] metals handbook, 7thEd, vol 4, American society for metal, pp 1208-1446, 1991.
- [9] A. M. Rashidi, A. AMADEH, "The effect of current density on the grain size", surface coating and technology, 234, pp 3772-3776, 2008.
- [10] A. Araghi, M.H. Paydar, "Electroless deposition of Ni-P-B4C composite coating on AZ91D magnesium alloy and investigation on its wear and corrosion resistance", Materials & Design, Volume 31, Issue 6, pp 3095-3099, 2010.
- [11] Y. Wu, H. Liu, B. Shen, L. Liu, W. Hu, " The friction and wear of electroless Ni-P matrix with PTFE and/or SiC particles composite", Tribology International, 39, PP 553-559, 2006.
- [12] T. lampke, etal, "details of crystalline growth in co- deposition electroplated nickle films with hard (nano) particles", applied surface science, 253, pp 2399-2408, 2007.
- [13] M. Lekka, N. Kouloumbi, M. Gajo, P. L. Bonora, "Corrosion and wear resistant electrodeposited composite coatings", Electrochimica Acta, Volume 50, Issue 23, pp 4551-4556, 2005.
- [14] L. Benea, P. L. Bonora, A. Borelloc, S. Martelli, "Wear corrosion properties of nano-structured SiC-nickel composite coatings obtained by electroplating", Wear, 249, pp 995-1003, 2002.
- [15] L. Orlovskaja, N. Periene, M. Kurtinaitiene, S. Surviliene, "Ni-SiC composite plated under a modulated current", Surface and Coatings Technology, 111, pp 234-239, 1998.
- [16] I. Garcia, J. Fransae J.-P. Celis, "Electrodeposition and sliding wear resistance of nickel composite coatings containing micron and submicron SiC particles", Surface and Coatings Technology, 148, pp 171-178, 2008.
- [17] L. Shi, C. Sun, P. Gao, F. Zhou, W. Liu, "Mechanical properties and wear and corrosion resistance of electrodeposited Ni-Co/SiC nanocomposite coating", Applied Surface Science, 252, pp 3591-3599, 2005.
- [18] M. Srivastava, V.K. William Grips, K.S. Rajam, "Electrochemical deposition and tribological behaviour of Ni and Ni-Co metal matrix composites with SiC nanoparticles", Journal of Alloys and Compounds, Volume 475, Issues 1-2, pp 664-671, 2009.
- [19] P. Gyftou, M. Stroumbouli, E.A. Pavlatou, P. Asimidis, N. Spyrellis, "Tribological study of Ni matrix composite coatings containing nano and micro SiC particles", Electrochimica Acta, 50, pp 4544-4550, 2005.
- [20] Y. T. Wu, L. Lei, B. Shen, W. B. Hu, " Investigation in electroless Ni-P-Cg(graphite)-SiC composite coating", Surface & Coatings Technology, 201, PP 441-445, 2006.
- [21] Y. Wu, B. Shen, L. Liu, W. Hu, " The tribological behaviour of electroless Ni-P-Gr-SiC composite", Wear, 261, 201-207, 2006.

۴- نتیجه گیری

- ۱- پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr ایجاد گردیدند.
- ۲- با افزایش مقدار نانو ذرات SiC در حمام واتس با توجه به مشارکت بیشتر ذرات در پوشش دهی، مشاهده گردید، درصد وزنی Si و متعاقب آن سختی پوشش های نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr به طور پیوسته افزایش یافته و در مقدار نانو ذرات SiC (۲۵gr/lit) به بیشینه مقدار خود رسید.
- ۳- مقدار ۲۵ gr/lit نانو ذرات SiC میزان بهینه جهت اعمال پوشش نانو کامپوزیتی Ni-SiC-Gr بود.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان از توجه و راهنمایی جناب آقای دکتر مناجاتی زاده، قدردانی و تشکر می نمایند.

۶- مراجع

- [۱] شکوه فر.ع، مومنی. ک، مقدمه ای بر نانو تکنولوژی، مرکز فرهنگی نشر گستر، ۱۳۸۴.
- [۲] بشارت. ا، مهندسی آبکاری فلزات، انتشارات طراح، ۱۳۸۲.
- [۳] قربانی. م، پوشش دادن فلزات، جلد اول، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۶.
- [۴] خواجه نصیری. ا، مجد نیا. م، آبکاری فلزات، انتشارات زیان تصویر، ۱۳۸۴.
- [5] M. okamoto, F. hussain, R.e. gorja, "Polymer – Matrix nanocomposites", jurnal of composite materials, Vol 40, no 17, pp 1511-1519, 2006.
- [6] T. akiskarlos, "mechanics of deformation of carbon nanotub – polymer nano composites", Massachusetts institute of technology, mechanical Engineering, DEPT, pp 25-28, 2005.
- [7] H.Y. Zheng, M. Zhong, "Electrodeposition of Zn-Ni-Al2O3 nanocomposite coatings under ultrasound conditions", Journal of Alloys and Compounds, vol 459, pp 548-552, 2008.