Archive of SID

Available in: http://jips.ippi.ac.ir

Iranian Journal of Polymer Science and Technology
Vol. 22, No. 5, 373-379
December 2009-January 2010
ISSN: 1016-3255

The Electrical Conductivity of Stretched Polyaniline and Polypyrrole Coated Yarns

M. Nouri

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, University of Guilan,
P.O. Box: 3756, Rasht, Iran

Received 12 July 2009, accepted 24 November 2009

ABSTRACT

The nylon and nylon/lycra yarns were coated with electrically conductive polymers such as polyaniline and polypyrrole, via chemical polymerization process. Electrical conductivity of the coated yarns was measured at various strain levels using two-point probe technique and their strain sensitivities were studied. The results showed that, electrical conductivity of the coated yarns decreased with an increase in strain level. A sharp decrease in the electrical conductivity of the nylon/lycra coated yarn with the strain level was recorded whereas, a small drop in the electrical conductivity of the nylon coated yarn was observed. Linear relationships were found between the electrical conductivity and length for the nylon and nylon/lycra coated yarns. The polyaniline coated yarns showed higher strain sensitivity compared to polypyrrole coated yarns. Repeatability of the strain sensitivity of the coated yarns was examined and the coated nylon/lycra yarn showed better repeatability compared to that of coated nylon yarn. The coated yarns were proposed as a flexible strain sensor in the field of intelligent materials.

Key Words:
coating,
conductive polymers,
fibers,
nylone,
strain

(*)To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mnouri69@guilan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیست و دوم، شماره ۵،
صفحه ۳۷۹-۳۷۳، ۱۳۸۸
ISSN : 1016-3255

مطالعه رسانایی الکتریکی نخ های پوشش یافته با پلی آنیلین و پلی پیرول زیر کشش

مهدی نوری

رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی نساجی، صندوق پستی ۳۷۵۶

دریافت: ۸۸/۴/۲۱، پذیرش: ۸۸/۹/۳

چکیده

در این پژوهش، نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا به وسیله پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول به عنوان پلیمرهای رسانا پوشش‌یافته‌اند و تغییرات رسانایی الکتریکی آنها زیر کشش بررسی شده است. رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته زیر کشش و ازدیاد طول‌های مختلف به کمک روش دونقطه‌ای اندازه‌گیری شده و میزان حساسیت مقاومتی آنها نسبت به کشش مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بررسی نشان می‌دهد، رسانایی الکتریکی همه نخ‌های پوشش‌یافته زیر کشش با افزایش طول بیشتر می‌شود. هم‌چنین، تغییرات رسانایی الکتریکی نخ نایلون - لایکرا پوشش‌یافته در اثر کشش بیشتر از تغییرات رسانایی الکتریکی نخ نایلون پوشش‌یافته است. حساسیت نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین نسبت به کشش نیز بیش از حساسیت نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول است. بررسی ارتباط بین رسانایی الکتریکی و طول نخ‌ها در فرایند کشش نشان می‌دهد، ارتباط نزدیک به خط با ضریب هم‌بستگی (R_2) برابر ۰/۹۳ برای نخ نایلونی و ۰/۹۷ برای نخ نایلون - لایکرا وجود دارد. اعمال ازدیاد طول چرخه‌ای به نخ‌های پوشش‌یافته نشان می‌دهد، حساسیت نسبت به کشش نخ نایلون - لایکرا پایداری بهتری نسبت به نخ نایلون دارد. نخ متشکل از نایلون و لایکرا قابلیت حفظ حساسیت کششی را در چرخه‌های متوالی ازدیاد طول دارد. در حالی که نخ نایلونی پس از ۳ چرخه ازدیاد طول به طور کلی حساسیت کششی خود را از دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

پوشش،
پلیمرهای رسانا،
الیاف،
نایلون،
کرنش

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
mnouri69@guilan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پلیمرهای رسانای الکتریکی به دلیل کاربردهای متعدد آنها نظیر باتری‌های قابل شارژ، پوشش‌های سطح، محافظ امواج الکترومغناطیس، حس‌گرها و عضله‌های مصنوعی و پزشکی هنوز هم مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار دارند [۶-۱]. معرفی پلیمرهای رسانای الکتریکی به سال ۱۹۷۷ و پس از یافته‌های Shirakawa و همکاران[۷] برمی‌گردد که توانستند پلی‌استیلن با رسانایی الکتریکی ۳۱۰ S/cm را به طور اتفاقی تهیه کنند. پس از آن، پلیمرهای رسانای دیگری با ساختار مزدوج نظیر پلی‌آنیلین، پلی‌پیرول، پلی‌تیوفن و پلی‌پارافنیلن سنتز و معرفی شدند [۸]. اگر چه پلیمرهای رسانای متعددی سنتز شده‌اند، اما پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول به دلیل خواص جالب توجه از جمله پایداری رسانایی بهتر و قابل کنترل مورد توجه بیشتری بوده‌اند.

