



نانوکامپوزیت‌ها؛ پارچه‌های خود ضد عفونی کننده

ویروس کووید-۱۹ کمک کنند. به گزارش مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌های آمریکا (CDC)، از ۱۸ مارس ۲۰۲۲ بیش از یک میلیون نفر از کادر درمان به کووید-۱۹ مبتلا شده‌اند.

بر اساس مطالعه‌ای که نشان می‌دهد نرخ آلودگی باکتریایی یک یونیفرم تازه تمیز شده پس از هشت ساعت شیفت مشابه روپوش پزشکی است که به ندرت شسته می‌شود، ثابت شد که عملکرد مواد تمیز کننده و ضد عفونی کننده در جلوگیری از سرایت عوامل بیماری‌زا ناکافی می‌باشد.

شیوع پاندمی کووید-۱۹ باعث افزایش میزان عفونت‌های بیمارستانی شده است برای مثال در سال ۲۰۲۰ عفونت جریان خون مرتبط با کاتتر ورید مرکزی (CLABSI)، عفونت دستگاه‌های ادراری مرتبط با کاتتر (CAUTI) و پنومونی مرتبط با ونتیلاتور به ترتیب ۴۷، ۱۹ و ۴۵ درصد افزایش یافته است. علاوه بر آن بر اساس گزارش CDC عفونت‌های مرتبط با استافیلوکوکوس اورئوس مقاوم به متی‌سیلین (MRSA) نیز در سال ۲۰۲۰ بیشتر شده است. این موضوع می‌تواند برای مکان‌هایی مانند خانه‌های سالمندان که در آن‌جا عفونت‌های تنفسی، عفونت‌های مجاری ادراری، گاستروانتریت، سپسیس

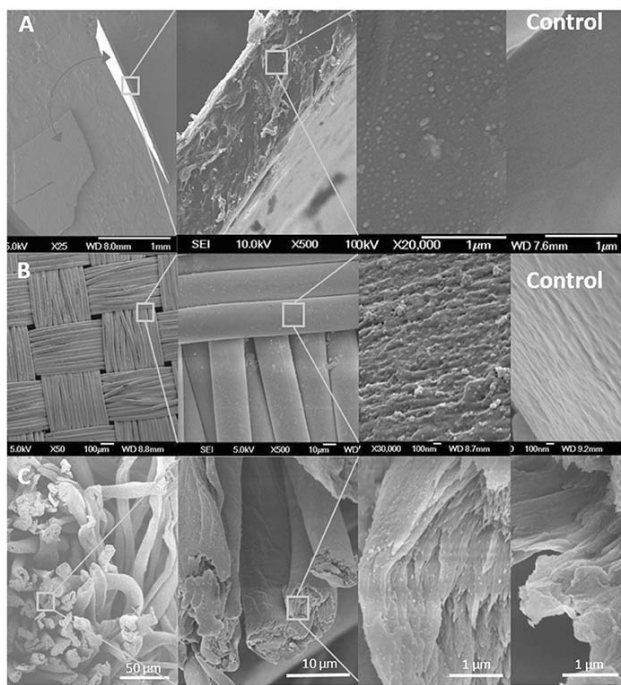
تناقض موجود در بستری شدن افراد در بیمارستان این است که مکانی که بیمار برای به دست آوردن سلامت خود به آن مراجعه می‌کند، خود می‌تواند باعث بیماری او شود!

عفونت‌های بیمارستانی یکی از تهدیدهای مهم سلامت عمومی در ایالات متحده آمریکا به شمار می‌روند. از هر ۳۱ بیمار یک نفر در طول دوران بستری یا پس از مرخص شدن از بیمارستان دچار عفونت بیمارستانی می‌شود.

