پوشش دهی الکترولس نیکل نانوالیاف کربنی الکتروریسی شده

منصور کیانپور راد، علی محمد بازرگان، ساسان قشقایی و مجتبی نقوی پژوهشکاره مواد نو، پژوهشگاه مواد و انرژی – کرج (دریافت مقاله : ۸۹/۵/۳۰ – یذیرش مقاله : ۹۰/۲/۹)

چکیدہ

در پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت پوشش نیکل در ارتقاء خواص سطحی الیاف کربنی، پوشش دهی نانوالیاف کربنی الکتروریسی شده در حمام تجاری الکترولس نیکل مورد بررسی قرار گرفت. بررسی های میکروسکوپی و هم چنین نتایج بدست آمده از آزمون تفرق اشعه X نشان می دهد که به دنبال ۲۰ دقیقه قرار گرفتن الیاف در حمام الکترولس در pH حدود ۹، پوششی یکپارچه از فلز نیکل با ضخامت تقریبی ۱۸۴ nm بر روی آنها تشکیل می گردد. هم چنین، در این تحقیق در فرآیند سنتز الیاف کربنی از نیکل به عنوان کاتالیست برای گرافیته شدن الیاف استفاده شد. مشخصه یابی الیاف کربنی الکتروریسی شده در حضور کاتالیست نیکل حضور نانوذرات نیکل بر سطح الیاف و نیز انجام واکنش گرافیته شدن در اثر عملیات حرارتی در ۱۴۰۰°۲ را تأیید می کند.

واژه های کلیدی: نیکل، پوشش دهی الکترولس، نانوالیاف کرینی، الکتروریسی.

Electroless nickel plating of electrospun carbon nanofibers

M. Keyanpour-rad, A. M. Bazargan, S. Ghashghaie and M. Naghavi

Department of New Materials, Material and Energy Research Center, Karaj, Iran

Abstract

In the present study, due to the importance of nickel plating in the improvement of carbon nanofiber surface properties, the electroless nickel plating of electrospun carbon nanofibers was carried out using a commercial electroless bath. The electrospun carbon nanofibers were submerged into the electroless nickel bath and held for 20 minutes at 45 °C and a pH value of 9. Results obtained from scanning electron microscopy observations and X ray diffraction analysis indicated that a uniform nickel coating of about 184 nm thickness was formed on the whole surface of carbon nanofibers. The fiber fabrication process was performed in the presence of nickel as a graphitization catalyst. Raman spectroscopy and X-ray diffraction studies confirmed the presence of nickel nanoparticles on the surface of fibers and the accomplishment of graphitization at 1400 °C.

Keywords: Nickel, Electroless plating, Carbon nanofibers, Electrospinning.

E-mail of corresponding author: ambazargan@gmail.com

مقدمه

تقویت کننده های کربنی، نقش مهمی را در ارتباط با ارتقای خواص طيف وسيعى از مواد مهندسي ساختاري شامل مواد یلیمری، فلزات و سرامیک ها ایفا می کنند که در این راستا، نقش نانوالیاف کربنی به عنوان یک نانوساختار کربنی با ویژگی های ابعادی متمایز و خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی منحصر به فرد در بهبود خواص مواد مهندسی یاد شده از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در حالت کلی، قطر نانوالیاف کربنی در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر است که این مقدار برای نانولوله های کربنی به زیر ۱۰۰ نانومتر می رسد. از جمله روش های رایج در تولید نانوالیاف کربنی می توان به رسوب شیمیایی از فاز بخار (CVD) و الكتروريسي (Electrospinning) اشاره كرد. در الکتروریسی، جتی از پیش ماده پلیمری مورد نظر پس از خروج از سرنگ حاوی آن تحت میدان الکتریکی به سمت صفحه کلکتور شتاب می گیرد. برای ایجاد جت، شدت میدان الکتریکی باید به گونه ای باشد که بر کشش سطحی پلیمر غلبه کند. به دنبال کلسینه کردن الیاف پلیمری بدست آمده در دمای مناسب، نانوالیاف با کیفیت مطلوب به دست می آید [1]. نانوالیاف کربنی و کامیوزیت های ساخته شده از آن دارای کاربردهای متعددی در صنعت هوا-فضا، باطری های لیتیومی و نیز سپرهای حرارتی فضاپیماها می باشند.