از موارد مهم درباره مشکلات کاربرد این دسته از مواد پلیمری می‌توان به شکنندگی، حلالیت نامناسب و ناپایداری رسانایی الکتریکی اشاره کرد. از طرف دیگر، مواد و الیاف نساجی به دلیل انعطاف‌پذیری و استحکام مناسب به عنوان بستری برای پوشش‌دهی پلیمرهای رسانا مطرح شده‌اند. در این طرح پلیمرهای رسانا با قابلیت فرایندپذیری محدود به روش شیمیایی روی الیاف نساجی به عنوان پوشش قرار می‌گیرند و به این ترتیب ترکیب جدیدی برای استفاده در کاربردهای متفاوت ایجاد می‌شود [۹]. این ترکیب ایجاد شده که انعطاف‌پذیری و استحکام مناسب الیاف نساجی را به همراه رسانایی الکتریکی پلیمرهای رسانا دارد، می‌تواند به عنوان منسوج هوشمند برای استفاده در مهندسی بافت و موارد زیست پزشکی استفاده شود. Rossi و همکاران [۱۰] تهیه دستکش دارای احساس بر پایه پارچه لایکرا - پنبه پوشش‌یافته با پلی‌پیرول را گزارش کردند. Kim و همکاران [۱۱] استفاده از منسوج متشکل از الیاف پلی‌استر - اسپاندکس را به عنوان حس‌گر ازدیاد طول گزارش کردند. Li و همکاران [۱۲]حس‌گر مشابهی را از راه پوشش‌دهی الیاف در فاز بخار گزارش کرده‌اند که دارای درجه حساسیت زیادی است. پژوهش‌گران متعددی پوشش‌دهی الیاف نساجی را به وسیله پلیمرهای رسانا نظیر پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول بررسی کرده‌اند[۱،۱۳،۱۴]. در فرایند پوشش‌دهی الیاف گزارش شده است، لایه‌ای از پلیمر رسانای الکتریکی روی سطح الیاف قرار می‌گیرد.

در این مقاله سعی شده است تا پس از پوشش‌دهی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا به وسیله پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول، رفتار تغییرات رسانایی الکتریکی آنها زیر کشش‌های متوالی بررسی شود. در نهایت، ضمن مقایسه رفتار نخ‌های پوشش‌یافته با این دو پلیمر امکان استفاده از آنها به عنوان حس‌گر کرنش ارزیابی می‌شود.

تجربی

مواد

از نخ رشته‌ای نایلون۶ (پلی‌کاپرولاکتام) محصول شرکت الیاف (ایران) و نخ نایلون - لایکرا تهیه شده از منابع محلی استفاده شده است. در نخ نایلون - لایکرا، لایکرا (الیاف کشسان بر پایه پلی‌یورتان) به شکل تک‌رشته‌ای به عنوان مغزی و نایلون رشته‌ای به عنوان الیاف پوششی قرار گرفته است. نخ نایلون با نمره ۱۰۰ دنیر و ۳۴ رشته و به شکل بافته شده و تک‌رشته‌ای لایکرا دارای قطر ۲۰۰ μm بوده است. آنیلین محصول شرکت Merck و پیرول محصول شرکت Aldrich پس از تقطیر استفاده شدند. سایر مواد مصرفی از نوع آزمایشگاهی بودند.

دستگاه‌ها

در این پژوهش، رسانایی‌سنج رقمی Digital multimeter مدل DT 9201 A ساخت چین و استحکام‌سنج Shirley مدل micro 50 به کار گرفته شده است.

روش‌ها

آماده‌سازی مقدماتی

برای آماده‌سازی نخ‌ها و از بین بردن مواد اضافی سطح الیاف مختلف، ابتدا نمونه نخ نایلون - لایکرا به وسیله محلول شوینده و آب شسته شده و در دمای ۵۰°C خشک شد، سپس کلاف‌هایی با وزن ۰/۵۰۰ g از آنها تهیه شد.