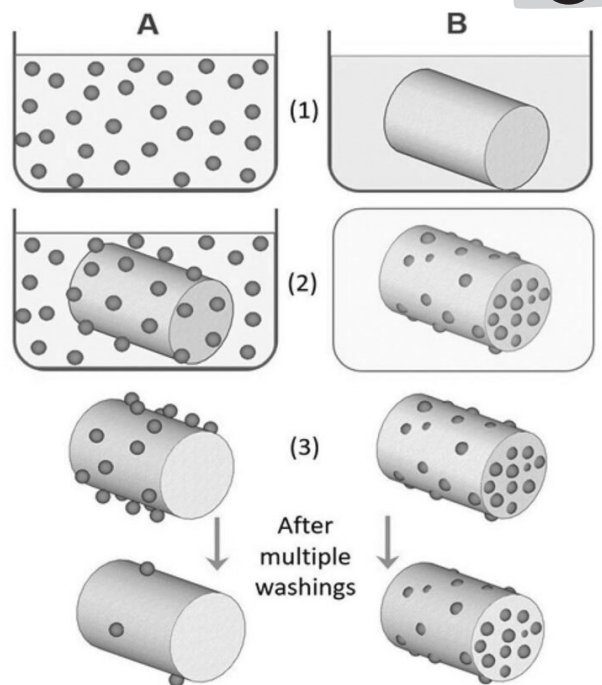
با استفاده از فناوری جدید CRESOCOATING می‌توان پارچه‌های خود ضد عفونی کننده تولید کرد. این پارچه‌ها به همان اندازه که برای محیط بی‌خطر هستند برای افراد نیز ایمن بوده و باعث کاهش چشمگیر عفونت‌های بیمارستانی و در پی آن نجات جان بسیاری از افراد و همچنین میلیاردها دلار صرفه‌جویی در سال می‌شوند.

تشدید عفونت‌های بیمارستانی در پی شیوع کووید

در بیمارستان‌ها منسوجات زیادی وجود دارد نظیر یونیفرم پرسنل، گان بیماراران، روتختی، فرش، مبلمان، حوله و پرده که همه آنها می‌توانند محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها باشند و به گسترش عفونت‌های بیمارستانی از جمله



شکل ۲- تصاویر SEM از نانو کامپوزیت‌های پلیاستیکی تولید شده به روش «رشد مستقیم در محل». (A) فیلم نانو کامپوزیت روی پلی یورتان. فلش آبی نشان‌دهنده دو تکه از فیلم نازک نانو کامپوزیت است. تصاویر واضح شده از مقطع عرضی فیلم نشان‌دهنده حضور نانوذرات روی درون فیلم است. (B) نانو کامپوزیت‌های روی-نایلون درون الیاف نایلون تعبیه شده‌اند. (C) نانو کامپوزیت نقره-پلی استر/پنبه.



شکل ۱- مقایسه (A) فرایند متداول غوطه‌وری-پوشش دهی با (B) فناوری حرارتی کرسکوتینگ. (A) فرایند تر سنتز نانوذرات با احیای شیمیایی (۱)، غوطه‌وری-پوشش دهی منسوج در نانوذرات (۲)، شستشو و خشک کردن (۳). (B) آغشته‌سازی منسوج به محلول پیش ماده (۱)، احیای حرارتی با حرارت دهی منسوج در دمای ۱۰۰°C (۲)، شستشو و خشک کردن (۳).

۴ روی به سلامت انسان و محیط زیست آسیبی وارد نمی‌کند ثابت شده است که منسوجات پوشش دهی شده با نانوذرات فلزی دارای خواص ضد میکروبی هستند اما به دلیل آلوده کردن محیط زیست و از دست دادن عملکرد خود چندان در بخش سلامت و بهداشت مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

با این حال منسوجات تهیه شده از نانو کامپوزیت روی این مشکلات را ندارند. این منسوجات ضد حساسیت و غیر سمی بوده و عملکرد ضد میکروبی خود را تا پایان عمر پارچه حفظ می‌کنند و در ضمن برای تولید آنها نیاز به سرمایه چندان نیست. با استفاده از فرایند جدید کرسکوتینگ (شکل ۱) که در دانشگاه مینه سوتا توسعه یافته می‌توان منسوجات فوق را تولید کرد.