در میان مواد کامپوزیتی، کامپوزیت های زمینه فلزی از خواص مکانیکی- حرارتی منحصر به فردی هم چون سفتی ویژه بالا، استحکام بالا، مقاومت زیاد در برابر خزش و مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون بالا برخوردار می باشند. باید توجه داشت که کامپوزیت های زمینه پلیمری و گاهی سرامیکی فاقد خصوصیات مذکور می باشند. در این ارتباط، کامپوزیت های متشکل از یک زمینه فلزی تقویت شده با الیاف کربنی بواسطه استحکام و مدول ویژه بالا، هدایت گرمایی و الکتریکی قابل ملاحظه، ضریب انبساط حرارتی پایین و نیز خاصیت خود روان سازی بالایشان به طور گسترده ای مورد استفاده و مطالعه بوده اند [۲-۴]. بزرگ *تر*ین چالش بر سر راه اعمال الیاف کربنی در زمینه فلزی *SUD.ir*

ترشوندگی ضعیف الیاف توسط فلز مربوطه و نیز واکنش احتمالی بین کربن و زمینه است که گاهی منجر به تشکیل فازهای ترد و مخرب می گردد. هم چنین، ویژگی های سطحی الیاف کربنی توانایی برآورده ساختن برخی خواص ویژه همچون واکنشهایفوتوکاتالیستی و ابزارهای فوتوولتایی را دارا نیست. بنابراین با توجه به مشکلات بر شمرده شده در رابطه با اعمال الیاف کربنی در زمینه های فلزی، توجه بیشتر به اصلاح سطحی نانوالیاف ضروری به نظر می رسد.

به طور کلی، چالش های اصلی در ارتباط با ساخت نانوكامپوزيت هاى زمينه آلومينيومى تقويت شده با الياف كربني عبارتند از: الف- نفوذ كربن در فصل مشترك فلز-كربن و تشکیل فاز ترد Al₄C₃ که ایجاد تنش و در نتیجه افت استحکام مکانیکی کامپوزیت حاصل را به دنبال خواهد داشت و ب– ترشوندگی کم الیاف کربنی توسط زمینه آلومینیومی که ناشی از دافعه بین ابر الکترونی گرافیت موجود در الیاف و تک لایه آنیون های اکسیژن بر روی سطح آلومینیوم می باشد. از جمله روش های اصلاح سطحی الیاف کربنی جهت برطرف ساختن مشکلات مذکور اعمال پوشش مناسب بر روى سطح الياف به منظور بهبود كيفيت فصل مشترك الياف و زمینه فلزی می باشد. از میان پوشش های رایج در این ارتباط می توان به پوشش آلومینا، مس و نیکل اشاره کرد که به با روش هایی هم چون سل-ژل (Improvement of interface)، آبکاری و پوشش دهی الکترولس [۵] بر سطح اعمال می گردند. در پوشش دهی به روش الکترولس، احیای یون های فلزی موجود در حمام به کمک یک عامل احیا کننده در شرایط مناسب از لحاظ دما و pH منجر به تشکیل رسوب فلزی بر روی سطح می گردد.