پوشش‌دهی با پلی‌آنیلین

برای پوشش‌دهی نخ نایلون و نایلون - لایکرا با پلی‌آنیلین در بالن مجهز به چگالنده حاوی ۲۰۰ mL محلول کلریدریک اسید ۱N مقدار مورد نیاز آنیلین تقطیر شده (۰/۵ g) اضافه شده است و بالن با هم‌زدن در داخل حمام آب و یخ قرار گرفت . پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به ۲±۱°C کلاف نخ ۰/۵ گرمی به داخل بالن اضافه شد و پس از ۵ min مقدار مورد نیاز آمونیم پرسولفات (۷/۲۲۵ g) به عنوان اکسنده و آغازگر پلیمرشدن که در ۱۰ mL آب مقطر حل شده بود، طی مدت ۳۰ min قطره قطره به داخل بالن اضافه شد. سپس، واکنش به مدت ۲ h در دمای ۲±۱°C ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بالن به وسیله هم‌زن

www.SID.ir

Archive of SID

مغناطیسی هم‌زده می‌شد. پس از انجام پوشش‌دهی، نمونه نخ‌های پوشش‌یافته خارج شده و ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج‌سازی مواد اضافی شسته شد. در انتها کلاف‌ها در گرم‌خانه با دمای ۵۰°C خشک شدند.

پوشش‌دهی با پلی‌پیرول

برای پوشش‌دهی نخ نایلون و نایلون - لایکرا با پلی پیرول در بالن مجهز به چگالنده حاوی ۲۰۰ mL آب مقطر مقدار مورد نیاز پیرول تقطیر شده (۰/۵ g) اضافه شده است و بالن با هم زدن در داخل حمام آب و یخ قرار گرفت. پس از کاهش دمای محلول داخل بشر به ۱±۲°C کلاف نخ ۰/۵ گرمی به داخل بالن اضافه شد و پس از ۵ min مقدار مورد نیاز کلرید آهن (۵/۸ g) به عنوان اکسنده و آغازگر پلیمرشدن که در ۱۰ mL آب مقطر حل شده بود، طی مدت ۳۰ min قطره قطره به داخل بالن اضافه شد. سپس، واکنش به مدت ۲ h در دمای ۲±۱°C ادامه یافت. در طول آزمایش محلول داخل بالن به وسیله هم‌زن مغناطیسی هم‌زده می‌شد. پس از انجام پوشش‌دهی نمونه نخ‌های پوشش‌یافته خارج شده و ابتدا با آب مقطر و سپس در محلول آب و شوینده به منظور خارج‌سازی مواد اضافی شسته شد. در انتها کلاف‌ها در گرم‌خانه با دمای ۵۰°C خشک شدند.

شناسایی

پس از دوپه کردن نخ‌های پوشش‌یافته با بخار کلریدریک اسید، رسانایی الکتریکی آنها در حالت آزاد و زیر کشش به وسیله رسانایی‌سنج رقمی اندازه‌گیری شد. کشش نخ‌های پوشش‌یافته به وسیله استحکام سنج الیاف معین شد. فاصله فک‌ها (طول اندازه‌گیری) ۲۰ mL و سرعت ازدیاد طول ۱mm/min انتخاب شد. نمونه نخ به همراه سیم نازک مسی بین فک‌های نگه دارنده نخ قرار گرفت و سیم مسی به رسانایی‌سنج متصل شد. به این ترتیب، رسانایی الکتریکی نمونه‌ها در ازدیاد طول‌های متفاوت مشاهده و یادداشت شد. حداقل ۵ نمونه از هر یک مورد آزمایش کشش قرار گرفت و میانگین نتایج گزارش شد. اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی در دمای محیط(۲۲ تا ۲۵°C) و در رطوبت ۵±۷۵ ٪ انجام شده است.