در این فرایند نانوذرات روی به طور مستقیم بر روی توده مواد اولیه پلیمری و درون آنها رشد داده می‌شوند تا نانو کامپوزیت‌های بادوام و ایمن را ایجاد کنند (شکل ۲). منسوجات تهیه شده از نانو کامپوزیت روی به طرز بی نظیری قادر به حفظ نانوذرات درون خود بوده و حتی پس از صد بار شستشو دست نخورده باقی می‌مانند که یعنی منسوجات به هیچ وجه عملکرد ضد میکروبی خود را از دست نداده و نانوذرات نیز وارد پساب‌ها نمی‌شوند.

یکی دیگر از مزایای فناوری کرسکوتینگ این است که می‌توان آن را به خوبی بر روی منسوجات طبیعی و مصنوعی به کار گرفت (شکل ۱). فلزات نشان داده‌اند که دارای خواص ضد میکروبی زیادی هستند. در این مورد خاص از روی به عنوان فلز ضد میکروب استفاده شده چون این ماده از سوی سازمان غذا و داروی

و بیماری‌های پوستی بعضی از مهم‌ترین عوامل مرگ و میر هستند و عوامل بیماری‌زای مقاوم به دارو را شامل می‌شوند، مشکل ساز باشد. لازم است تا مراقبت بیشتری در برابر این عفونت‌های مرگ‌زا از پرسنل و افراد ساکن به عمل آورده شود.

۴ نانوذرات نقره سمی و بی دوام

استفاده از نانوذرات نقره در صنعت نساجی به دلیل خاصیت ضد میکروبی آنها دارای روند افزایشی بوده است. سهم منسوجات ضد میکروبی حاوی نقره از بازار از ۹ درصد در سال ۲۰۰۴ به ۲۵ درصد در سال ۲۰۱۱ رسید و به تدریج جایگزین ترکیبات ارگانیک مصنوعی شد.

متداول ترین روش‌های قرار دادن نانوذرات اکسید فلز و فلز در منسوجات روش اسپری کردن محلول نانوذرات، ته نشینی لایه به لایه با پلیمرها یا پلی الکترولیت‌ها، پوشش دهی سونوشیمیایی، ته نشینی پلاسما و الکتروریسی است. مشکل اینجاست که سطوح پوشش دهی شده در معرض شسته شدن قرار دارند. انتشار نانوذرات نقره در شستشوی اول ۸۰ درصد می‌باشد.

علاوه بر آن نقره نشانه‌هایی از سمی بودن را در سیستم‌های زیست محیطی از خود نشان داده و همچنین باعث ایجاد اختلال در فرایند تکمیل بیولوژیکی کارخانجات تصفیه پساب‌های صنعتی و شهری شده است.



	Nylon cotton		Silk		Polyester	
	Control	Treated	Control	Treated	Control	Treated
Pseudomonas aeruginosa (Gram -)						
Methicillin resistant Staphylococcus aureus (Gram +)						

شکل ۳- تصاویر منتخب از صفحات کشت سلولی مورد استفاده در تست ضد میکروبی از طریق شمارش سلولی برای نمونه های شسته شده با محلول ۱۰۵X رقیق شده پس از ۲۴ ساعت.

مقایسه با محصولات متداول که به صورت سطحی پوشش دهی شده اند، می شود چون منسوجات متداول با گذشت زمان و شستشو نانوذرات خود را از دست می دهند.

۴ عملکرد ضد میکروبی نزدیک به صد درصد در آزمایشات

برای بررسی خواص ضد میکروبی و ضد قارچی پلی استر، ابریشم و ترکیب ۵۰:۵۰ نایلون-پنبه که فرایند کرسکو تینگ بر روی آن ها انجام شده بود از روش تست ۲۰۰۴-۱۰۰ انجمن AATCC استفاده شد.

