



## تکمیل نانو پوشش دهی پارچه‌های پنبه/پلی استر به روش سل-ژل و با هدف بهبود مقاومت سایشی آن‌ها

### چکیده

منسوجات تشکیل شده از الیاف پنبه/پلی استر (PET/CO) به ویژه آن‌هایی که از پنبه‌ی نامرغوب در ترکیب آن‌ها استفاده شده است، با یک مشکل جدی مواجه هستند و آن آمادگی بالای آن‌ها برای تشکیل پرز است که این امر اثر معکوس بر کارایی، دوام و زیبایی آن‌ها به جا خواهد گذاشت. از میان روش‌های موجود برای جلوگیری از این پدیده روش پوشش دهی لایه نازک با سل-ژل مزیت‌های خوبی از خود نشان داد. با انتخاب مناسب پیش ماده و روش سنتز کردن و همچنین ته نشینی سل‌ها امکان شکل‌گیری پوشش‌های زیروژل بر روی سطح الیاف فراهم می‌شود که ویژگی‌های سختی و مقاومت سایشی را در الیاف ایجاد می‌کند و در نتیجه میزان تشکیل پرز را کاهش می‌دهد بدون آن‌که زیبایی و ظاهر منسوج را از بین ببرد. علاوه بر آن این پوشش‌ها به سختی به سطح الیاف متصل می‌شوند و در برابر شرایط استفاده و نگهداری مثلاً فرایندهای پی در پی شستشویی مقاوم هستند. تکمیل پوشش لایه‌ی نازک از این نوع همچنین مقاومت سایشی منسوجات حاوی مقدار بیشتری از الیاف پلی استر را افزایش می‌دهند و در نتیجه بر کارایی پارچه تاثیر مثبت به جای می‌گذارند. در این مقاله نتایج آزمایشات انجام شده از به کارگیری سل هیبریدی  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  که با استفاده از دو پیش ماده‌ی ۳-گلاسیدوکسی پروپیل تری متوکسیلان (GPTMS) و آلومینیوم ایزوپروپوکسید (ALIPO) سنتز شد و شرایط به کارگیری آن بر روی پارچه‌های تار پودی پنبه/پلی استر (۶۷/۳۳) برای افزایش مقاومت سایشی و جلوگیری از تشکیل پرز ارائه شده است. در نتیجه‌ی این عمل قابلیت پرزدهی پارچه از بین می‌رود (رتبه ۵ در آزمایش مارتیندل)، مقاومت سایشی آن تا ۳۸٪ افزایش می‌یابد و اثر آن در فرایندهای شستشوی طولانی مدت نیز باقی می‌ماند.

### مقدمه

پارچه‌های کشباف یا تار پودی تشکیل شده از مخلوط پنبه/پلی استر در منسوجات زیادی نظیر پوشاک، کفش و منسوجات فنی کاربرد دارند. کاربرد گسترده و وسیع این پارچه‌ها از ظاهر خوب آن‌ها و ویژگی‌های موثرشان نظیر مقاومت در برابر چروک پذیری، ثبات ابعادی، نگهداری آسان، بهداشتی بودن و فاکتورهای مقاومتی نسبتاً خوب شامل مقاومت سایشی نشات می‌گیرد. فاکتور مقاومت در برابر پرزدهی به تشکیل پرزها مربوط می‌شود که هنگام مصرف و در اثر سایش به گلوله‌های کوچک لیفی یا همان پرزهای قالبی تبدیل می‌گردد. این گلوله‌ها از فیلامنت‌های خارج شده از پارچه در هنگام سایش شکل می‌گیرند. بخشی از این فیلامنت‌ها از الیاف شل متصل نشده به پارچه تشکیل می‌شوند و مابقی آن‌ها شکسته

و به پارچه متصل نشده‌اند. در نتیجه پرزهایی که به این صورت تشکیل می‌شوند به شدت به سطح پارچه وصل شده‌اند که این کیفیت پارچه را چه از نظر عملکرد و چه از نظر ظاهر پایین می‌آورد. طرف‌نظر از عللی که از ساختار نخ و پارچه ناشی می‌شود، پدیده‌ی پرزدهی در مورد پارچه‌های تشکیل شده از الیاف استیپل مصنوعی با ثبات سایشی و استحکام کششی بالا و همچنین پارچه‌های تشکیل شده از ترکیب الیاف استیپل مصنوعی و الیاف طبیعی با پارامترهای استحکامی پایین تر رخ می‌دهد. بیشترین نمونه‌های رایج پارچه‌های کشباف یا تار پودی متشکل از مخلوط پنبه/پلی استر هستند. در این پارچه‌ها به دلیل سایش در هنگام استفاده، الیاف پنبه که ضعیف ترند شکسته شده و از پارچه جدا می‌گردند. الیاف پلی استر که قوی ترند نیز شکسته می‌شوند اما