نتایج و بحث

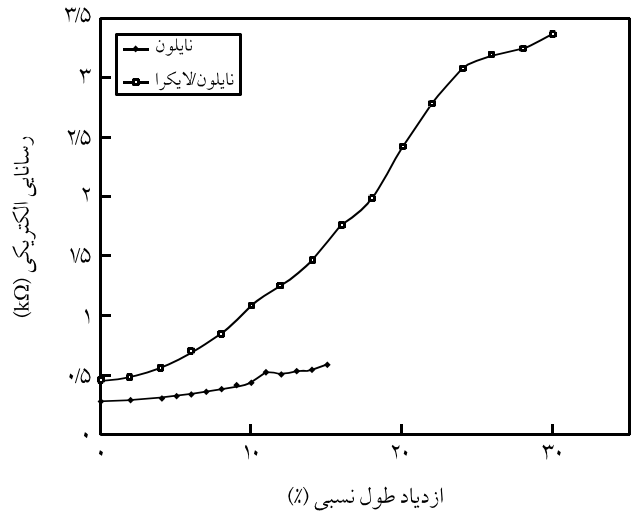
تغییر رسانایی الکتریکی نخ های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین

منحنی تغییرات رسانایی الکتریکی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین در محدوده کششی کمتر از ۳۰ درصد در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج این شکل نشان می‌دهد، نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته در وضعیت بدون کشش رسانایی الکتریکی یکسانی دارند. با اعمال کشش به این نخ‌های پوشش‌یافته، رسانایی الکتریکی نخ نایلون - لایکرا با شیب زیادی افزایش می‌یابد. این درحالی است که رسانایی الکتریکی نخ نایلونی پوشش‌یافته با شدت و شیب کمتری افزایش می‌یابد.

در فرایند پوشش‌دهی الیاف، لایه‌هایی از پلیمر رسانا روی الیاف رسوب می‌کند [۱۴]. به هنگام کشیده شدن الیاف پوشش‌یافته، این لایه‌های پوشش‌یافته روی الیاف نیز زیر کشش قرار می‌گیرند. در نتیجه این کشش، فاصله بین ذرات پوشش روی الیاف افزایش یافته و اتصال بین ذرات پلیمر رسانای پوشش‌یافته کمتر می‌شود که نتیجه آن افزایش رسانایی الکتریکی الیاف پوشش‌یافته و حساسیت آن نسبت به کشش خواهد بود. از طرف دیگر، بررسی ارتباط بین رسانایی الکتریکی و طول نخ‌ها در فرایند کشش (شکل ۱) نشان می‌دهد که یک ارتباط نزدیک به خط با ضریب هم‌بستگی (R^2) برابر ۰/۹۳ برای نخ نایلونی و ۰/۹۷ برای نخ نایلون - لایکرا وجود دارد. اما، با توجه به مشکل بودن اندازه‌گیری و تعیین سطح مقطع نخ‌های ازدیاد طول یافته امکان اظهارنظر درخصوص صادق بودن معادله رسانایی اهمی ($R=\rho L/A$، R رسانایی الکتریکی، ρ ضریب رسانایی حجمی، L طول نمونه و A سطح مقطع نمونه است) به سادگی امکان‌پذیر نبوده و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

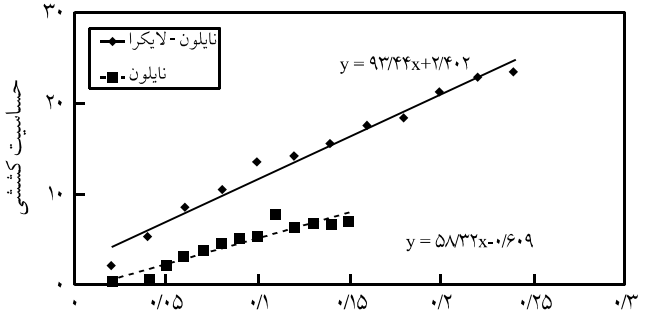
به هرحال واضح است، افزایش رسانایی الکتریکی با مقدار ازدیاد



شکل ۱ - تغییرات رسانایی الکتریکی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین.

www.SID.ir

Archive of SID

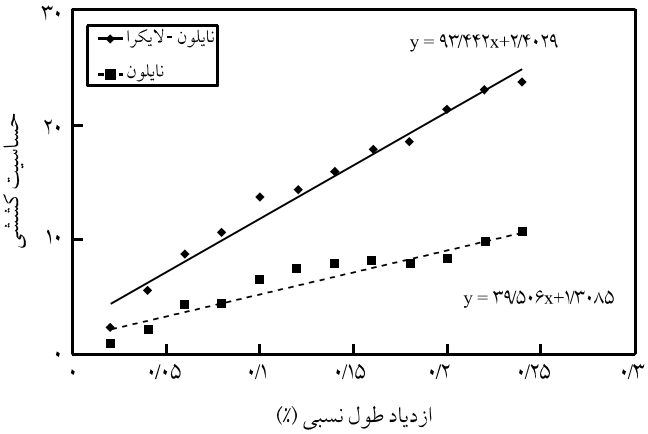


شکل ۲ ـ حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون ـ لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین.

