نانو تکنولوژی

تاثیر نانوذرات sio_2 بر روی مقاومت سایشی فیلم‌های نشاسته‌ای

مترجم:آزاده موحد

چکیده

استفاده از نانوذرات برای بهبود خواص مواد پلیمری روز به روز در حال افزایش است. در این تحقیق نانوذرات sio_2 به نشاسته‌ی مورد استفاده در آهار نساجی اضافه شد. با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت سایشی تاثیر محتوای نانوذرات sio_2 بر خواص سایشی فیلم نشاسته بررسی شد. برای درک بهتر مکانیزم سایش، سطح مورد نظر توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی(SEM)، میکروسکوپ نیروی اتمی(AFM)و یک میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی زیاد مشاهده شد. نتایج نشان داد که زمانی که محتوای نانوذرات sio_2 حدود ۳ درصد باشد بهترین مقاومت سایشی حاصل می‌شود. مکانیزم مقاومت سایشی فیلم‌های نشاسته‌ای حاوی نانوذرات sio_2 نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مقدمه

نخ‌های فیلامنتی یا ریسیده شده بایددر برابر تنش‌های بافندگی محافظت شوند. این محافظت از طریق مواد آهاری که در آب حل شده است و روی نخ به‌کار گرفته می‌شود تامین می‌گردد. ماده‌ی آهاری با تشکیل یک لایه فیلم نازک نخ‌ها را احاطه کرده و کارایی بافندگی و مقاومت سایشی آن‌ها را بهبود می‌بخشد. بنابراین آهارزنی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مقدمات بافندگی می‌باشد. سه نوع آهار کاربرد گسترده‌ای در صنایع نساجی دارند که عبارتند از آهار نشاسته، پلی وینیل استات(PVA) و اکریلیک. مواد بر پایه‌ی نشاسته معمولا به علت فراوانی، قیمت پایین، چسبندگی خوب به الیاف طبیعی و آلایندگی کمتر برای محیط زیست مورد استفاده‌ی بیشتری قرار می‌گیرند. اغلب برای بهبود کارایی نشاسته، PVA هم به علت استحکام بالایی که دارد به آن افزوده می‌شود. به‌هرحال افزودن PVA هم مشکلات خود را دارد نظیر آلایندگی و سختی آهارگیری. گسترش انواع جدیدی از مواد آهاری که دارای خصوصیات سفتی، چسبندگی و نرم‌کنندگی فیلم‌های آهاری بوده و بتوانند کاملا و یا تا حدی جایگزین PVA شوند از بحث‌های چالش برانگیز در صنعت نساجی می‌باشد. نانوتکنولوژی-مهندسی کاربرد مواد در مقیاس ملکولی و یا حتی اتمی-راههای جدید پیشرفت در صنایع نساجی را می‌گشاید.

کلید درک پتانسیل نانوتکنولوژی همچنان توانایی سرهم کردن و تولید ابزار و ساختارهایی در مقیاس نانو با ابعاد کوچک‌تر از ۱۰۰nm می‌باشد. در چنین مقیاس‌هایی خواص مواد اولیه نظیر رنگ، استحکام،رسانایی و واکنش‌پذیری به علت اثر سطحی یا کوانتومی می‌تواند تفاوت‌های اساسی بین مقیاس‌های نانو و ماکرو داشته باشد. اکثر محصولات مصرفی در مقیاس نانو در دسته‌ی نانوذرات قرار می‌گیرند. امروزه نانوذرات در محدوده‌ی وسیعی از صنایع کاربردهای مهمی پیدا کرده‌اند. در سال‌های اخیر سنتز مخلوط پلیمر/نانوذرات گسترش زیادی یافته است. زمانی که نانوذرات سرامیکی باشند، مواد اولیه‌ی ترکیب فوق این مزیت را دارند که یک ماده‌ی اولیه‌ی سرامیکی به یک پلیمر آلی متصل می‌شود و ماده‌ای را ایجاد می‌کند که می‌تواند مانند پلی بین دو سیستم عمل کند.