با توجه به اینکه پوشش دهی الیاف کربنی در حمام های الکترولس عموماً به میکروالیاف کربنی محدود بوده است، گزارشات معدودی در ارتباط با نانوالیاف کربنی در دست است. آرای (Arai) و همکارانش نانوالیاف کربنی رشد داده شده از فاز بخار را در حمام الکترولس نیکل در pH حدود ۹ و دمای C^o ۵^m با فلز نیکل پوشش دادند. در تحقیق حاضر، برای بار نخست، پوشش دهی نانوالیاف کربنی تولید شده به

روش الکتروریسی در یک حمام تجاری الکترولس نیکل مورد بررسی قرار گرفت.

فعالیت های تجربی به طور کلی روش های آزمایشگاهی به کار گرفته شده در این پژوهش را می توان به ۴ بخشِ زیر تقسیم بندی کرد:

تهيه نانوالياف كربني

با انحلال ۲/۴ گرم پلی اکریلونیتریل (PAN) با وزن مولکولی متوسط g/mol ۲۰۰۰ خریداری شده از شرکت پلی اکریل اصفهان در ۱۷/۶ گرم DMF که به عنوان حلال از شرکت Merck تهیه گردیده است، یک محلول پلیمری کاملاً یکنواخت تحت همزدن مغناطیسی به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق تهیه گردید. پس از تهیه محلول پلیمری، ۲۸/۰ گرم استیل استنات نیکل II با نسبت وزنی ۱ به ۵ نسبت به PAN به محلول تهیه شده اضافه گردید و تحت همزدن مغناطیسی در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. سپس محلول نهایی درون سرنگ الکتروریسی ریخته شد. اجزای سیستم الکتروریسی به شرح زیر است:

الف– منبع تغذيه ولتاژ بالا ۶۰kV (Voltage)

ب- پمپ سرنگ (Top5300, Japan) برای کنترل خروجی محلول. سرنگ به حجم ۵۰ml و نازلی از جنس فولاد زنگ نزن با قطر خارجی mm ۸۰۸.

ج- الکترودهای فلزی که برای ایجاد اختلاف پتانسیل به نازل و جمع کننده وصل می شوند.

د- ورقه های ۱۰۲×۱۰ آلومینیوم به عنوان جمع کننده. شماتیکی از دستگاه الکتروریسی در شکل ۱ نشان داده شده

است.

از جمله پارامترهای موثر در ایجاد یک جت پایدار می توان به غلظت محلول پلیمری، فاصله نازل تا جمع کننده، نرخ تغذیه محلول و ولتاژ اعمالی اشاره کرد. عدم تنظیم مناسب پارامترهای مذکور منجر به تولید الیافی با مورفولوژی دانه دار و توزیع اندازه قطر گسترده می گردد. پارامترهای بهینه بدست www.SID.ir

آمده برای تولید نانوالیاف کربنی در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.



شکل۱. شمایی از دستگاه الکتروریسی شامل محلول پلیمری داخل سرنگ(A)، سوزن نوک سرنگ(B)، منبع تغذیه ولتاژ بالا(C)، جت ایجاد شده از مواد پلیمری(D) و کلکتور فلزی(E)

جدول ۱. پارامترهای بهینه بدست آمده جهت تولید نانوالیاف PAN

فاصله ی نازل تا جمع کننده	نرخ تغذيه	ولتاژ	غلظت محلول
۱۰ cm	۰/۵ ml/hr	۱۱/۵ kV	۱۲ Wt%

در مرحله بعد الیاف پلیمری جمع آوری شده، به مدت ۱۸ در دمای C^o ۲۳۰ در محیط هوا تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. سپس الیاف کربنی پایدار شده، در دمای C^o ۸۰۰ به مدت ۱۸ در اتمسفر نیتروژن تحت عملیات حرارتی کربونیزاسیون قرار گرفته و در ادامه این عملیات، الیاف در C^o ۱۴۰۰ به مدت ۲۲ در اتمسفر نیتروژن حرارت داده شدند. نرخ گرمایش در تمامی مراحل مذکور C/min^o ۳ در نظر گرفته شد.

