

## بررسی تاثیر افزودن فعال کننده سطحی به حمام الکترولس نیکل - فسفر بر

### پوشش پذیری الیاف کوتاه کربن

مهدی باغی، رحمت الله عمادی، بهزاد نیرومند، مریم کرباسی و فضل الله صادقی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۳/۰۶/۲۷ - پذیرش مقاله: ۹۳/۰۹/۱۶)

#### چکیده

الیاف کربن پایه پلی اکریلو نیتریل (PAN) به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد به عنوان یک تقویت کننده مهم در ساخت کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی مورد استفاده هستند. در این تحقیق به منظور کاهش محدودیت‌های الیاف کربن در ساخت کامپوزیت‌های زمینه آلومینیم، نظیر ترشوندگی ضعیف و واکنش‌های فصل مشترکی، برای اولین بار تاثیر اضافه نمودن پلی وینیل الکل (PVA)، به عنوان یک ماده فعال کننده سطحی ارزان قیمت، به حمام اسیدی الکترولس نیکل-فسفر، بر پوشش پذیری الیاف کربن پایه PAN مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان داد که با اضافه نمودن فعال کننده PVA به حمام الکترولس، رسوب ذرات ریز نیکل-فسفر روی الیاف کربن افزایش یافته و یکنواخت تر شد. یکنواختی لایه پوشش داده شده، بطور قابل توجهی با افزودن غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر PVA به حمام بهبود یافت. طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) نشان می دهد که مقدار فسفر در رسوب نیکل-فسفر هنگامی که غلظت PVA در حمام ۰/۵ گرم بر لیتر باشد، حدود ۵ درصد وزنی است.

واژه‌های کلیدی: الیاف کربن، پوشش الکترولس نیکل-فسفر، فعال کننده سطح، پلی وینیل الکل (PVA).

## Study of the Effect of Surfactant Addition to Ni-P Electroless Bath on Coatability of Carbon Short Fibers

M. Baghi, R. Emadi, B. Niroumand, M. Karbasi and F. Sadeghi

Materials Engineering Department, Isfahan University of Technology

(Received 18 September 2014, accepted 7 December 2014)

#### Abstract

Ex-PAN carbon fibers are considered as vital reinforcements in production of aluminum based cast composites due to their unique characteristics. In the present study, the effect of polyvinyl alcohol (PVA) addition, as a low cost alternative surfactant, to an acidic Ni-P electroless bath on the coatability of ex-PAN carbon fibers was investigated. Scanning electron microscopy (SEM) results showed that with PVA addition, deposition rate of fine Ni-P particles on the carbon fibers and its uniformity improved. The surface finish of the coated layer significantly improved when the PVA concentration reached 0.5g/lit. The energy dispersive X-ray analysis (EDX) confirmed that the phosphorous content of the Ni-P deposit was about 5% at PVA addition of 0.5g/lit.

**Key words:** Carbon fibers, Electroless Ni-P coating, Surfactant, polyvinyl alcohol (PVA).

**E-mail of corresponding author:** m.baghi@ma.iut.ac.ir

## مقدمه

کامپوزیت‌های زمینه آلومینیم تقویت‌شده با الیاف کربن به دلیل استحکام، مدول یانگ و سفتی بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین و هدایت حرارتی و الکتریکی بالا مورد توجه بسیار هستند [۱]. برخلاف این فواید بسیار خوب، مشکلات تولید باعث محدود شدن کاربرد صنعتی کامپوزیت زمینه آلومینیم تقویت‌شده با الیاف کربن شده است. ترشوندگی الیاف کربن توسط مذاب آلومینیم در دماهای معمول ریخته‌گری آن، بسیار محدود است [۲]. از طرفی، در دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد الیاف کربن در تماس با آلومینیم تمایل به ترکیب با آن و تشکیل ترکیب  $Al_4C_3$  دارند [۳و۴]. این واکنش باعث افت خواص مکانیکی مورد انتظار از کامپوزیت می‌شود.