در این تحقیق نانوذرات sio_2 با نشاسته مخلوط شدند تا کارایی آهار افزایش پیدا کند. با استفاده از تست اندازه‌گیری مقاومت سایشی، مقاومت فیلم‌های نشاسته/ sio_2 بررسی شد. به منظور آنالیز مکانیزم مقاومت سایشی،

مورفولوژی سطحی فیلم توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی، میکروسکوپ نیروی اتمی و میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی زیاد مشاهده شد. انتظار می‌رفت که نانوذرات را بتوان در مواد آهاری برای جایگزینی PVA به‌کار برد.

بخش تجربی

آماده‌سازی نمونه

در این تحقیق از نانوذرات sio_2 محصول کمپانی انحصاری نانوتکنولوژی Jiangsu Hehai استفاده شد. میانگین قطر آن کمتر از ۳۵nm با سطح بیش از $400 m^2/g$ و خلوص بیش از ۹۹/۵ درصد بود. برای عمل‌آوری نانوذرات از سدیم هگزامتا فسفات در آب دی‌یونیزه شده حل شد و سپس نانوذرات به آن اضافه شدند. درصد نانوذرات sio_2 مورد استفاده به ترتیب ۰/۱٪، ۰/۲٪، ۰/۳٪، ۰/۴٪، ۰/۵٪ و ۰/۶٪ وزنی بود. دیسپرس شدن نانوذرات نیز با مخلوط‌کن مافوق صوت و به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد، فرکانس مخلوط کن مافوق صوت ۵۹ kHz و قدرت آن $0/2 w/m^3$ بود.

نشاسته‌ی مورد استفاده در این تحقیق نشاسته‌ی اصلاح شده‌ی محصول کمپانی Zaozhuan Xiangyu بود. این نشاسته‌ی سفید پودری با محتوای خاکستر کمتر از ۳/۵ درصد بود.

میزان PH مربوط به ۴۰ درصد نشاسته‌ی شیر ۶/۵-۷/۵ و محتوای آب آن کمتر از ۱۴/۰ درصد بود. این نشاسته با سوسپانسیون آب/نانوذرات sio_2 مخلوط شد. غلظت مخلوط در حدود ۶ درصد کنترل شده و ثابت نگه داشته شد. ماده‌ی آهاری مخلوط شده تا $95^{\circ}c$ حرارت داده شد و سپس با سرعت ۱۲۰r.p.m به مدت یک ساعت هم‌زده شد تا کاملا حالت ژلاتینه پیدا کند. سپس آهار ژلاتینی شده تا $50^{\circ}c$ خنک شد.

میزان ۴۰۰ml از آهار روی یک بشقاب شیشه‌ای ریخته شد تا تشکیل فیلم دهد. میانگین ضخامت فیلم ۰/۱۰۶mm بود. پس از این مرحله فیلم در دمای $20^{\circ}c$ و رطوبت ۶۵درصد خشک شد. سپس فیلم‌های آماده سازی شده قبل از انجام آزمایش به مدت ۲۴ ساعت در دمای $20^{\circ}c$ و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفت.

تست مقاومت سایشی

فیلم‌ها با ابعاد ۲۲۰×۱۰ mm برش داده شدند. برای بررسی مقاومت سایشی از دستگاه Zweigle (۵۵۲G) دارای صفحه‌ی شنی با اندازه‌ی مش ۸۰۰ و در فشار ۲۵۰g استفاده می‌شود. برای هر کدام از فیلم‌ها ۱۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. خواص سایشی از طریق فرمول زیر محاسبه شد. میزان پایین‌تر سایش نشان دهنده‌ی مقاومت سایشی بیشتر است:

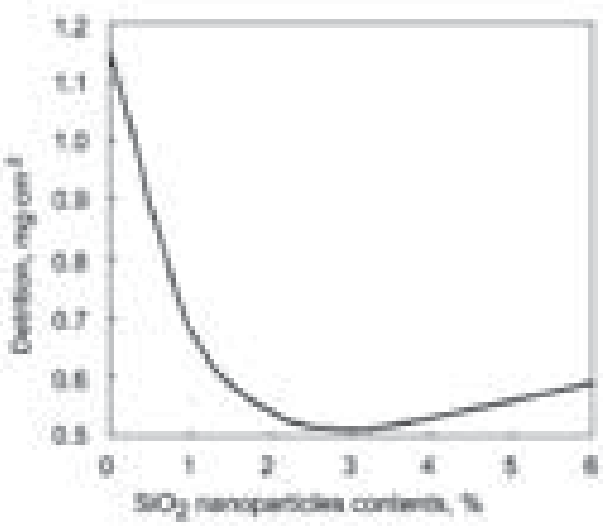
$$G=(m_0-m_1)/s$$

G،ساییدگی بر حسب mg/cm^2، m_0 وزن نمونه قبل از سایش بر حسب mg و m_1 وزن نمونه بعد از سایش بر حسب mg است. S هم سطح مورد سایش بر حسب cm^2 می‌باشد.

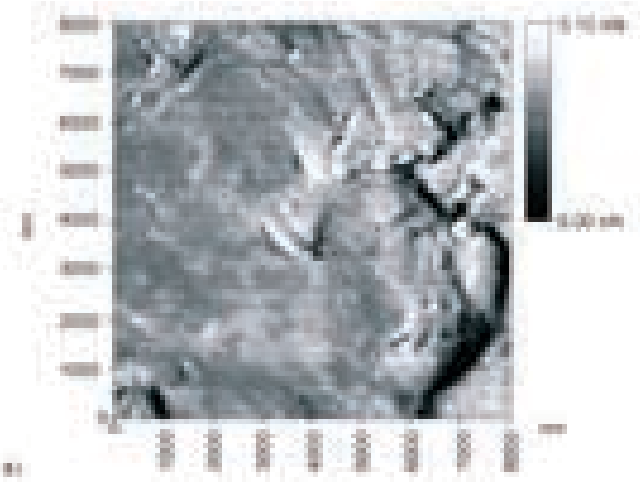
تشریح خصوصیات سطحی

نمونه‌های فیلم قبل و بعد از سایش با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی زیاد و میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد بررسی قرار گرفتند.

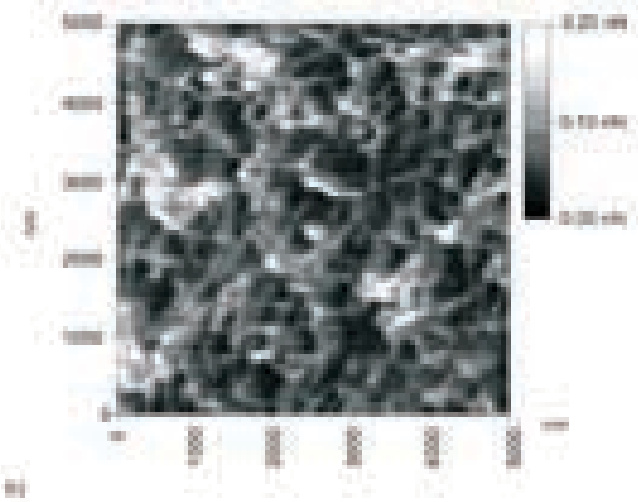
در میکروسکوپ نوری اتمی از یک پراب تیز استفاده می‌شود که دارای نوکی