پوشش دهی الکترولس نیکل

فرآیند پوشش دهی شامل سه مرحله می باشد: حساس سازی، فعال سازی، احیای فلز بر روی سطح الیاف. در این پژوهش برای ایجاد پوششی از نیکل بر سطح نانوالیاف کربنی الکتروریسی شده از حمام تجاری الکترولس نیکل خریداری شده از شرکت نیکل فرآیند استفاده شد. پیش از انجام عملیات پوشش دهی، الیاف در دو حمام جداگانه حساس سازی و

عامل شيميايي	کلرید قلع هیدراته(SnCl ₂ .2H ₂ O)	اسید هیدروکلریک(HCl)	آب مقطر(H ₂ O)
غلظت	•/۶ gr	۲ ml	۱۰۰ ml

جدول۲. ترکیب شیمیایی حمام حساس سازی

جدول۳. ترکیب شیمیایی حمام فعال سازی

عامل شیمیایی	كلريد پالاديوم (PdCl ₂)	اسید هیدروکلریک(HCl)	آب مقطر(H ₂ O)
غلظت	۰/۰\gr	۰/۱۲۵ ml	۱۰۰ml

فعال سازی شدند. این دو عملیات که ترکیب شیمیایی حمام های آن ها به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آمده است، در در دمای محیط و تحت هم زدن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه به انجام رسیدند.

در پایان هر مرحله، محلول از میان کاغذ صافی عبور داده شده و الیاف به جای مانده با آب مقطر شسته شدند تا به حمام بعدی منتقل گردند.

عملیات پوشش دهی در دمای C° ۴۵ تحت همزدن مداوم و به مدت ۳in ۲۰ به انجام رسید. در ادامه، محلول از کاغذ صافی عبور داده شده و الیاف به جای مانده بر روی سطح آن پس از سه بار شستشو با آب مقطر به مدت ۱ ساعت در دمای C° ۸۰ داخل خشک کن قرار داده شدند.

به منظور بررسی مورفولوژی نانوالیاف کربنی سنتز شده و نیز الیاف پوشش داده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-S360 Cambridge) استفاده شد و توزیع قطر الیاف قبل و بعداز پوشش دهی (و در نتیجه ضخامت پوشش) از طریق تحلیل تصاویر میکروسکوپی توسط نرم افزار Juaged بدست آمد. هم چنین، جهت شناسایی الیاف کربنی سنتز شده و نیز پوشش اعمالی بر روی سطح از طیف سنجی رامان (Almega Raman Spectrometer) در طول موج تهییج ۵۱۴/۵ nm استفاده شد.

> نتایج و بحث نقش کاتالیست

با تـوجه به دشـوار بودن تبـديل اليـاف PAN به ساختارهاي www.SID.ir

گرافیتی ۳ بعدی حتی در دماهای بالا [۶]، هدف از افزودن پیش ماده حاوی نیکل (در این جا استیل استنات نیکل II) به پیش ماده های سازنده الیاف PAN، بهره گیری از نقش کاتالیستی نیکل در فرآیند گرافیته شدن الیاف کربنی در ضمن عملیات حرارتی می باشد. به دنبال تجزیه حرارتی نمک مذکور در C^o ۰۰۸ و احیای نیکل در حضور کربن در ضمن عملیات حرارتی، نانوذرات فلزی موجود در زمینه کربنی به عنوان کاتالیست تبدیل کربن آمورف به شکل دیگری از کربن با نظم بیشتر ،یعنی گرافیت، وارد عمل می شوند[۷]. از جمله می توان به مکانیزم پیشنهادی Fitzer و همکارانش [۸] اشاره نمود. بر اساس این مکانیزم، در ابتدا پیوند کربن -کربن توسط فلز کاتالیست و در فصل مشترک فلز - کربن بی نظم شکسته شده و در ادامه به دنبال انحلال کربن در فلز (فلز جامد یا مذاب) و نفوذ در ساختار فلز، گرافیت متبلور می گردد.