پوشش‌دهی الیاف کربن توسط ماده‌ای که نسبت به هر دوی فلز زمینه و الیاف کربن خنثی باشد، بهترین راه غلبه بر مشکلات ذکر شده است. دو نوع پوشش برای الیاف کربن پیشنهاد شده که شامل پوشش‌های فلزی و سرامیکی است [۶و۷]. از بین این دو نوع پوشش، چسبندگی پوشش‌های فلزی به الیاف کربن قوی‌تر بوده و به راحتی خرد یا ورقه‌ای نمی‌شود.

در تحقیقات مختلف، از میان پوشش‌های فلزی، پوشش نیکل - فسفر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. نیکل با استفاده از روش‌های مختلف همچون آبکاری الکتریکی و غیرالکتریکی (الکترولس) روی الیاف کربن پوشش‌دهی می‌شود [۸-۱۰]. از فواید بارز فرآیند الکترولس می‌توان به تشکیل لایه رسوبی یکنواخت روی سطوح ناهموار، رسوب مستقیم روی سطوح نارسا و تشکیل لایه‌ای با تخلخل کم و مقاوم در برابر خوردگی نام برد [۱۱-۱۲]. درضمن، کنترل ضخامت لایه رسوب‌یافته روی سطح الیاف راحت‌تر بوده و احتمال آسیب مکانیکی الیاف در حین پوشش‌دهی کم است [۱۱و۱۳]. استفاده از هیپو-فسفیت به‌عنوان عامل احیاکننده یون‌های نیکل، باعث تولید

آلیاژ دوتایی نیکل - فسفر در پوشش می‌شود [۱۴]. اکثر خواص پوشش به ساختار وابسته بوده و خواص ساختاری نیز به درصد فسفر پوشش بستگی دارد. در اکثر تحقیقات، درصد وزنی فسفر بین ۳ تا ۱۴ درصد است. در مقدار کم فسفر بین ۳-۷ درصد، ساختار میکرو کریستالی و از ۷-۱۴ درصد، ساختار آمورف است [۱۵و۱۶]. هرچند در بعضی تحقیقات گزارش شده که در مقادیر فسفر بالا، ساختار می‌تواند مخلوطی از فاز کریستالی و آمورف باشد [۱۷].

بطور کلی فرآیند پوشش‌دهی الکترولس الیاف کربن شامل سه مرحله جداگانه حساس‌سازی، فعال‌سازی و آبکاری است. حساس‌سازها و فعال‌سازهای معمول به ترتیب شامل ترکیبات قلع و پالادیم هستند. پالادیم یک عنصر گران قیمت بوده و فعال‌سازی با آن، صرفه اقتصادی نخواهد داشت. از دیگر نقاط ضعف این فرآیند، تعدد مراحل و زمان‌بر بودن آن است. بنابراین تلاش‌های بسیاری برای یافتن مواد جایگزین انجام گرفته است.

فعال‌کننده‌های سطحی، عواملی هستند که کشش سطحی بین مایع - جامد - مایع را کاهش داده و باعث می‌شود که مایعات راحت‌تر روی سطوح مختلف پخش شوند. حضور فعال‌کننده در یک حمام الکترولس نیکل - فسفر، واکنش رسوب‌دهی پوشش بین ترکیب حمام و سطح زیرلایه درون حمام الکترولس را تسهیل می‌کند [۲۰].

الانژیان و همکاران [۲۱] تاثیر افزودن دو فعال‌کننده به نام‌های سدیم دودسیل سولفات (SDS) و ستیل تریمتیل - آمونیوم بروماید (CTAB) به حمام الکترولس را، بر روی زبری و ساختار پوشش الکترولس نیکل - فسفر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده نمودند که افزودن فعال‌کننده به حمام موجب تشکیل پوششی یکنواخت و صاف می‌شود. در مطالعات دیگر تاثیر افزودن فعال‌کننده‌هایی مانند دودسیل تری متیل آمونیوم بروماید (DTAB) و هگزا دودسیل تری متیل آمونیوم بروماید (HTAB) به حمام بر پوشش‌های کامپوزیتی الکترولس

توسط آب مقطر شسته شده و برای یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه خشک شدند. در ادامه برای بهبود چسبندگی سطحی پوشش نیکل به زیر لایه، الیاف به مدت ۴ ساعت در اسید نیتریک قرار داده شد و سپس بطور کامل با آب مقطر شسته و خشک شدند. در پایان الیاف پیوسته در اندازه های ۳-۵ میلی متری بریده شدند.