نتایج به دست آمده به دو دسته تقسیم شد: تست "پیش از شستشو" که بر روی نمونه هایی که بلافاصله پس از انجام فرایند بر روی آن ها در ماشین شسته شده بودند انجام شد و تست "پس از شستشو" که توسط یک شرکت ثالث بر روی نمونه ای که چندین بار مورد شستشو قرار گرفته بودند، انجام شد.

پارچه مورد آزمایش ترکیب نایلون/پنبه بوده و آزمایش نیز بر روی گونه های باکتریایی استافیلوکوکوس آرتوس (گرم مثبت) و کلبسیا پنومونیه (گرم منفی) و گونه های قارچی کاندیدا آلیبکانس (CA) انجام شده است.

تست ضد میکروبی پیش از شستشو، پارچه مورد آزمایش به سوسپانسیون باکتری در محیط مغذی آغشته و آبکشی شد. یک سری از پارچه ها دوره نهفتگی نداشتند و یک سری دارای دوره نهفتگی ۲۴ ساعته بودند.

محلول پاک شده از روی نمونه پارچه ای به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس بر روی پلیت قرار گرفت تا دوران نهفتگی آن سپری شود. با شمارش کلونی ها بر روی پلیت میزان رشد باکتریایی تعیین شد (شکل ۳).

برای بررسی عملکرد منسوج در مقابل قارچ کاندیدا آلیبکانس نیز از روش مشابهی استفاده شد. هرچند که بر اساس توصیه AATCC آزمایشات ضد قارچی و ضد باکتریایی منسوجات با هم متفاوت است اما چرخه رشد کاندیدا آلیبکانس مشابه باکتری می باشد که باعث می شود بتوان برای بررسی ضد قارچی بودن منسوج از نسخه اصلاح شده روش ۲۰۰۴-۱۰۰ AATCC استفاده کرد. بهترین و یکنواخت ترین نتایج، نتایج به دست آمده از نمونه هایی بود که دوره نهفتگی ۲۴

آمریکا (FDA) به عنوان ماده افزودنی مجاز (GRAS) شناخته شده و استفاده از آن در محصولات تجاری از مواد غذایی گرفته تا مواد آرایشی رایج است. روی یک انتخاب دوستدار محیط زیست بوده چون آسیبی به سلامت انسان و محیط زیست وارد نمی کند.

هنوز در مورد این که چرا نانوذرات روی در مقابله با میکروب های خطرناک تا این حد موثر عمل می کنند مطالعه دقیقی صورت نگرفته است. با این حال مطالعات پیشین نشان می دهد که خواص فتوکاتالیستی آنها باعث تولید پراکسید هیدروژن می شود که قابلیت نفوذ به غشای میکروب ها و کشتن آنها را دارد. در مورد تاثیر ضد میکروبی این منسوجات بر روی عوامل بیماری زای قارچی مطالعات کمتری انجام شده است. با این وجود نتایج آزمایشات نشان می دهد که این منسوجات نانوکامپوزیتی جدید به شدت در مواجهه با قارچ های بیماری زا موثرند.

۴ سادگی فرایند کرسکو تینگ، دوام آن را نقض می کند

فناوری اختصاصی کرسکو تینگ کمپانی CLAROS TECHNOLOGIES بسیار متنوع است.

این فرایند را می توان بر روی پارچه های مختلفی از جمله ابریشم، پلی استر مصنوعی، ترکیب نایلون-پنبه و پلی استر-پنبه به کار گرفت. نخستین مرحله غوطه ور کردن منسوجات درون یک محلول یونی آبی از نمک روی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق است.