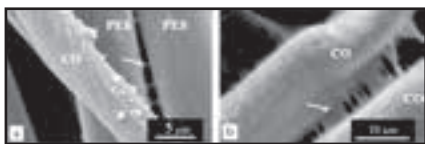
به صورت جمع شده در پارچه باقی می‌مانند. بنابراین هر دو نوع از الیاف تشکیل دهنده‌ی پرز متصل به سطح پارچه باقی می‌مانند. این مکانیزم احتمال پایین پرزدهی و حتی عدم پرزدهی را در پارچه‌های تشکیل شده از الیاف پنبه به ویژه آن‌هایی که از پنبه‌ی نامرغوب با استحکام کششی پایین تشکیل می‌شوند را شرح می‌دهد. شدت پرزدهی به خواص الیاف ترکیبی، اجزای تشکیل دهنده، ساختار نخ و پارچه و همچنین شرایط استفاده از پارچه به ویژه شدت سایش و دما و رطوبت محیط بستگی دارد (این شرایط به ویژه در مورد اجزای داخلی کفش نظیر لایه‌ی‌ها و کفی‌ها شدت می‌یابد). بنابراین پارچه‌های مخلوط پنبه/پلی استر با درصد بیشتری از الیاف پلی استر نیاز به تکمیل مناسب دارند تا در برابر سایش و پرزدهی



نامساعد ته نشینی سل ها و ارتباط نامطلوب بین الیاف پوشش دهی شده و به اصطلاح پل ها که منجر به ایجاد خصوصیات نامطلوب در سل ها می گردد، ناشی می شود. این باعث کاهش چشمگیر حرکت الیاف و حتی اندکی تغییر مکان می شود که نتیجه ی آن سفت شدن ساختار پارچه است.

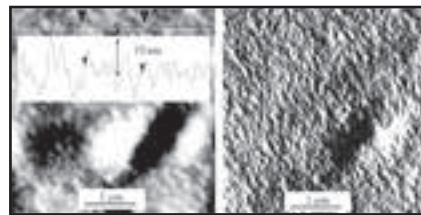
در مورد نیروی بین پوشش مورد نظر و سطح الیاف در مقالات مختلف ذکر شده است که می توان با استفاده از پیش ماده های ارگانوسیلیکای مناسب برای سنتز سل ها این نیرو را افزایش داد. با این روش می توان سل های حاوی ذراتی با گروه های عامل را که توانایی واکنش و ایجاد پیوندهای شیمیایی با گروه های عامل موجود بر روی سطح الیاف که بیشتر گروه های OH هستند (در مورد الیاف پنبه)، سنتز کرد.

با اصلاح سل های سیلیکا توسط اپوکسیلان ها نظیر (۳-گلاسیسیدوکسی پروپیل) تری متوکسیلان (GPTMS) می توان نتایج خوبی به دست آورد. افزودن این ماده باعث افزایش چسبندگی پوشش نانوسل به سطح الیاف می شود و در نتیجه مقاومت مکانیکی آن را افزایش می دهد. در شرایط سنتز سل و تحت عملیات حرارتی مختلف حلقه ی اپوکسی GPTMS باز می شود و با گروه های هیدروکسیل سطح الیاف واکنش می دهد. بر اساس بعضی از گزارش ها این ماده سختی پوشش هیبریدی ارگانیک-غیرارگانیک را افزایش می دهد و نیروی اتصال بین پوشش سل-ژل و سطح الیاف پنبه را بهبود می بخشد. همچنین مشاهده شده است که افزودن این ماده الاستیسیته ی پوشش را نیز بهبود می بخشد. در نتیجه می توان انتظار داشت که با به کارگیری این ترکیب در سنتز سل می توان مقاومت برشی پوشش حاصل و در نتیجه مقاومت سایشی منسوج تکمیل شده را با روش سل-ژل بهبود بخشید.