### پوشش‌دهی الکترولس

پوشش‌دهی الکترولس نیکل-فسفر روی الیاف کربن در یک حمام اسیدی تجاری (Slotonip 70A) ساخت شرکت اشلوتر آلمان که در آن سولفات نیکل به‌عنوان منبع نیکل و سدیم هیپوفسفات به‌عنوان عامل احیایی یون نیکل است، انجام پذیرفت. ترکیب حمام الکترولس و شرایط پوشش‌دهی در جدول ۲ آورده شده است. مقدار pH حمام با افزودن محلول آمونیاک و اسید سولفوریک تنظیم شد. فعال‌کننده PVA قبل از شروع فرآیند آبکاری به حمام افزوده شد.

جدول ۲. ترکیب حمام الکترولس و شرایط پوشش‌دهی الکترولس.

مقدار	ماده
۱۶۶	(g/lit)، شروع کننده (Slotonip 71-1)
۷۰	(g/lit)، محلول نیکل (Slotonip 72)
۷	(ml/lit)، پایدار کننده (Slotonip 76)
مقدار	شرایط حمام آبکاری
۴-۶	pH
۸۵	دمای حمام (°C)
۴۵	زمان رسوب دهی (min)
۲۰۰	سرعت همزن (rpm)
۲	مقدار الیاف در حمام (g/lit)
۰/۱-۰/۵	PVA (g/lit) غلظت

نیکل-فسفر-نانولوله‌های کربنی (CNT) بر زیر لایه فولادی [۲۲] و نیکل-فسفر-نانو ذرات  $ZrO_2$  بر زیر لایه فولادی [۲۳] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات حاکی از هم رسوبی بهتر و توزیع مناسب‌تر  $ZrO_2$  و CNT در پوشش‌های کامپوزیتی مزبور در حضور ماده فعال‌کننده در حمام است. با این وجود هیچ اطلاعاتی در مورد تاثیر استفاده از فعال‌کننده به منظور پوشش‌دهی الیاف کربن وجود ندارد.

در این تحقیق، تاثیر افزودن فعال‌کننده به حمام الکترولس و تاثیر pH حمام الکترولس حاوی PVA بر روی پوشش نیکل-فسفر الیاف کوتاه کربن مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و تجهیزات

الیاف کربن استفاده شده در این تحقیق از نوع تجاری پایه PAN (با نام تجاری T300 و ساخت شرکت تورایکا ژاپن) هستند. بعضی از خواص الیاف T300 در جدول ۱ آمده است.

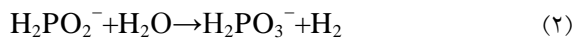
جدول ۱. خواص الیاف کربن T300.

قطر ( $\mu m$ )	۷
استحکام کششی (MPa)	۳۵۳۰
مدول کششی (GPa)	۲۳۰
تعداد الیاف در هر دسته	۶۰۰۰
ازیاد طول (%)	۱/۵
دانسیته ( $g/cm^3$ )	۱/۷

### عملیات اولیه سطحی روی الیاف

قبل از پوشش‌دهی الیاف، پوشش سایز که در آخرین مرحله از فرآیند تولید الیاف کربن بر روی‌شان اعمال می‌شود از طریق حرارت دادن آنها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه حذف شد. سپس الیاف

پوشش نیکل-فسفر را بهبود می‌بخشد. مشاهدات این تحقیق در مورد تاثیر افزودن فعال‌کننده PVA به حمام بر روی پوشش الیاف کربن با تحقیقات این محققین همسان است. حین فرآیند الکترولس نیکل-فسفر، ذرات تشکیل شده در حمام تمایل کمی به چسبیدن روی سطح الیاف دارند. این امر به دلیل ترشوندگی کم الیاف کربن و محلول آبکاری است. با افزودن PVA به مقدار مورد نیاز به حمام، زاویه ترشوندگی بین الیاف و محلول الکترولس کاهش و ذرات نیکل-فسفر راحت‌تر روی سطح الیاف رسوب می‌کنند. گفته شده که انتقال اتم‌های فعال‌کننده سطحی از فاز مایع به لایه سطحی در فصل مشترک (گاز-مایع و یا جامد-مایع) نیازمند یک غلظت بهینه از این اتم‌ها در فاز مایع است [۲۶]. مقدار این غلظت بهینه به ویژگی‌های سطحی و ترکیب شیمیایی فعال‌کننده بستگی دارد [۲۷]. در حمام الکترولس اسیدی با احیاکننده هیپوفسفیته، واکنش‌های احیای یون‌های نیکل بصورت زیر رخ می‌دهد [۲۸]:



مشاهدات تجربی نشان داد که در عدم حضور فعال‌کننده سطحی در حمام، حمام پس از گذشت حدود ۳۰ دقیقه ناپایدار می‌شود و واکنش شیمیایی به جای اینکه به صورت اتوکاتالیتیک روی سطح الیاف انجام شود در کل حمام آبکاری رخ می‌دهد. طبق واکنش ۲ با افزایش رسوب نیکل، هیدروژن بیشتری در محلول آزاد می‌شود. با توجه به اینکه در غلظت‌های پایین فعال‌کننده احیا یون نیکل در کل حجم حمام انجام می‌شود، حباب‌های هیدروژن زیادی که به دلیل وسعت زیاد محل واکنش به وجود می‌آیند که به سمت سطح حمام حرکت می‌کنند. در اثر این اتفاق برخی از ذرات ریز نیکل در حمام شناور می‌شوند. با گذشت زمان و به دلیل اتوکاتالیتیک بودن فرآیند، اندازه ذرات نیکل شناور، بزرگتر شده و در کف حمام رسوب.

به منظور یکنواختی دمای حمام و جلوگیری از آگلومره شدن الیاف، حمام توسط یک همزن مغناطیسی با سرعت  $200 \text{ rpm}$  بهم زده شد. در پایان هر آزمایش، الیاف پوشش داده شده توسط کاغذ صافی جمع‌آوری سپس با آب مقطر شسته و در  $100^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

### مشخصه‌یابی و آزمون‌ها

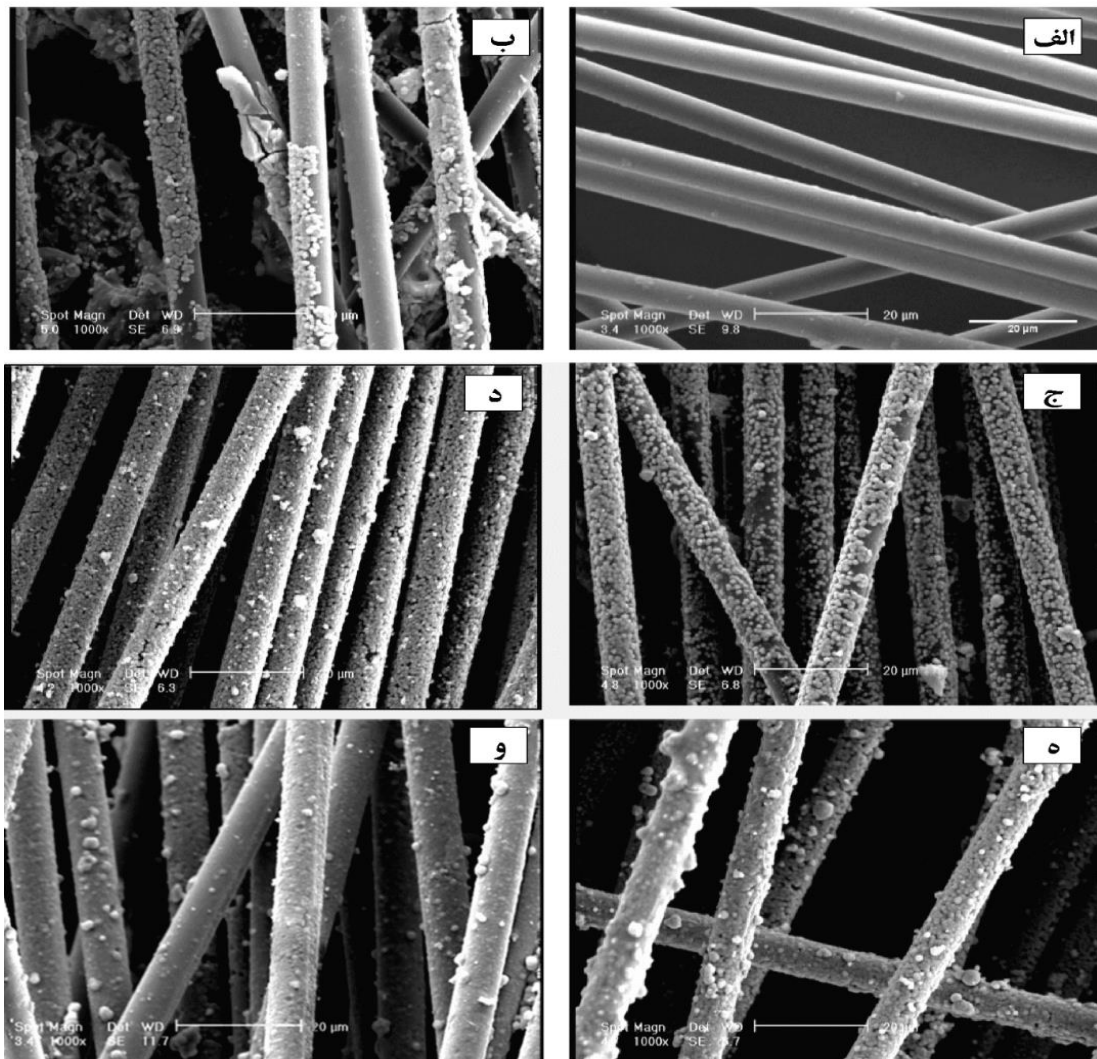
اثر غلظت PVA در حمام الکترولس بر روی مورفولوژی سطح، ریزساختار و یکنواختی پوشش نیکل-فسفر مورد ارزیابی قرار گرفت. مورفولوژی پوشش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Philips XL Series XL30 مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز ساختاری پوشش توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) مدل Philips X'Pert PW 3719 انجام گرفت و توسط نرم افزار PANalytical مشخصه‌یابی شد. همچنین آنالیز شیمیایی نیکل-فسفر و درصد کربن پوشش با استفاده از آنالیز EDS صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### بررسی مورفولوژی پوشش