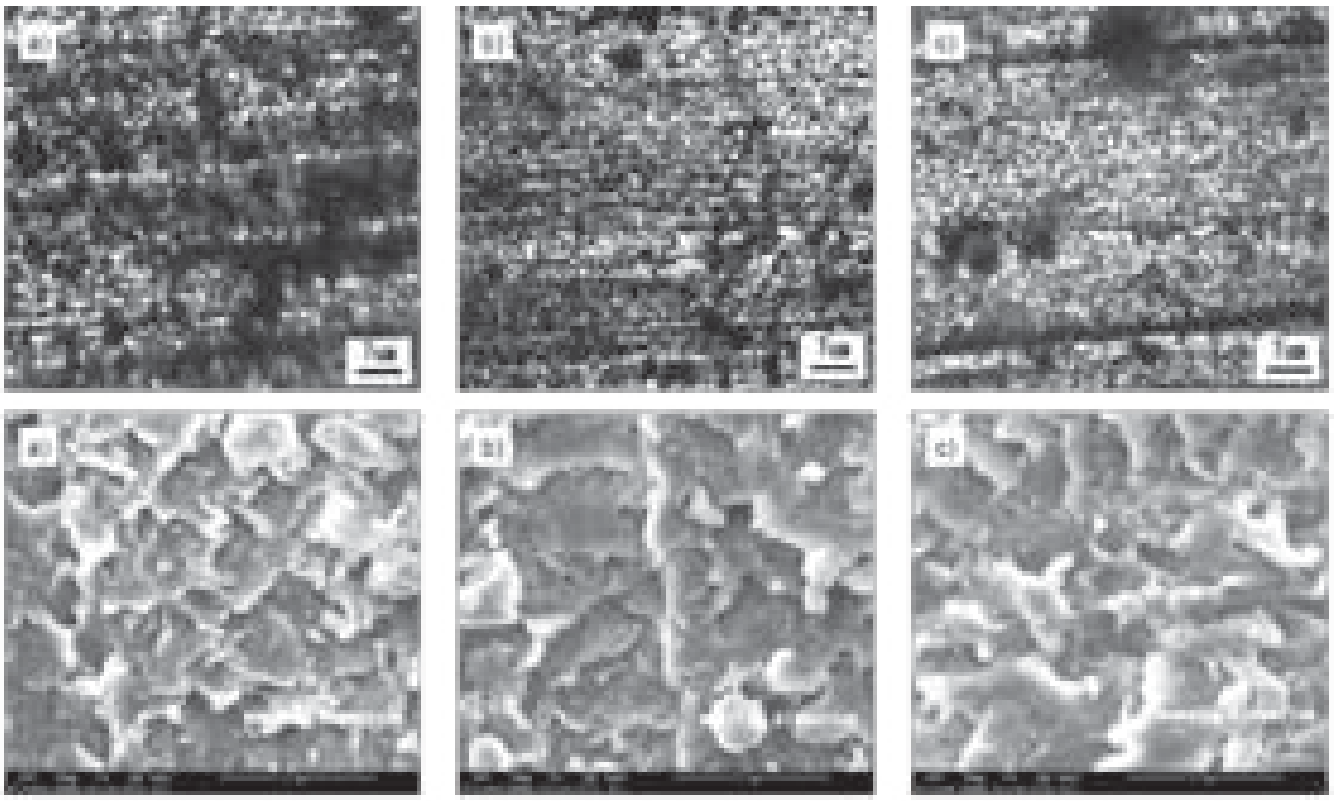
شکل۱-رابطه‌ی بین سایش و محتوای نانوذرات



شکل۲-تصاویر AFM حاصل از a)فیلم نشاسته b)نشاسته حاوی ۳ درصد نانوذرات sio_2



شکل۳-تصاویر میکروسکوپ نوری (۷۰۰×) از سطح ساییده شده‌ی a) فیلم نشاسته b)نشاسته حاوی ۳ درصد نانوذرات sio_2 c)نشاسته حاوی ۶ درصد نانوذرات sio_2



شکل۴-تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (۵۰۰۰×) از سطح ساییده شده‌ی a)فیلم نشاسته b)نشاسته حاوی ۳ درصد نانوذرات sio_2 c)نشاسته حاوی ۶ درصد نانوذرات sio_2

با ابعاد نانو می‌باشد که بر روی یک کانتی‌لیور(اهرم) انعطاف پذیر قرار گرفته است و سطح نمونه را در انتهای کانتی‌لیور اسکن می‌کند. این میکروسکوپ با اندازه‌گیری نیروهای جاذبه یا دافعه بین نمونه و نوک یعنی جایی که نیروها منجر به انحراف نوک می‌شوند، عمل می‌کند. این انحراف را می‌توان با استفاده از لیزری که بر روی نوک کانتی‌لیور متمرکز و بر روی آشکارساز نوری منعکس می‌شود ضبط کرد. سیگنال‌های آشکارساز نوری خصوصیات نمونه را با قدرت تفکیک پذیری در حد نانو مشخص می‌کنند.