پس از آن به مدت ۴ ساعت درون یک آون در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حرارت دهی می شوند تا آب تبخیر شده و تشکیل دانه و هسته زایی نانوذرات انجام شود. اندازه ذرات بین ۵ تا ۵۰۰ نانومتر است. رسوبات تشکیل شده نیز با انجام شستشو مطابق با دستورالعمل انجمن رنگرزان و شیمیدانان نساجی آمریکا (AATCC) یعنی روش ^۱LP: HOME LAUNDERING از روی منسوج پاک می شوند.

فناوری کرسکو تینگ باعث افزایش دوام و طول عمر منسوجات نانوکامپوزیتی در



Sample	% Reduction after 0 h			% Reduction after 24 h		
	PA	MRSA	CA	PA	MRSA	CA
Nylon cotton	72.5	47.85	55.63	> 99.9999 (> 6 log10)	> 99.999 (> 5 log10)	> 99.99 (> 4 log10)
Silk	32.5	90.39 (> 1 log10)	46.3	> 99.9999 (> 6 log10)	99.9999 (6 log10)	> 99.999 (> 5 log10)
Polyester	75	NA	60.32	98.35 (> 1 log10)	99.9999 (6 log10)	> 99.999 (> 5 log10)

جدول ۱- درصد کاهش میکروبی منسوجات تهیه شده از نانوکامپوزیت روی در مقابل سودوموناس آنروژینوزا (PA)، استافیلوکوکوس آرنوس مقاوم به منیسیلین (MRSA) و کاندیدا آلیکانس (CA) پس از صفر ساعت نهفتگی (شستشوی فوری) و پس از ۲۴ ساعت نهفتگی (منسوجات نانوکامپوزیتی روی یک بار و به عنوان بخشی از فرایند تولید مورد شستشو قرار می گیرند تا ذرات آزاد از روی آن ها جدا شود؛ کاهش میکروبی از نظر میزان میکروب های ورودی برای بعضی از نمونه ها رخ داده است).

پنبه‌ای مقادیر مختلفی از رسوب مشاهده شد که علت آن می تواند تفاوت در سایز لیاف و فرایندهای آماده سازی باشد. پارچه پنبه ای عمل شده با نانوکامپوزیت روی صد بار مورد شستشو قرار گرفت. این نمونه ها برای مقابله با باکتری استافیلوکوکوس اورئوس گرم مثبت و بر اساس روش آزمایش ۱۰۰ AATCC مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از نمونه ها نشان دهنده کاهش ۹۹/۹۹۹ درصدی باکتری، ماندگاری و طول عمر بیشتر در مقایسه با سایر منسوجات ضد میکرب بوده است.

۴ منسوجات تهیه شده از نانوکامپوزیت روی ضد حساسیت هستند ضد میکروبی بدون و سمی نبودن منسوجات تهیه شده از نانوکامپوزیت روی ثابت شد اما تحریک شدن پوست بدن توسط این منسوجات نیز باید مورد بررسی و آزمایش قرار می گرفت. کمپانی EVALULABS تست HUMAN REPEAT INSULT PATCH TEST را بر روی این منسوجات انجام داد تا مشخص کند که آیا استفاده از آنها به عنوان لباس برای پوست ایمن است یا خیر. این آزمایشات پس از رضایت آگاهانه از سوی ۵۰ فرد و با نظارت متخصص پوست انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که این پارچه ها ضد حساسیت بوده و باعث ایجاد تحریکات پوست نمی شوند. آینده برای منسوجات ضد میکروبی مورد استفاده در بخش سلامت همین حالا است فناوری کرسکو تینگ یک فرایند نوید بخش برای تولید منسوجات نانوکامپوزیتی روی است که باعث از بین بردن بیشتر از ۹۹/۹۹۹ درصد قارچ ها و باکتری ها می شود. این منسوجات ضد حساسیت بوده و عملکرد ضد میکروبی خود را پس از صد بار شستشو از دست نمی دهند. نکته مهم دیگر در ارتباط با آنها ایمن بودن روی برای انسان ها و محیط زیست است. این واقعیت که فناوری کرسکو تینگ نیازمند سرمایه گذاری زیاد نیست به این معناست که به کارگیری فرایند جدید در ابعاد گسترده عملی می باشد. استفاده از پارچه های تهیه شده از نانوکامپوزیت ها در مراکز پزشکی و خانه های سالمندان برای مثال گان های جراحی برای مقابله با عفونت های بیمارستانی و سرایت بیماری بسیار فوق العاده به نظر می رسد.