تصاویر پوشش الکترولس نیکل-فسفر با غلظت‌های متفاوت PVA در شکل ۱ مشاهده می‌شود. همانطور که دیده می‌شود که با افزایش درصد PVA در حمام، مقدار رسوب نیکل-فسفر روی الیاف کربن افزایش یافت. در غلظت کم PVA، پوشش ناپیوسته و غیریکنواخت است. با افزایش غلظت PVA به حمام، مقدار رسوب نیکل-فسفر روی سطح الیاف افزایش می‌یابد و در بیشترین غلظت PVA، یک پوشش یکنواخت روی الیاف تشکیل می‌شود.

چن و همکاران [۲۴] مشاهده کردند که افزودن فعال‌کننده SDS به حمام الکترولس، باعث بهبود کیفیت پوشش نیکل-فسفر، می‌شود. همچنین یانگ و همکاران [۲۵] مشاهده کردند که افزودن SDS مورفولوژی و زبری سطح



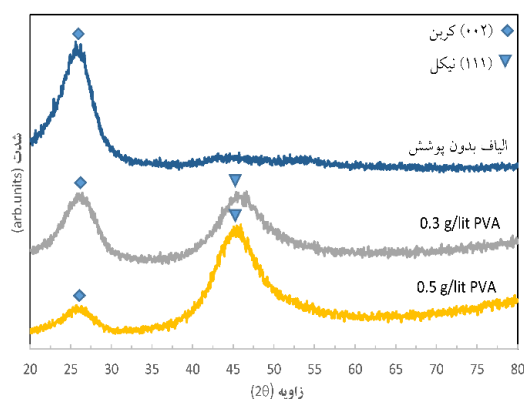
شکل ۱. تصویر SEM از الیاف کربن (الف) بدون پوشش و با پوشش الکترولس Ni-P در حمام حاوی PVA (ب) ۰،۰ (ج) ۰،۰۲ (د) ۰،۰۳ (ه) ۰،۰۴ (و) ۰،۰۵ g/lit.