در این تحقیق از AFM CSPM۳۰۰۰ تولید کمپانی Guangzhou Benyuan Nanoinstrument برای اسکن سطح فیلم‌ها استفاده می‌شود. عملیات اسکن کردن در حالت تماسی انجام شد و تصاویری با قدرت تفکیک پذیری بالا به‌دست آمد. برای بررسی ساختار فیلم در مقیاس نانو از میکروسکوپ نوری اتمی استفاده شد.

میکروسکوپ نوری مورد استفاده در این تحقیق نیز میکروسکوپ DZ۳ ساخت شرکت Japan Union بود که برای مشاهده‌ی فیلم‌ها از آن استفاده شد.میکروسکوپ نوری امکان مشاهده‌ی منطقه‌ی نسبتا بزرگی را فراهم می‌کرد.خصوصیات سایشی فیلم هم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی Quanta SEM ۲۰۰ تولید کمپانی Fei بررسی شد. نمونه‌های مورد نظر قبل از این‌که زیر میکروسکوپ قرار بگیرند با طلا پوشش‌دهی شدند. مشاهدات در محفظه‌ی SEM و در خلا زیاد انجام شد.

بحث و نتایج

آزمایش مقاومت سایشی فیلم‌های نانوکامپوزیتی نشاسته/ sio_2 در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این شکل می‌توان مشاهده کرد که با افزایش محتوای نانوذرات از ۰ تا ۳ درصد ساییدگی کمتر شده و بعد از ۳ درصد شروع به افزایش می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است زمانی که محتوای sio_2 حدود ۳ درصد است ساییدگی در کمترین مقدار خود قرار دارد. داده‌های آزمایش و ضریب تغییرات در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌هرحال اضافه کردن نانوذرات چنانچه بیش از ۳ درصد باشد می‌تواند اثرات منفی بر خصوصیات سایشی داشته باشد. نتایج نشان می‌دهد که با اضافه کردن مقدار مناسبی از نانوذرات sio_2 به فیلم نشاسته‌ای خواص سایشی آن به طرز موثری بهبود می‌یابد. تاثیر مثبت نانوذرات sio_2 بر فیلم‌های نشاسته‌ای را می‌توان به ساختار شبه ذره‌ای، ابعاد کوچک، سطح زیاد و انرژی سطحی بالا نسبت داد. نانوذرات تمایل دارند با گروه‌های هیدروکسیل ماکروملکول‌های نشاسته پیوند برقرار کنند و در نتیجه نیروی ملکولی بین نانوذرات و نشاسته قوی‌تر می‌شود. در عین حال نانوذرات sio_2 می‌توانند به پیوندهای غیر اشباع بین ماکروملکول‌های نشاسته نزدیک شوند و یک سری فعل و انفعالات با الکترون‌های پیوندهای غیر اشباع تشکیل دهند. چنین فعل و انفعالاتی منجر به بهبود خصوصیات سایشی فیلم‌های نشاسته‌ای شود.

تجزیه و تحلیل خصوصیات سطحی

نتایج مشاهدات AFM در شکل ۲ ارائه شده است. تصاویر حاصل مورفولوژی سطحی فیلم‌ها را در مقیاس نانو نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل ۲.a دیده می‌شود، فیلم‌های نشاسته‌ای بدون نانوذرات دارای سطح نسبتا صاف با یک‌سری ناهمواری‌های ذره مانند می‌باشند.

به‌نظر می‌رسد این خطاها همان ذرات حل نشده در نشاسته می‌باشند.