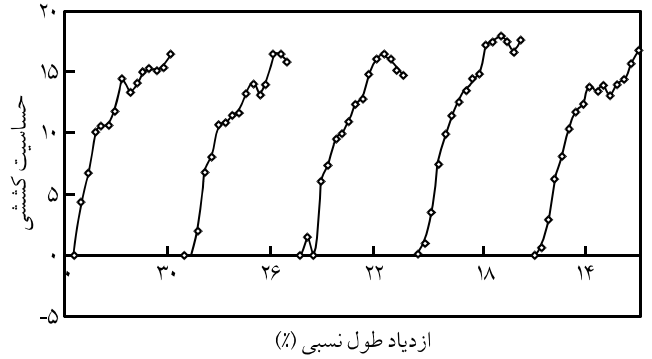
طول ارتباط دارد و به این ترتیب الیاف پوشش‌یافته امکان کاربرد به عنوان حس‌گر کرنش را دارند. حساسیت کششی (S) نخ‌های پوشش‌یافته می‌تواند با معادله (۱) تعریف شود:

$$S=\Delta R/\varepsilon R_0 \qquad (1)$$

که در آن ΔR تغییر رسانایی الکتریکی در ازدیاد طول نسبی ε و R_0 رسانایی الکتریکی نخ پوشش‌یافته در کشش صفر است. با توجه به نتایج شکل ۱ و معادله (۱)، حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون- لایکرا پوشش‌یافته محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته نسبت به ازدیاد طول، رفتار خطی دارد. اما، حساسیت کششی نخ نایلون- لایکرا پوشش‌یافته بسیار بیشتر از حساسیت کششی نخ نایلون پوشش‌یافته است، به طوری



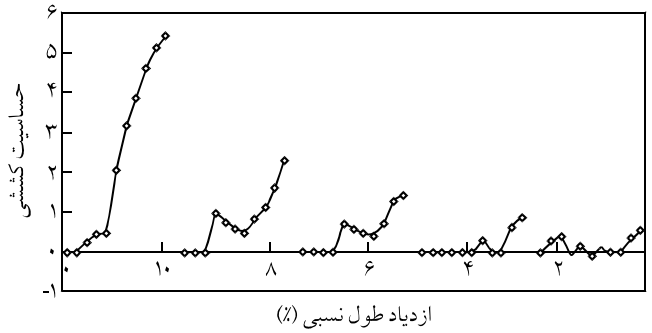
شکل ۳ ـ حساسیت کششی نخ نایلون ـ لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول.



شکل ۴ ـ حساسیت کششی نخ نایلون ـ لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین زیر کشش‌های چرخه‌ای.

که شیب خط محاسبه شده برای حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا و نخ نایلون به ترتیب ۹۳/۴ و ۵۸/۳ است.