روی سطح الیاف رسوب می کنند در نهایت هنگامی که غلظت PVA به ۰/۵ g/lit می رسد بخش عمده ای از واکنش احیای یون های نیکل روی سطح انجام می شود و پوششی یکنواخت و بدون تخلخل به دست آمد (شکل ۱- و). این اتفاق به خاطر این واقعیت است که حضور فعال کننده در حمام باعث ترشوندگی بهتر الیاف کربن توسط محلول الکترولیت می شود و در نتیجه رسوبات راحت تر روی زیر لایه نشست می کنند در واقع افزودن فعال کننده، باعث می شود که ذرات درجایی دیگر غیر از سطح زیر لایه رسوب نکنند.

می کنند. به نظر می رسد در اثر تلاطم ایجاد شده ناشی از آزاد شدن حباب های هیدروژن برخی از ذرات نیکل شناور، به صورت اتفاقی روی بعضی از نقاط سطح الیاف قرار گیرند و به صورت جوانه روی سطح عمل کنند که با ادامه روند فرآیند، رسوب بیشتری به آنها ملحق می شود [۲۹]. همانطور که در شکل ۱- (ب) دیده می شود پوشش به صورت کاملاً غیر یکنواخت است و حتی برخی از الیاف پوشش نگرفته اند. با افزودن فعال کننده PVA از میزان انجام واکنش در کل حجم حمام کاسته شده و ذرات بیشتر

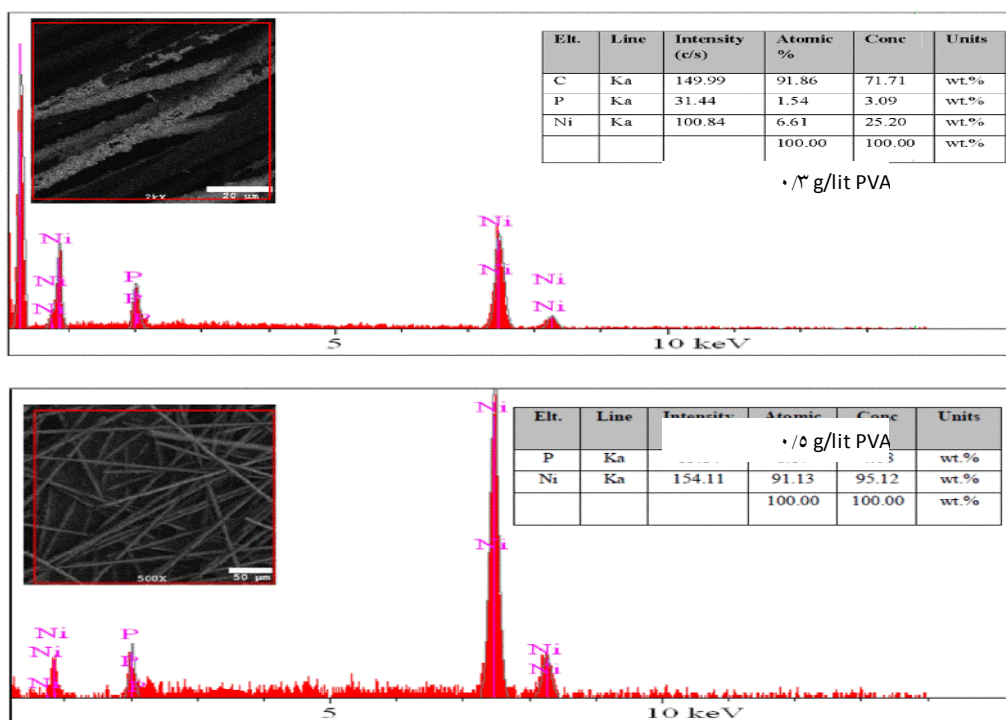
## آنالیز XRD پوشش

الگوی پراش پرتو ایکس الیاف کربن بدون پوشش و پوشش داده شده با نیکل-فسفر در حمام حاوی ۰/۳ و ۰/۵ گرم بر لیتر PVA در شکل ۲ نشان داده شده است. پیک پهن مشاهده شده در زاویه ۲θ حدود ۲۶ درجه مربوط به صفحه (۰۰۲) کربن با ساختاری آمورف است. به دلیل ضخامت نسبتاً کم پوشش، پیک مشخصه کربن زیرلایه نیز