در مقابل فیلم‌های نشاسته‌ای که حاوی ۳ درصد نانوذرات sio_2 هستند دارای سطح سخت‌تری می‌باشند که در شکل ۲.b نشان داده شده است. تصاویر AFM همچنین نشان می‌دهند که نانوذرات در مجموع دارای توزیع یکنواختی هستند؛ می‌توان توده‌های یکنواخت واضحی را در تصویر مشاهده کرد. سختی سطح فیلم‌های نشاسته‌ای حاوی نانوذرات به طرز محسوسی باعث افزایش سطح فیلم می‌شود و نقش بسیار مهمی در مقاومت سایشی آن ایفا می‌کند.در حین فرآیند سایش اگر محتوای ذرات sio^2 در حد مناسبی باشد به سطح فیلم منتقل می‌شوند تا اثر روانسازی ایجاد کنند. به‌هر حال اگر محتوای نانوذرات بسیار بالا باشد در اثر خراشیدگی نانوذرات مقاومت سایشی کم می‌شود. مشاهده‌ی منطقه‌ی وسیع‌تری از فیلم توسط میکروسکوپ نوری کاملا اثر خراشیدگی یا روانسازی را مشخص می‌کند.

تصاویر نشان داده شده در شکل ۳ سطح فیلم‌ها را بعد از تست سایش نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل ۳.a مشخص است شیارها با عمق‌ها و عرض‌های متفاوت بر روی سطح ساییده شده‌ی فیلم نشاسته‌ای شکل می‌گیرند. همچنین می‌توان مشاهده کرد که پوسته‌هایی بر روی سطح فیلم تشکیل شده است. تشکیل شیارهای کوچک و پوسته‌ها قطعا نشان دهنده‌ی پدیده‌ی سایش در اثر چسبندگی است. همان‌طور که در شکل ۳.c نشان داده شده است با رسیدن محتوای sio^2 به ۶ درصد، شیارها و خراش‌ها واضح‌تر می‌شوند. در این حالت تنها می‌توان پوسته‌های کوچک‌تر را مشاهده کرد. شکل‌های ۳.a، ۳.b و ۳.c شیارهای کوچک‌تر و کوتاه‌تر موجود بر سطح فیلم‌های حاوی ۳ درصد نانوذرات sio^2 را نشان می‌دهد. این مشاهدات تاییدکننده‌ی اثر روانسازی نانوذرات است. از تصاویر نوری می‌توان نتیجه گرفت که درجه‌ی سایش سطح فیلم‌ها در حین خراشیدگی به ترتیب زیر افزایش می‌یابد: فیلمb، فیلمa و فیلمc و درجه‌ی سایش سطح فیلم‌ها در حین چسبندگی نیز به ترتیب زیر زیاد می‌شود: فیلمb، فیلمc و فیلمa.

بر اساس مشاهدات و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که سطح فیلم‌های نشاسته‌ای در ابتدای فرآیند سایش به علت تنش‌های معمولی و مماسی یک تغییر شکل پلاستیک و پارگی جزیی از خود نشان می‌دهد و در همین حین تکه‌های کوچک مواد اولیه در طول فرآیند سایش و تماس با ماده‌ی ساینده‌ی مورد استفاده در آزمایش از شبکه‌ی فیلم جدا می‌شوند و منجر به سایش در اثر چسبندگی می‌گردند. زمانی که میزان نانوذرات sio^2 اضافه شده و دیسپرس شدن آن‌ها در نشاسته مناسب باشد نانوذرات یک کشش سطحی قوی با شبکه‌ی نشاسته ایجاد می‌کنند. نانوذرات sio^2 خود دارای خواص سختی و روانسازی خوبی می‌باشند. بنابراین اضافه کردن مقدار مناسبی از آن‌ها به فیلم‌های نشاسته‌ای باعث استحکام سطحی آن‌ها و مقاومت در برابر سایش می‌شود. پراکندگی و انتشار مناسب نانوذرات نیز باعث روان شدن سطح می‌شود و از پراکندگی جلوگیری می‌کند. زمانی که محتوای نانوذرات به ۶ برسد توده‌های تشکیل شده در شبکه‌ی نشاسته نیز بیشتر می‌شود.این توده‌های بزرگ در حین فرآیند سایش به سوی سطح فیلم حرکت می‌کنند و باعث خراشیدگی سطحی فیلم می‌شوند و در نتیجه شیارهای بیشتری روی سطح فیلم ایجاد می‌شود. میکروسکوپ الکترونی پویشی تصاویر بسیار واضح‌تری از سطح فیلم‌های ساییده شده در اختیار ما قرار می‌دهد.