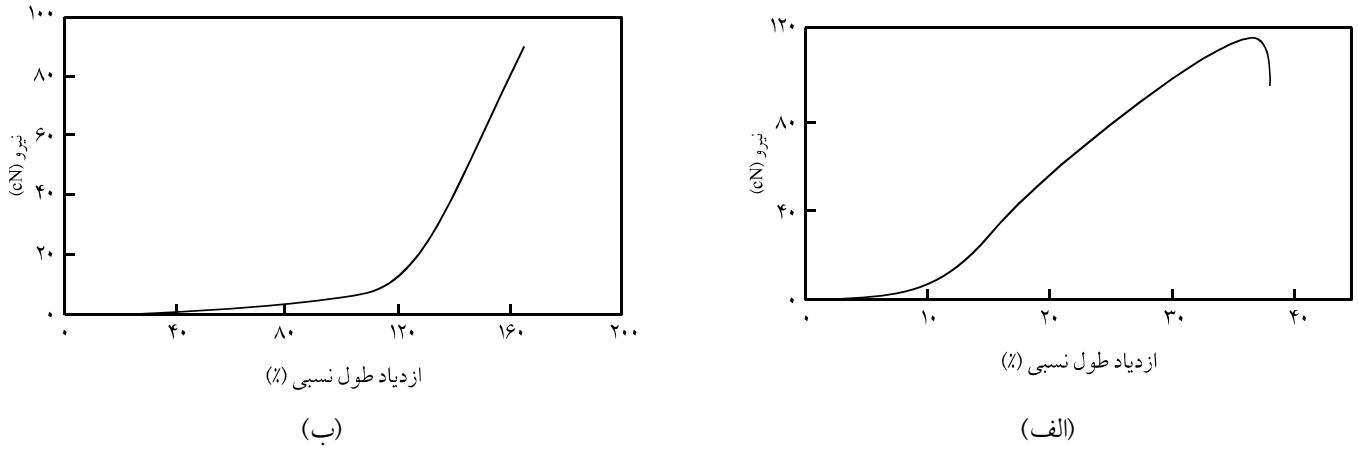
نتایج مشابهی برای حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌پیرول ثبت شد. نتایج ثبت شده نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌پیرول بیشتر از مقدار ثبت شده برای نخ نایلون پوشش‌یافته است. برای مقایسه حساسیت کششی نخ‌های نایلون - لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول خلاصه نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد، حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین بیشتر از حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول است. شیب خط محاسبه شده برای حساسیت کششی نخ پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول به ترتیب ۹۳/۴ و ۳۹/۵ است. این نتیجه می‌تواند مربوط به رسانایی الکتریکی بیشتر نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول نسبت به پلی‌آنیلین باشد [۱۴]. یکی از دلایل ارائه شده برای رسانایی الکتریکی بیشتر نخ پوشش‌یافته با پلی‌پیرول وجود لایه ضخیم‌تر پلی‌پیرول در



شکل ۵ ـ حساسیت کششی نخ نایلون پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین زیر کشش‌های چرخه‌ای.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶ ـ منحنی نیرو ـ ازدیاد طول نسبی: (الف) نخ نایلون و (ب) نخ نایلون ـ لایکرا.

سطح نخ پوشش‌یافته است[۱۴]. به نظر می‌رسد، با ضخیم‌تر شدن لایه پوشش‌یافته احتمال جدا شدن ذرات رسانای پوشش‌یافته کمتر شده و کاهش رسانایی الکتریکی (مقدار حساسیت کششی) کمتر می‌شود.

پایدار بودن حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته در اثر چرخه‌های ازدیاد طول در کاربرد آنها اهمیت زیادی دارد. نمونه‌ای از حساسیت کششی نخ‌های نایلون و نایلون ـ لایکرا پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین طی ۵ چرخه ازدیاد طول در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند، حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا پوشش‌یافته تقریبا درچرخه‌های متوالی یکسان است و تفاوت چندانی ندارند، در حالی که حساسیت کششی نخ نایلون پوشش‌یافته به تدریج در چرخه‌های کشش متوالی کاهش یافته و در نهایت پس از ۳ یا ۴ مرتبه کشش از بین می‌رود. شکل ۶ نمونه‌ای از منحنی نیرو - ازدیاد طول نسبی نخ‌های نایلون و نایلون لایکرا را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، مقدار ازدیاد طول اعمال شده به نخ نایلون در بخش غیرخطی منحنی و مقدار ازدیاد طول اعمال شده به نخ نایلون - لایکرا در بخش خطی منحنی نیرو ازدیاد طول است. در ازدیاد طول الیاف غیرکشسان نظیر نایلون با اعمال ازدیاد طول، بازگشت الیاف به طول اولیه به طور کامل اتفاق نخواهد افتاد، در حالی که در الیاف کشسان نظیر نخ مخلوط نایلون و لایکرا به دلیل وجود الیاف کشسان لایکرا، پس از اعمال کشش الیاف به طول اولیه برمی‌گردند. بنابراین به نظر می‌رسد، پایداری حساسیت کششی نخ نایلون - لایکرا به قابلیت بازگشت این نخ به طول اولیه پس از اعمال کشش ارتباط داشته باشد. با توجه به این که نخ نایلون امکان بازگشت به طول اولیه را نداشته است، بنابر این از بین رفتن حساسیت کششی پس از اعمال چند چرخه ازدیاد طول دور از واقعیت نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