مشخصه يابي نانوالياف كربني

شکل ۲ تصویر SEM نانوالیاف کربنی سنتز شده در حضور کاتالیست فلزی نیکل را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۲-۵ و با وضوح بیشتر در ۲-۵ مشاهده می گردد، دانه های سفید رنگی بر روی سطح الیاف وجود دارد که در حقیقت همان نانو ذرات نیکل به جای مانده از عملیات حرارتی الیاف پلیمری، با میانگین قطر ۶۰–۴۰ نانو متر می باشند. دیاگرام توزیع قطر الیاف در شکل ۳ مشاهده می گردد. به این ترتیب، قطر متوسط نانوالیاف کربنی الکتروریسی شده پیش از پوشش دادن حدود ۱۶۲ محاسبه شد.



شکل۲. تصویر SEM نانوالیاف کربنی سنتز شده در حضور کاتالیست نیکل در دو بزرگنمایی a) ۲۵۰۰ و b) ۱۰۰۰۰.



همان گونه که در الگوی تفرق اشعه X در شکل ۴ مشاهده می شود، پیک های (۰۰۲)، (۱۰۱) و (۱۰۰) مربوط به گرافیت بوده و (۱۱۱) به نیکل تعلق دارد. (۰۰۲) که پیک اصلی گرافیت به حساب می آید در زاویه ۲۶/۰۸ = ۲۵ قرار دارد. هم چنین، مقدار بدست آمده برای فاصله بین صفحات (۰۰۲) گرافیت (d₀₀₂) حدود ۲۴۱۵ نانومتر است که به مقادیر گزارش شده در مراجع [عو ۹] کاملاً نزدیک است.

باید به این نکته توجه داشت که پایین بودن مقدار d₀₀₂ نشان دهنده نظم بیشتر ساختار گرافیت و کاهش میزان عیوب موجود در ساختار است. مقدار FWHM برای پیک مربوط به صفحه (۰۰۲) گرافیت حدود ۱/۳۳ درجه محاسبه شد که با مقدار مشابه گزارش شده توسط Weisenberger [۸۸] در شرایطی که عملیات گرافیته شدن را در ^C ۱۵۰۰ به انجام شرایطی که عملیات گرافیته شدن را در ^C ۱۵۰۰ به انجام در سانده اند (۱/۱۵۱ درجه) اختلاف ناچیزی را نشان می دهد. در طیف رامان مربوط به ساختارهای کربنی دو باند مشاهده می شود. این باندها که به ترتیب آنها را با G و D مساهده می شود. این باندها که به ترتیب آنها را با G و

شناخته می شود، به ترتیب در حدود ^۱-۱۵۸۰ و ^۱-۱۳۵۰ مشاهده شد. شکل ۵ طیف بدست آمده از آنالیز رامان را نشان می دهد. این طیف همانطور که در رابطه با ساختارهای کربن مورد انتظار ماست دارای دو پیک اصلی در ۱۵۷۶ و ۱۳۴۲ (^۱-m) می باشد.



جدول۴. نتایج بدست آمده از طیف سنجی رامان

نام باند	محل (cm ⁻¹)	شدت	FWHM
G	1078	٨٦٣	۷۷/۲
D	1842	۶۵۵	۱۱۵/۶

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون رامان (جدول ۴)، نسبت I_D/I_G حدود ۰/۷۷ بدست می آید. در حالت کلی، هر چه نسبت شدت پیک های D و D یا به عبارت دیگر نسبت کربن آمورف به گرافیت کمتر باشد نشان دهنده این است که گرافیته شدن به میزان بیشتری صورت گرفته است. Weisenberger شدن به میزان بیشتری صورت گرفته است. Weisenberger خود که در ۲ ° ۱۵۰۰ گرافیته شده بودند ۰/۷۲ گزارش کردند [۱۰].