مرجع:

John Brockgritens, "Nanocomposites: Self-disinfecting Fabrics", International Fiber Journal, March 2023

تهیه و تنظیم: مهندس آزاده موحد

ساعته را سپری کرده بودند. این نتایج کاهش میکروبی چشمگیری از ۹۸ درصد تا بیش از ۹۹/۹۹۹ درصد را در نمونه های تهیه شده از نانوکامپوزیت روی در مقایسه با نمونه های عمل نشده نشان می داد. درصدهای به دست آمده مساوی یا بیشتر از مقادیر گزارش شده برای پارچه های پنبه ای عمل شده با نانوذرات نقره یا عمل شده با سیلوکسان سولفو پروپیل بتابین برای مقابله با استافیلوکوکوس آرنوس گرم مثبت و باکتری گرم منفی بوده است. تست ضد میکروبی پس از شستشو. پارچه پنبه- پلی استر تهیه شده از نانوکامپوزیت روی بر اساس روش شستشوی خانگی AATCC، ۵۰ بار در ماشین مورد شستشو قرار گرفت و خواص ضد باکتریایی آن توسط آزمایشگاه VARTEST LABORATORIES بررسی شد. میزان کاهش باکتری در این منسوج بیش از ۹۹/۹۹۹ درصد برای هر دو باکتری کلسیا پنومونیه و استافیلوکوکوس آرنوس پس از ۲۴ ساعت نهفتگی و حتی پس از ۵۰ بار شستشو (جدول ۱) بوده است.

۴ تایید ماندگاری بی نظیر عملکرد منسوجات توسط آزمایشگاه شخص ثالث کمپانی PACE ANALYTICAL که یک آزمایشگاه شخص ثالث است، قابلیت نگهداری نانوذرات روی را درون منسوج پس از چندین بار شستشو مورد بررسی قرار داد. نمونه های مختلفی از پارچه های پنبه ای نانوکامپوزیتی در معرض روش آیشویی باران مصنوعی (SPLP) قرار گرفتند.

این پارچه ها یک بار پس از تولید به منظور جدا کردن نانوذرات رها از روی سطح آنها مورد شستشو قرار گرفتند. مطالعات نشان داد که برای یکی از نمونه های پنبه ای بالاترین میزان جدا شدن روی از پارچه که ۱۰۶۰۰۰ میکروگرم در لیتر بود، درست پس از اولین شستشوی بعد از تولید رخ داد.

در آزمایشات بعدی که بر اساس روش EPA ۳۰۱۰A و EPA ۶۰۱۰B بود، شستشوی نانوذرات روی از روی پارچه ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این آزمایشات نشان داد که میزان جدا شدن روی پس از هر بار شستشو بسیار کمتر بود. طبق آزمایش های انجام شده ثابت شد که پارچه های نانوکامپوزیتی تولید شده به روش کرسکو تینگ بسیار بادوام هستند. بالاترین غلظت رسوب اولیه بسیار پایین تر از ۲۵۰۰۰۰ میکروگرم در لیتر بود که حد آستانه مجاز غلظت محلول (STLC) در کالیفرنیا است. می توان با توجه به این محدوده نتیجه گرفت که غلظت رسوب روی پس از هر بار شستشو آن قدری نیست که برای سلامت انسان و محیط زیست خطرناک باشد. در سه نوع مختلف پارچه