**شکل ۲- تصاویر SEM الیاف در پارچه ی پلی استری و پنبه ای پوشش دهی شده با سل  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . فلش ها نشان دهنده ی پل های بین الیاف است که توسط پوشش الاستیک الیاف پلی استر و پنبه ایجاد شده است.**

که خواص مکانیکی آن به شدت عملیات حرارتی برای مثال مدت زمان و دمای فرایند بستگی دارد. مشاهده شده است که در شرایط حرارتی مجاز برای منسوجات برای مثال حالتی که تخریب حرارتی پلیمر منجر به آسیب به پارچه نمی شود، این پوشش با زیروژل ها اتصال عرضی برقرار می کند. چنین محصولات دارای سختی و مقاومت مکانیکی کمتری نسبت به مواد اولیه ی سرامیکی که نیازمند عملیات حرارتی در دمایی حدود  $600^\circ\text{C}$  می باشند، هستند اما الاستیسیته ی بالاتری دارند و این فاکتور نیز از اهمیت فوق العاده ای در کاربردهای نساجی برخوردار است. با انتخاب مناسب پیش ماده ها، شرایط سنتز سل و به کارگیری نانوذرات کاربردی مناسب برای مثال  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و همچنین شرایط مناسب برای ته نشینی و ایجاد اتصالات عرضی این سل های اصلاح شده با منسوجات می توان پوشش های سخت محافظ ایجاد کرد و مقاومت سایشی را افزایش داد.



**شکل ۱- تصاویر AFM یک لایه نازک از زیروژل اصلاح شده  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  بر روی سطح شیشه ای**

پوشش های زیروژل که به این روش به دست می آیند دارای خصوصیتی هستند که آن ها را برای تکمیل مقاومت سایشی و مقاومت در برابر پرزدهی مناسب می سازند. علاوه بر آن ضخامت بسیار کم آن ها که بین  $500\text{nm}$ - $200\text{nm}$  است، امکان حفظ خصوصیت منسوجی پارچه را حتی بدون از بین رفتن خواص بهداشتی فراهم می کند. این پوشش ها دارای سختی و مقاومت سایشی بالایی هستند. از سوی دیگر مقاومت برشی و الاستیسیته ی پوشش ها باید بالا و اتصال آن ها با زیرلایه ی پارچه ای در حین مصرف بادوام و پایدار باشد. مشکل دیگری که ممکن است پیش بیاید افزایش سختی پارچه هاست که از شرایط

مقاوم شوند (از نظر تکمیل شیمیایی می توان تکمیل های پوشش دهی این چنینی که بر روی پوشش های پلیمری محافظ موجود بر روی سطح الیاف/پارچه ته نشین می شوند، فرصت های زیادی را ایجاد کرد. این پوشش ها که دارای ضخامت میکرومتری هستند راه حل مناسبی به شمار نمی روند چون معمولاً سختی، مقاومت سایشی و نفوذ پذیری هوا و بخار آب/عرق بدن و همچنین چسبندگی آن ها به پا در دما و رطوبت بالا درون کفش پایین است که بر ویژگی های بهداشتی و راحتی کفش اثر منفی می گذارد. در این رابطه روش های جدیدی با به کارگیری تکمیل پوشش دهی پارچه های نساجی ابداع شده است که در آن به جای استفاده از پلیمرهای ارگانیک، مواد غیرارگانیک هیبریدی دارای اتصال عرضی به طور مستقیم بر روی سطح پارچه ی تحت عملیات تکمیل با سل-ژل تشکیل می شوند.

این روش بر اساس آماده سازی سوسپانسیون کلوییدی و سل ها از پیش ماده های مناسب که بیشتر اکسیدهای فلزی یا ترکیبات ارگانومتالیک نظیر فلزات یا آلکوکسیدهای شبه فلزی سیلیکون دار هستند می باشد. این مواد که در معرض هیدرولیز در محیط اسیدی قرار می گیرند به هیدروکسیدهای متناظر تبدیل می شوند. این هیدروکسیدها پایدار بوده و مستعد تراکم بیشتری هستند و در نتیجه منجر به تشکیل ذراتی با ابعاد نانو می شوند. شرایط سنتز نانوسل ها نظیر نوع حلال، نوع PH، دما و غلظت بر ساختار و ابعاد اجزا تاثیر بسزایی دارد. در نتیجه ی این واکنش ها پیش ماده به سل تبدیل می شود. سل هایی که به این روش تهیه شدند بر روی الیاف/پارچه ها ته نشین شده و در یک شرایط دمایی فزاینده خشک می شوند و به صورت لایوژل های حاوی فاز مایع متراکم می گردند.