پوشش دهی الیاف در حمام الکترولس نیکل همان طور که در تشریح روند عملی آزمایشات اشاره شد، پیش از قرار دادن الیاف در حمام الکترولس، الیاف در دو حمام جداگانه تحت همزدن مداوم حساس سازی و فعال سازی گردیدند. در این دو حمام که به ترتیب حاوی یون های مازی گردیدند. در این دو حمام که به ترتیب حاوی یون های به عرد یون های مذکور بر روی سطح آنها و در نتیجه تشکیل مکان های ترجیحی جهت انجام واکنش احیای یون های نیکل می گردد[11]. با شروع فرآیند تشکیل لایه، هر لایه خود کاتالیست تشکیل لایه بعدی خواهد بود بنحوی که عموماً رابطه ای خطی بین ضخامت پوشش و زمان وجود خواهد داشت.

در فرآیند رسوب دهی الکترولس بر خلاف آبکاری از هیچ جریان خارجی برای ایجاد پوشش استفاده نمی شود. به همین دلیل در حمام الکترولس علاوه بر یون های فلزی و برخی ترکیبات پایدار کننده، که در آبکاری نیز حضور دارند، به یک عامل احیا کننده و یک سطح کاتالیزگر نیز نیاز است. به طور کلی، عامل احیا کننده با اکسید شدن خود منجر به احیای یون های فلزی می شود. سطح کاتالیزگر در حقیقت همان سطحی است که قرار است نشست گونه فلزی (در اینجا نیکل) بر روی آن صورت گیرد. در حالی که در فرآیند پوشش مطح فلز خود نقش کاتالیزگر و مکان ترجیحی انجام واکنش را ایفا می کند، در رابطه با سطوح سرامیکی، پلیمری و کربنی اصلاح سطحی ماده مورد نظر از طریق عملیات فعال سازی از جمله مراحل مهم فرآیند پوشش دهی به شمار می آید.

مشخصه يابى پوشش نيكل

شکل ۶ تصویر SEM نانوالیاف کربنی قبل و بعد از پوشش داده شدن توسط نیکل در حمام الکترولس را نشان می دهد. با مقایسه شکل های ۶-۵ و ۶-6 (هر دو در بزرگنمایی ۱۰k) پوشیده شدن سطح الیاف توسط ماده پوشش و افزایش قطر الیاف را می توان مشاهده کرد.



شکل 6. a) الیاف کربنی الکتروریسی شده پیش از پوشش دادن. b) الیاف کربنی پوشش داده شده در حمام الکترولس.

هم چنین، نمودار توزیع قطر الیاف در شکل ۷ افزایش قطر حدود ۱۸۶ nm را در اثر اعمال پوشش بر سطح الیاف نشان می دهد. بدیهی است که با تغییر زمان واکنش می توان به ضخامت های مختلفی از نیکل در حمام پوشش دهی الکترولس دست یافت.



برای بررسی یکپارچگی پوشش از مقطع الیاف تصویربرداری شد که در شکل ۸ نشان داده است. مشاهده می شود که رشته های کربنی هر کدام به طور کامل توسط لایه نیکل پوشیده شده اند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که به دنبال نفوذ کامل محلول حساس سازی و فعال سازی در میان الیاف نفوذ کامل محلول حساس سازی و فعال سازی در میان الیاف ایاف محلول حساس الای و فعال سازی در میان الیاف سنتز شده که سطح الیاف برای انجام واکنش های شیمیایی احیا آماده می سازد، محلول الکترولس نیکل هم به خوبی در میان نمد الیاف نفوذ کرده و یون های نیکل را در مکان های مناسب احیا نموده است.