تصاویر حاصل از SEM یا همان میکروسکوپ الکترونی پویشی در شکل ۴ نشان داده شده است. تصاویر به وضوح ساختار پوست مانند سطح سه نوع فیلم نشاسته‌ای را بعد از تست سایش نشان می‌دهند. لایه‌های پوست مانند درجهت سایش با هم موازی می‌شوند که این نشان دهنده‌ی سایش در اثر چسبندگی است. تصاویر نشان می‌دهد که فیلم‌های نشاسته بدون نانوافزودنی نسبت به فیلم‌های حاوی ۳درصد و همچنین ۶درصد نانوافزودنی دارای لایه‌های پوست مانند بیشتری است. فیلم‌های حاوی ۳درصد نانوذرات در میان سه فیلم دیگر دارای کمترین میزان لایه‌های پوست مانند هستند که این امر مشاهدات حاصل از میکروسکوپ نوری را تایید می‌کند.

نشاسته به خودی خود استحکام چندانی ندارد و بعد از چند بار سایش دچار فرسودگی می‌شود. همان‌طوری‌که در شکل ۴.a نشان داده شده است می‌توان لایه‌های پوست مانند و پوسته‌ها را روی آن مشاهده کرد. با به‌کارگیری میزان مناسب از sio_2 (۳درصد) ساختار فیلم نشاسته تقویت می‌شود و مقاومت سایشی آن افزایش می‌یابد. تصویر ۴.b تغییر شکل پلاستیک در اثر فشار و سایش کمتر در اثر چسبندگی را نشان می‌دهد. زمانی که محتوای نانوذرات sio_2 به ۶درصد افزایش پیدا کند تجمع نانوذرات موجب شکل‌گیری یک‌سری توده‌های بزرگ می‌شود. این توده‌ها یا استحکام کمتری دارند و به‌راحتی از شبکه‌ی نشاسته جدا می‌شوند. نانوذرات در شبکه‌ی نشاسته پخش می‌شوند و از سایش در اثر چسبندگی جلوگیری می‌کنند. به همین علت است که فیلم‌های حاوی ۶ درصد نانوذرات sio_2 دارای لایه‌های پوست مانند کمتری هستند(شکل ۴.c).

البته باید خاطر نشان کرد که در طول فرآیند سایش معمولا انواع مختلفی از سایش اتفاق می‌افتد و سایش اولیه نیز مانند سایش ثانویه می‌تواند در شرایط مختلف تغییر کند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر نانوذرات sio_2 بر خواص سایش فیلم‌های نشاسته کشف شد و نتیجه‌ی به‌دست آمده این بود که نانوذرات sio_2 به‌عنوان یک ماده‌ی پرکننده باعث بهبود خواص سایشی فیلم نشاسته می‌شوند و می‌توان از آن‌ها به‌جای PVA در فرآیندهای آهارزنی در صنعت نساجی استفاده کرد. بهترین مقاومت سایشی فیلم نشاسته زمانی حاصل می‌شود که میزان ۳ درصد نانوذرات sio_2 به فیلم نشاسته افزوده شود. آنالیز میکروسکوپی نیز با استفاده از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی پویشی و میکروسکوپ نیروی اتمی ما را از مکانیزم سایش فیلم آگاه کرد.

مرجع:

۴.No،۱۶.Vol،۲۰۰۸ Fibres & Textiles in Eastern Europe

محتوای sio_2٪ / شاخص‌آزمایش	۰	۱	۲	۳	۴۰	۵	۶
سایش، cm/mg^2	۱/۱۵	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۵۹
سایش،cv٪	۵/۳۸	۶/۲۹	۵/۰۶	۵/۴۵	۴/۷۸	۴/۵۶	۵/۲۹

جدول۱-داده‌های حاصل از تست سایش فیلم