شکل ۲. الگوی پراش XRD الیاف بدون پوشش و پوشش داده شده در حمام حاوی ۰/۳ و ۰/۵ g/lit PVA

در الگوی پراش پرتو اشعه ایکس الیاف پوشش داده شده مشاهده می‌شود. پیک موجود در زاویه ۲θ حدود ۴۴/۵ درجه مربوط به صفحه (۱۱۱) نیکل است. مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت PVA در حمام از ۰/۳ g/lit به ۰/۵ g/lit شدت پیک کربن کاسته و شدت پیک نیکل افزایش می‌یابد. شکل ۳ آنالیز EDS پوشش نیکل-فسفر الیاف کربن به دست آمده از حمام حاوی PVA ۰/۳ و ۰/۵ را نشان می‌دهد. هم‌طور که مشاهده می‌شود پیک کربن در آنالیز EDS پوشش به دست آمده از حمام حاوی PVA ۰/۵ دیده نمی‌شود که این امر نشان‌دهنده پوشش گرفتن کامل الیاف در این حالت است. طبق آنالیز EDS الیاف پوشش به دست آمده از حمام حاوی PVA ۰/۵ آلیاژی از نیکل و فسفر است که مقدار فسفر حدود ۵ درصد وزنی است. گراهام [۳۰] براساس مطالعات XRD و TEM نشان دادند که پوشش‌هایی با ۵ درصد وزنی فسفر بطور طبیعی کریستالی هستند.



شکل ۳. آنالیز EDS الیاف کربن پوشش داده شده در حمام حاوی PVA ۰/۳ و ۰/۵.

- fibers/Al composites with different coatings*, Applied Surface Science, 255(2009)4393–4400.
7. F. Kern, R. Gadow, *Liquid Phase Coating Process for Protective Ceramic Layers on Carbon Fibers*, Surface and Coatings Technology, 151–152(2002)418–423.
  8. Z. Hua, Y. Liu, G. Yao, L. Wang, J. Ma, L. Liang, *Preparation and Characterization of Nickel-Coated Carbon Fibers by Electroplating*, Journal of Materials Engineering and Performance, 21(2012)324–330.
  9. J. Rams, A. Uren, M. D. Escalera, M. Sanchez, *Electroless nickel coated short carbon fibres in aluminium matrix composites*, Composites: Part A 38(2007)566–575.
  10. N. Gupta, N. Q. Nguyen, P. K. Rohatgi, *Analysis of active cooling through nickel coated carbon fibers in the solidification processing of aluminum matrix composites*, Composites: Part B, 42(2011) 916–925.
  11. S. Abraham, B. C. Pai, K. G. Satyanarayana, V.L. Vaidyan, *Studies on nickel coated carbon fibres and their composites*, Journal of Materials Science, 25(1990)2839–45.
  12. B. C. Pai, A. G. Kulkarni, T. A. Bhasker, N. Balasubramanian, *Coating structure of metal-coated carbon fibers*, Journal of Materials Science, 15(1980)1860–3.
  13. R. Wolf, *Electroless Plating*, ASM International, Ohio(1991)287.
  14. W. Riedel, *Electroless nickel: introduction, fundamentals, limitations*, Galvanotechnik 81(1990)842–844.
  15. G. W. Marshall, D. B. Lewis, B. E. Dodds, *Electroless deposition of Ni-P alloys with and without the use of superimposed pulsed current*, Surface and Coatings Technology, 53(1992)223–230.
  16. Q. X. Mai, R. D. Daniels, H. B. Harpalani, *Structural changes induced by heating in electroless nickel-phosphorus alloys*, Thin Solid Films, 166(1988)235–247.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تجربی بدست آمده و تجزیه و تحلیل در این پژوهش، نتایج زیر نشان می‌دهد که امکان بهبود قابل ملاحظه پوشش رسوب داده شده روی سطح الیاف کربن وجود دارد:

- ۱- نشان داده شد که افزودن PVA به حمام الکترولس می‌تواند باعث ترغیب الیاف کربن به پوشش گرفتن الکترولس نیکل-فسفر شود.
- ۲- با افزودن به حمام الکترولس PVA، ذرات نیکل ریز بصورت یکنواخت‌تری روی الیاف کربن رسوب می‌کنند.
- ۳- با افزودن ۰/۵ گرم در لیتر PVA به حمام کیفیت سطحی لایه پوشش بطور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافت.