فاز مایع در طول فرایند خشک شدن از بین می رود و یک لایه ی متخلخل بر روی سطح الیاف تشکیل می شود. عمل کردن بیشتر در دمای فزاینده و پلیمریزاسیون تراکمی پیشرفته، این لایه را به یک پوشش ژلی فیزیکی و احتمالاً شیمیایی دارای اتصالات عرضی تبدیل می کند



شکل ۴- تصاویر SEM که در زاویه  $10^\circ$  از پارچه ی پنبه ای پوشش دهی شده با سل اصلاح شده  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  پس از تست سایش به دست آمده است. منطقه ی A شرایط خوب پوشش های تغییر شکل یافته در اثر سایش را نشان می دهد.

### آماده سازی سل ها

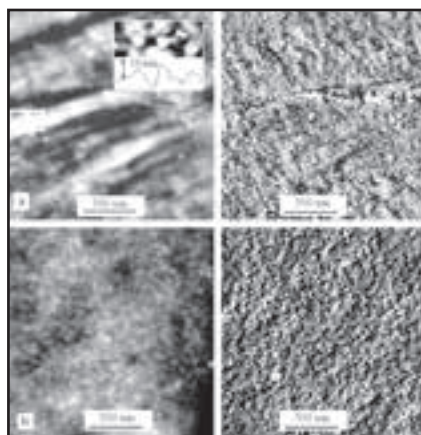
**الف) آماده سازی سل  $\text{SiO}_2$  اصلاح شده با استفاده از GPTMS به عنوان پیش ماده**  
آماده سازی سیلیکاسل اصلاح شده با استفاده از گروه های گلاسیدوکسی موجود در GPTMS در محیط آب-الکل و در دمایی حدود  $80^\circ\text{C}$  هم زمان با هم زدن سریع به مدت ۲ ساعت انجام شد. هم زدن را تا زمانی که یک محلول کلوییدی شفاف حاصل شد ادامه دادیم.

**ب) آماده سازی سل  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بر پایه ی آلومینیوم ایزوپروپوکسید  $\text{Al}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_3$**   
سل  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بر اساس مراحل تعیین شده و با ترکیب ALIPO با مخلوط آب و اتانول (نسبت مولی ۱:۱)، با استفاده از یک هم زن با سرعت بالا به مدت حدود ۲ ساعت و در دمایی  $80^\circ\text{C}$  (نقطه ی جوش اتانول) تهیه شد. با استفاده از اسید هیدروکلریک محلول در PH حدود ۳ نگه داشته می شود. از اندکی پلی وینیل الکل هم به عنوان ماده ی تثبیت کننده استفاده شد. هم زدن تا زمان تشکیل یک محلول کلوییدی شفاف و هموژن ادامه یافت.

**پ) آماده سازی سل هیبریدی اصلاح شده  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$**   
این سل از ترکیب سل های (الف) و (ب) که به شدت در دمایی  $25-30^\circ\text{C}$  هم زده می شود، حاصل شد. سل شفاف و پایدار حاصل پس از این که با آب در نسبت ۱:۲۰ رقیق شد، برای پد کردن روی پارچه مورد استفاده قرار گرفت.

سانتی متر و ۲۱ پود در سانتی متر بود. این پارچه بر اساس استانداردهای صنعتی (شستشوی اولیه/آهارگیری، سفیدگری، شستشو، خشک کردن و تثبیت حرارتی) اما بدون استفاده از هیچ گونه مواد کمکی مورد عملیات تکمیل قرار گرفت. نمونه ها ابتدا در شرایط استاندارد و بر اساس ۶۳۳۰:۲۰۰۲ PN-EN ISO در دمایی  $40^\circ\text{C}$  و به مدت ۳۰ min مورد شستشو قرار گرفتند و سپس در دمایی  $50^\circ\text{C}$  خشک شدند. این پارچه به دلیل درصد بالای الیاف مستحکم و مقاوم در برابر سایش پلی استر، دارای مقاومت سایشی خوبی است.

این پارچه بر اساس تست سایشی مارتیندل در برابر ۴۰۰۰۰ دور سایش مقاوم است که برای هر دو صنعت کفش و پوشاک محافظ مناسب است. البته مشکل مهم و غیر قابل حل قابلیت این نوع از پارچه برای تشکیل پرز است که به ویژه در صنعت کفش مساله ی مهمی محسوب می شود و می تواند در هنگام مصرف مشکل ساز باشد. در مورد پوشاک محافظ نیز باید گفت که پرزدهی زیبایی ظاهری را از بین می برد.