شکل ۹ الگوی پراش پرتو X الیاف کربنی پوشش داده شده به روش الکترولس نیکل را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود، بر خلاف الیاف سنتز شده که در آنها بیشترین شدت مربوط به پیک گرافیت بود، در اینجا پیک (۱۱۱) مربوط به نیکل این خصوصیت را داراست. در طیف XRD الیاف کربنی الکتروریسی شده، پیک نیکل به نانوذرات نیکل تشکیل شده بواسطه تجزیه استیل استنات نیکل II نسبت داده می شود که به صورت تعداد نقاطی اندک بر روی

سطح الیاف حاضر می باشند. اما در مقابل، نیکل به جای مانده از واکنش احیا در حمام الکترولس نیکل با ضخامتی در حدود ۱۸۶nm سر تاسر الیاف را احاطه نموده است.



شکل∧ تصویر SEM بدست آمده از مقطع نانوالیاف کربنی پوشش داده شده با نیکل به روش الکترولس.



نتيجه گيرى

نظر به اهمیت پوشش دهی الیاف کربنی با یک فلز یا اکسید فلزی برای ارتقای خواص سطحی الیاف و جلوگیری از تشکیل فازهای ترد در فصل مشترک آنها با زمینه، روش پوشش دهی الکترولس می تواند به عنوان تکنیکی اقتصادی و ساده برای ایجاد لایه ای از فلز نیکل بر سطح نانوالیاف کربنی مورد استفاده قرار بگیرد. در این پژوهش، به دنبال ۲۰ دقیقه منابع

- H. Wu, D. Lin, R. Zhang and W. Pan, ZnO, Nanofiber field-effect transistor assembled by electrospinning, Journal of American Ceramic Society, 91 (2008) 656–659.
- J.B. Donnet, R.C. Bansal and M.J. Wang, Carbon Fibers, 3rd ed., Dekker, New York, 1990.
- 3. S.J. Park and M.S. Cho, *Effect of anti-oxidative* filler on the interfacial mechanical properties of carbon-carbon composites measured at high temperature, Carbon, 38(2000)1053– 1058.
- S. Chand, *Review carbon fibers for composites*, Journal of Material Science, 35(2000)1303– 1313.
- 5. Y. Tang, Interface characteristics and mechanical properties of short carbon fibers/Al composites with different coatings, Applied Surface Science, 255(2009)4393-4400.
- M. Dresselhaus, G. Dresselhaus, K. Sugihara, I. Spain and H. Goldberg, *Graphite fibers and filaments*, Springer Series in Materials Science, vol. 5, Berlin: Springer, 1988.
- 7. M. Sevilla and A. B. Fuertes, *Catalytic graphitization of templated mesoporous carbons*, Carbon, 44(2006)468–474.

rCN

قرار گرفتن نانو الیاف کربنی الکتروریسی شده در داخل حمام تجاری الکترولس نیکل، پوششی یکپارچه از فلز نیکل با ضخامت تقریبی ۱۸۴ nm در سرتاسر الیاف بدست آمد. هم چنین، بواسطه اثر کاتالیزوری نیکل تشکیل شده بر روی سطح نانوالیاف کربنی، افزودن استیل استنات نیکل II به پیش ماده های سازنده محلول الکتروریسی، سبب تسریع عملیات گرافیته شدن و انجام آن در حدود ۲۵۰۲۰ گردید.

- 8. Fitzer, B. Kegel and R. V. Kohlenstoffges "attigter, *Carbon*, 6(1968)433–446.
- F. Zhang, H. Dongmei, G. Shutian and C. Qingyun, *Effect of fiber splitting on the catalytic graphitization of electroless Ni–Bcoated polyacrylonitrile-based carbon fibers*, Surface & Coatings Technology, 203(2008)99–103.
- 10. M. Weisenberger, I. Martin, J.V. Agullo and H. V. Rizo, *Carbon*, 47 (2009) 221–2218.
- S. J. Park, Y. S. Jang and K. Y. Rheey, *Interlaminar and ductile characteristics of carbon fibers-reinforced plastics produced by nanoscaled electroless nickel plating on carbon fiber surfaces*, Journal of Colloid and Interface Science, 245(2002)383–390.