### مراجع

1. E. Fitzer, L. M. Manoch, *Carbon Reinforcements and Carbon-Carbon Composite*, Springer, 1998.
2. K. Landry, S. Kalogeropoulou, E. Eustathopoulos, *Wettability of carbon by aluminum and aluminum alloys*, Materials Science and Engineering: A, 254(1998)99–111.
3. A. A Baker, C. Shipman, P.W. Jackson, *Short-term compatibility of carbon fibers with aluminium*, Fibre Science and Technology, 5(1972)213–218.
4. S. J. Baker, W. Bonfield, *Fracture of aluminium-coated carbon fibers*, Journal of Materials Science 13(1978)1329–1334.
5. B. C. Pai, R. M. Pillai, K. G. Satyanarayan, K. Sukumaran, U.T.S. Pillai, S.G.K. Pillai, K.K. Ravilumar, *Discontinuously reinforced aluminium alloy matrix composites*, Metals Materials and Processes. 13(2001)255–278.
6. Y. Tang, L. Liu, W. Li, B. Shen, W. Hu, *Interface characteristics and mechanical properties of short carbon*

- 2(1967) Marcel Dekker Inc., New York.
27. G. Nilsson, *The adsorption of tritiated sodium dodecyl sulfate at the solution surface measured with a windowless, high humidity gas flow proportional counter*, Journal of Physical Chemistry, 61(1957)135–136.
  28. W. Riedel, *Electroless Nickel Plating*, pp.1-5, Cambridge Scientific Abstracts, Ohio (1991).
  29. R. Elansezhiana, B. Ramamoorthy, P. Kesavan Nair, *The influence of SDS and CTAB surfactants on the surface morphology and surface topography of electroless Ni–P deposits* journal of materials processing technology, 209(2009)233–240.
  30. A. H. Graham, *The structure and mechanical properties of electroless nickel*, Journal of the Electrochemical Society, 112(4)(1965)401–412.
  17. R. C. Agarwala, S. Ray, *Crystallisation Behaviour of Ni-P Electroless Deposits: Part I Magnetic moment study*, Z. Metallkunde 83(1992)199-202.
  18. Y. Fan, H. Yang, H. Zhu, X. Liu, M. Li, Y. Qu, N. Yang, G. Zou, *Metallization of Carbon Fibers with Nickel by Electroless Plating Technique*, Metallurgical and Materials Transactions A, 38, 2007, 2148-52.
  19. S. S. Tzeng, *Catalytic graphitization of electroless Ni–P coated PAN-based carbon fibers*, Carbon, 44(2006)1986–1993.
  20. P. Sahoo, S. k. Das, *Tribology of electroless nickel coatings—A review*, Materials and Design, 32(2011)1760–1775.
  21. R. Elansezhian, Ramamoorthy B, Kesavan Nair P. *Effect of surfactants on the mechanical properties of electroless (Ni–P) coating*. Surf Coat Technol 203(2008)709-12.
  22. A. Zarebidaki, S. R. Allahkaram, *Effect of surfactant on the fabrication and characterization of Ni-P-CNT composite coatings*, Journal of Alloys and Compounds 509(2011)1836–1840.
  23. K. Zielinska, A. Stankiewicz, I. Szczygieł, *Electroless deposition of Ni–P–nano-ZrO<sub>2</sub> composite coatings in the presence of various types of surfactants*, Journal of Colloid and Interface Science, 377(2012)362–367.
  24. Y. Y. Chen, J. G. Duh, B. S. Chiou, *The effect of substrate surface roughness on the wettability of Sn-Bi solders*, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 11(2000)279–280.
  25. B. L. Young, J. D. Duh, B. S. Chiou, *Wettability of electroless Ni in the under bump metallurgy with lead free solder*, Journal of Electronic Materials, 30(2001)543–544.
  26. E. Hutchinson, K. Shinoda, *Solvent Properties of Surfactant Solutions*,