شکل ۳- تصاویر سطح الیاف (a) پنبه (b) پلی استر

### پیش ماده ها

• (۳- گلاسیدوکسی پروپیل) تری متوکسیلان ۹۸٪ (ABCRC GmbH&Co.) (GPTMS) (KG)

• آلومینیوم ایزوپروپوکسید (ABCRC) (ALIPO) (GmbH&Co.KG)

در مورد کاهش ضخامت پوشش زیروزل ته نشین شده بر روی پارچه باید گفت که ضخامت کمتر پوشش بر الاستیسیته، مقاومت برشی و میزان چسبندگی به سطح الیاف اثر مثبت به جا می گذارد. البته باید به خاطر داشت که هرچه ضخامت کمتر باشد، مقاومت سایشی آن ضعیف تر است. در تکمیل سل-ژل بر روی منسوجات باید به این نکته توجه داشت چون با هدف اصلی این پروژه که همان افزایش مقاومت سایشی و حذف پدیده ی نامطلوب تکه شدن پوشش و حفظ خواص پارچه می باشد در تناقض است.

پدیده ی تکه شدن پوشش در حین استفاده از پارچه در مورد پارچه های طراحی شده برای پاپوش ها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است چون در حین مصرف، میکروذرات دارای لبه های تیز به صورت مانعی عمل کرده و پوشیدن کفش یا جوراب را دشوار می کنند و همچنین باعث تحریکات پوستی و حتی حساسیت های پوستی می شود.

با توجه به موارد فوق به نظر می رسد که تکنولوژی به ظاهر ساده ی سل-ژل برای پوشش دهی که برای محافظت پارچه ها در برابر سایش و خوردگی به کار می رود، در عمل مشکلاتی را نیز به همراه دارد و علی رغم نتایج مثبتی که از سوی مراکز مختلف تحقیقاتی گزارش شده است، هنوز نیاز به مطالعه ی بیشتر دارد.

هدف از این تحقیق بهینه کردن خواص عملکردی پارچه های تار ی پودی مخلوط پنبه/ پلی استر از لحاظ مقاومت سایشی و مقامت در برابر پرزدهی آن ها به روش سل-ژل می باشد.

### تجربیات

#### مواد اولیه

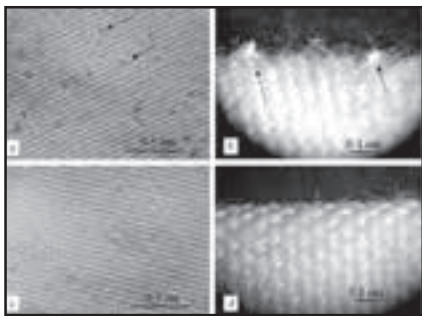
#### پارچه تار ی پودی

در این تحقیق از پارچه ی تار ی پودی پلی استر/ پنبه (۶۷٪ پلی استر و ۳۳٪ پنبه) بافت سرژه و وزن سطحی  $165 \text{ g/m}^2$  (ضخامت  $0.36 \text{ mm}$ ) که برای استفاده در کفی و لایه های کفش به کار می رود، استفاده شده است. نمره ی نخ های تار و پود  $23 \text{ tex}$  و نمره ی رشته ها، ۴۲ تار در



بر اساس مطالعات انجام شده مشخص شد که بیشترین مزایای کاربردی پوشش های زیروژل زمانی حاصل می شود که آن ها را از سل هیبریدی اصلاح شده ی  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  تهیه کرده باشیم. فرضیه سنتز سل هیبریدی با استفاده از دو پیش ماده ی GPTMS و ALIPO و تکنولوژی تولید چنین سلی با در نظر گرفتن این امر که یک سل هیبریدی از این نوع باید دارای قابلیت بالای تشکیل فیلم باشد، شکل گرفت و این خاصیت به دلیل این واقعیت که پارچه ی مورد تکمیل دارای الیاف مختلفی است و الیاف آبگریز پلی استر با سطح صاف و هموار بخش عمده ای از آن را تشکیل می دهند (۶۷٪)، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.