با پوشش‌دهی نخ‌های متداول نساجی به وسیله پلیمرهای رسانای الکتریکی نظیر پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول امکان تهیه مواد انعطاف‌پذیر حساس به کشش با قابلیت تغییر رسانایی الکتریکی در اثر کشش و بدون آسیب رسیدن به ساختار ظاهری الیاف وجود دارد. میزان حساسیت به کشش بستگی به نوع پلیمر رسانا دارد، به طوری که حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌آنیلین بیشتر از حساسیت کششی نخ‌های پوشش‌یافته با پلی‌پیرول است. هم‌چنین، شدت حساسیت کششی به نوع نخ به کار رفته نیز ارتباط دارد. نخ‌های کشسان نظیر نخ نایلون - لایکرا از حساسیت کششی بیشتر نسبت به نخ‌های غیر کشسان نظیر نایلون پس از پوشش‌دهی با پلیمرهای رسانا خواهند داشت. قابلیت حفظ حساسیت کششی نیز بستگی به نوع الیاف پوشش‌یافته دارد. نخ متشکل از نایلون و لایکرا قابلیت حفظ حساسیت کششی در چرخه‌های متوالی ازدیاد طول را دارد، در حالی که نخ نایلونی به تنهایی پس از ۳ چرخه ازدیاد طول به طور کلی حساسیت کششی خود را از دست می‌دهد. این نخ‌های پوشش‌یافته می‌توانند در ساخت منسوجات هوشمند مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه تغییر رسانایی الکتریکی نخ‌های پوشش‌یافته در اثر کشش به افزایش فاصله بین ذرات پلیمر رسانا نسبت داده شده است، اما این پدیده نیاز به بررسی بیشتر دارد.

www.SID.ir

مراجع

1. Wallace G.G., Spinks G.M., Kane-maguire L.A.P., and Teasdale P.R., *Conductive Electroactive Polymers,* 3th ed., CRC, USA, 2003.
2. Bhadra S., Khastgir D., Singha N.K., and Lee J.H., Progress in Preparation, Processing and Applications of Polyaniline, *Prog. Polym. Sci.,* **34**, 783-810, 2009.
3. Li Z.F., Blum F.D., Bertino M.F., Kim C.S., and Pillalamarri S.K., One-step Fabrication of a Polyaniline Nanofiber Vapor Sensor, *Sensors Actuator, Part B: Chemical*, **134**, 31-35, 2008.
4. Lakard B., Segut O., Lakard S., Herlem G., and Gharbi T., Potentiometric Miniaturized pH Sensors Based on Polypyrrole Films, *Sensor Actuator, Part B: Chemical*, **122**, 101-108, 2007.
5. Lee J.Y., Bashur C.A., Goldstein A.S., and Schmidt C.E., Polypyrrole-coated Electrospun PLGA Nnanofibers for Neural Tissue, *Biomaterials,* **30**, 4325-4335, 2009.
6. Entezami A.K. and Massoumi B., Artificial Muscles, Biosensors and Drug Delivery Systems Based on Conducting Polymers: A Review, *Iran. Polym. J.,* **15**, 13-30, 2006.
7. Ito T., Shirakawa H., and Keda S., Simutltaneous Polymerization and Formation of Polyacetylene Film on the Surface of Concentrated Soluble Zigler Type Catalyst Solution, *J. Polym. Sci., Polym. Chem.,* **1**, 11-20, 1974.
8. Hall N., Twenty-five Years of Conducting Polymers, *Chem. Comm.,* 1-4, 2003.
9. Malinauskas A., Chemical Deposition of Conducting Polymers, *Polymer,* **42**, 3957-3972, 2001.
10. Rossi D.D., Sanata A.D., and Mazzoldi A., Dressware: Wearable Hardware, *Mater. Sci. Eng.,* **C7**, 31-37, 1999.
11. Kim H.K., Kim M.S., Chun S.Y., Park Y.H., Jeon B.S., Lee J.Y., Hong Y.K., Joo J., and Kim S.H., Characterization of Electrically Counductive Polymer-coated Textiles, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.,* **405**, 161-169, 2003.
12. Li Y., Cheng X.Y., Leung M.Y., Sang J. T., Tao K.M., and Yuen M.C.W., A Flexible Strain Sensor from Polypyrrole-coated Fabrics, *Synth. Met.,* **155**, 89-94, 2005.
13. Kim B., Koncar V., Devaux E., Dufor C., and Vallier P., Electrical and Morphological Properties of PP and PET Conductive Polymer Fibers, *Synth. Met.,* **146**, 167-174, 2004.
14. Nouri M., Haghighat Kish M., and Entezami A.A., Comparison of the Electrical Conductivity of Textile Fibers Coated with Polyaniline and Polypyrrole, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian),* **18**, 297-307, 2005.

www.SID.ir