علاوه بر آن پوشش های زیروژل به دلیل شرایط سختی که در هنگام مصرف لباس متحمل می شوند باید دارای الاستیسیته، سختی و مقاومت سایشی بالایی باشند و همچنین این برابر ترک خوردگی مقاوم باشند. همچنین این پوشش ها باید دارای چسبندگی خوبی به سطح هر دو لیف باشند که پیوندهای شیمیایی با الیاف پنبه کمک چشمگیری در این رابطه است. این پیوندها بین گروه های عامل گلاسیدوکسی هیدرولیز نشده که از حلقه ی باز اپوکسی در GPTMS در حین سنتز سل حاصل می شود و گروه های هیدروکسیل در سطح الیاف پنبه ایجاد می شود.

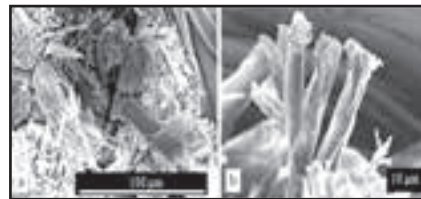


شکل ۶- تصاویر پارچه ها پس از تست پزدهی: (a و b) پارچه ی عمل نشده (فلش ها نشان دهنده ی پز هستند)، (c و d) پارچه های پوشش دهی شده با سل  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  b و d لبه های پارچه خم شده را زیر میکروسکوپ نوری نشان می دهند.

پارچه ی تاری پودی پشمی استاندارد به عنوان ماده ی ساینده استفاده شد. بر اساس استاندارد فوق، آزمایش زمانی پایان یافت که دو نخ در اثر ساییدگی از پارچه ی مورد آزمایش جدا شدند. تعداد دفعات رفت و برگشت سر ساینده که موجب پارگی پارچه می شود نیز محاسبه شد.

### بررسی مقاومت در برابر پرزدهی پارچه های تکمیل شده با نانوپوشش ها

مقاومت در برابر پرزدهی پارچه ها بر اساس استاندارد ۲-۱۲۹۴۵ PN-EN-ISO و با استفاده از ابزار ۸۶۴ Nu-Martindale تولید کمپانی James H.Heal & Co (انگلیس) بررسی شد. فشار ناشی از ساینده ها ۴۱۵ G بود. از یک پارچه ی تاری پودی پشمی استاندارد به عنوان ماده ی ساینده استفاده شد. بر اساس استاندارد فوق آزمایش پس از ۷۰۰۰ دور سایش پایان یافت و سپس با مقایسه با یک نمونه شاهد و از طریق مشاهده ی بصری، مقاومت پارچه در برابر پرزدهی بررسی شد.



شکل ۵- تصاویر SEM پارچه ی پس از تست سایش (a) پارچه پنبه ای اصلاح نشده (رشته رشته شدن الیاف) (b) پارچه ی پنبه ای پوشش دهی شده با سل  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (عدم رشته رشته شدن الیاف)

### بررسی مقاومت پارچه ی تکمیل شده با نانوپوشش ها در برابر شستشو

این آزمایش بر اساس استاندارد PN-EN ISO ۶۳۳۰:۲۰۰۲ و با استفاده از یک ماشین شستشوی استوانه ای FOM MP LAB VASCATOR $\gamma$ ۱ تولید کمپانی الکترولوکس سوئد انجام شد.

### بحث و نتایج

با توجه به شرایط به کارگیری پارچه های تاری پودی در کفش و پوشاک محافظ و همچنین

### آماده سازی پوشش های سل-ژل

ته نشینی سل ها بر روی نمونه های پارچه ای، خشک کردن و حرارت دهی

سل های تشکیل دهنده ی فیلم که حاوی نانوذرات عامل هستند به روش پد کردن و با استفاده از ماشین پد آزمایشگاهی با دو غلتک و موقعیت افقی غلتک های فشارنده تولید کمپانی BENZ سوئیس و تحت شرایط زیر مورد عمل قرار گرفتند:

فشار: ۱۵ kg/cm

نرخ پد کردن: ۱ m/min

برداشت محلول: ۸۵-۷۰٪

پارچه پد شده در دمای ۶۰°C خشک شد و سپس به مدت ۱ min در دمای ۱۶۰°C حرارت دهی شد.

### بررسی سطح الیاف حاوی پوشش سل - ژل ته نشین شده

#### مشاهدات میکروسکوپی سطح الیاف

• میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) ساختار و مورفولوژی سطح الیاف دارای پوشش زیروژل توسط یک میکروسکوپ SEM مدل (JSM LV-۲۵۰۰، Jeol، ژاپن) مورد بررسی قرار گرفت.

#### • میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

ساختار و مورفولوژی سطح الیاف دارای پوشش زیروژل و تغییراتی که در اثر مصرف در آن ها رخ می دهد توسط یک میکروسکوپ نیروی اتمی Nanoscope IIIa تولید کمپانی Digital Instruments (آمریکا) در حالت های تماسی و تماس متناوب مورد بررسی قرار گرفت.

برای بررسی ساختار پوشش های زیروژل توسط میکروسکوپ نیروی اتمی، آن ها را بر روی یک صفحه ی شیشه ای نرم تهیه کردیم.

### بررسی مقاومت سایشی پارچه های تکمیل شده با نانوپوشش ها

مقاومت سایشی نمونه ها بر اساس استاندارد PN-EN-ISO ۱۲۹۴۷-۱:۲۰۰۰+AC:۲۰۰۶ و با استفاده از ابزار ۸۶۴ Nu-Martindale تولید کمپانی James H.Heal & Co (انگلیس) بررسی شد.

فشار ناشی از ساینده ها ۱۲kPa بود. از یک



برای بررسی ساختار پوشش زیروژل به دست آمده با این روش، آن‌ها را به صورت یک فیلم بر روی یک صفحه‌ی شیشه‌ای صاف تهیه کردیم. مشاهدات میکروسکوپ نیروی اتمی حضور ذرات بی‌شمار  $Al_2O_3$  با اندازه‌ی حدود  $15\text{nm}$  را که به طور منظم و با قاعده در شبکه‌ی اصلاح شده‌ی  $SiO_2$  توزیع شده‌اند و یک پوشش مداوم را روی سطح فیلم تشکیل داده‌اند، تایید می‌کند (شکل ۱). سل هیبریدی  $SiO_2/Al_2O_3$  سنتز شده به این روش و رقیق شده با آب (۱:۲۰) برای پد کردن بر روی پارچه‌ی پنبه/پلی‌استر در شرایط مذکور به کار می‌رود.

سپس پارچه در دمای  $60^\circ\text{C}$  خشک می‌شود و پس از آن عملیات حرارتی در دمای  $160^\circ\text{C}$  و به مدت  $1\text{min}$  انجام می‌گردد. فرض بر این است که اعمال بالاترین دمای مجاز (به نحوی که باعث صدمه به الیاف نشود) تشکیل اتصالات عرضی پوشش زیروژل را شدت می‌بخشد و در نتیجه سختی و مقاومت سایشی آن را افزایش می‌دهد.

این امر تاثیر مثبتی بر تشکیل پیوندهای شیمیایی بین پوشش مورد نظر و سطح الیاف پنبه به جای می‌گذارد و در نتیجه اتصال پوشش-الیاف را افزایش می‌دهد.

پارچه‌ی عمل شده توسط میکروسکوپ نیروی اتمی و میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد بررسی قرار گرفت، همچنین تست مقاومت در برابر سایش و پرزدهی مارتیندل نیز روی آن انجام شد.

مشاهدات میکروسکوپی نشان داده است که سل هیبریدی اصلاح شده‌ی  $SiO_2/Al_2O_3$  می‌تواند به صورت یک پوشش زیروژل نازک و الاستیک روی الیاف پنبه و پلی‌استر ته نشین شود.

این پدیده در تصاویر SEM (شکل ۲.a) و تصاویر AFM با بزرگ‌نمایی بیشتر (شکل ۳) نشان داده شده است. الاستیسیته‌ی بالای این پوشش‌های زیروژلی بر روی الیاف پلی‌استر (شکل ۲.a) و پنبه (شکل ۲.b) در تصاویر SEM قابل مشاهده است.

این تصاویر نشان می‌دهد که سل‌های

هیبریدی اصلاح شده  $SiO_2/Al_2O_3$  دارای قابلیت تشکیل فیلم و ایجاد یک پوشش یکنواخت و الاستیک بر روی الیاف هستند و هیچ‌گونه ترک خوردگی یا شکستگی نیز بر روی آن‌ها به چشم نمی‌خورد. این پوشش با الاستیسیته بالا امکان جابجایی الیاف را نیز تا حدی آسان می‌کند که تاثیر مثبتی بر مقاومت سایشی و استحکام کششی الیاف به جا می‌گذارد. پوشش دهی خوب سطح الیاف پنبه توسط پوشش زیروژل نیز در تصاویر SEM قابل مشاهده است (شکل ۴).

این تصاویر سطح الیاف را پس از تست سایش نشان می‌دهند. پوشش‌های محافظ زیروژل حتی پس از قرارگیری طولانی مدت در معرض تست سایش دست نخورده باقی می‌مانند و تنها اندکی تغییر شکل پیدا می‌کنند (منطقه A در شکل ۴.a و ۴.b).

علاوه بر آن در پارچه‌های عمل نشده، الیاف پنبه در اثر سایش رشته رشته می‌شوند (شکل ۵.a) در حالی که در پارچه‌های تکمیل شده با پوشش زیروژل هر کدام از الیاف پنبه توسط یک پوشش محافظ پایدار احاطه می‌شوند و انتهای الیاف بدون هیچ علامتی از رشته رشته شدن، آسیب ندیده باقی می‌مانند (شکل ۵.b).

تست سایش انجام شده اثر محافظتی پوشش‌های زیروژل را تایید می‌کند. مقاومت سایشی پارچه پس از انجام این تکمیل از  $40000$  دور به حدود  $55000$  دور رسید و حدود  $38\%$  افزایش یافت. این اثر پس از  $5$  بار شستشو در شرایط استاندارد بدون تغییر باقی می‌ماند.

لازم به ذکر است که افزایش مقاومت سایشی پارچه‌های مخلوط پنبه/پلی‌استر در درجه‌ی اول از ضد سایش بودن الیاف نرم پنبه ناشی می‌شود. نه الیاف سخت پلی‌استر که حتی بدون پوشش زیروژل نیز مقاومت سایشی بالایی از خود نشان می‌دهند.

تکمیل پوشش دهی علاوه بر افزایش چشمگیر مقاومت سایشی پارچه، مقاومت در برابر پرزدهی را نیز تا حد زیادی بهبود می‌بخشد. آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که سطح مقاومت‌ها از ۲-۳ در پارچه‌های عمل نشده به بالاترین سطح یعنی ۵ (نشان دهنده‌ی سطح صاف یک

پارچه بدون هیچ علامتی از سایش است)، در پارچه‌های تکمیل شده رسید. مقاومت بسیار خوب پارچه‌های پوشش دهی شده با سل  $SiO_2/Al_2O_3$  در برابر پرزدهی که با استفاده از تست مارتیندل (۷۰۰ دور) بررسی شد در شکل‌های ۶.c و ۶.d و پارچه‌ی عمل نشده در شکل ۶.a و ۶.b نشان داده شده است.

### نتیجه گیری

۱- نتایج حاصل از این تحقیق صحت هر دو فرضیه‌ی سنتز هیبرید اصلاح شده‌ی  $SiO_2/Al_2O_3$  و شرایط به کارگیری آن‌ها-تکنولوژی ته‌نشین شدن پوشش‌های زیروژل بر الیاف پلی‌استر و پنبه را تایید می‌کند.

۲- پوشش‌های زیروژل تشکیل شده بر روی سطح الیاف، پوششی مداوم و یکنواخت را تشکیل می‌دهند و دارای الاستیسیته‌ی بالا و مقاومت در برابر ترک خوردن می‌باشند، همچنین اتصال خوبی با سطح الیاف ایجاد می‌کنند و حتی پس از  $5$  بار شستشو تغییر در خواص آن‌ها ایجاد نمی‌شود.

۳- مقاومت بالای پارچه‌های عمل شده در برابر سایش و پرزدهی و پایداری هنگام مصرف و شرایط نگهداری آن (حتی پس از فرایندهای متوالی شستشو) توسط آزمایش مارتیندل مشخص شد و از روی تصاویر حاصل از SEM و AFM تایید گردید.

۴- سنتز سل هیبریدی اصلاح شده  $SiO_2/Al_2O_3$  و شرایط ته‌نشین شدن آن بر روی الیاف برای تشکیل پوشش‌های زیروژل پایدار و موثر به تحقق صنعتی شدن تکمیل پوشش‌دهی منسوجات پنبه/پلی‌استر به روش سل-ژل برای کاربردهای مختلف به ویژه کفش و پوشاک محافظ کمک می‌کند.

### مرجع

“nanocoat finishing of polyester/cotton fabrics by the sol-gel method to improve their wear resistance”, *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2011, Vol.19, No.6(89)