

مروری بر فرایندهای تکمیل منسوجات تهیه شده از الیاف پلی لاکتیک اسید: عمل آوری با پلاسما، تابش ازن/UV، تولید سطح ابر آب گریز، عمل آوری آنزیمی

A Review on Poly(lactic acid) Textile Goods Finishing: Plasma Treatment, UV/Ozone Irradiation, Superhydrophobic Surface Manufacturing and Enzymatic Treatment

فرناز السادات فتاحی، اکبر خدایمی*، حسین ایزدان

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۴۱۵۶

چکیده

در سال‌های اخیر، دسته جدیدی از پلی استرهای خطی که پلی لاکتیک اسید نام دارند، به شکل الیاف، نخ و پارچه تولید می‌شوند. این الیاف سالانه از منابع تجدیدپذیر مانند ذرت مشتق می‌شوند. فرایندهای تکمیلی متفاوتی از جمله عمل آوری آنزیمی و عمل آوری با پلاسما و کاربرد نرم‌کننده‌ها در حال استفاده هستند که اثرهای فیزیکی و شیمیایی متفاوتی بر الیاف پلی لاکتیک اسید دارند. تکمیل پارچه همان اندازه اهمیت دارد که طرح لباس و انتخاب رنگ‌زا مهم است. فرایندهای تکمیلی می‌توانند شکنندگی الیاف را کاهش دهند که در سفیدگری، رنگرزی و عملیات چاپ به وجود می‌آید و در عین حال باعث افزایش کارایی پارچه و لباس می‌شوند. از آنجا که پلی لاکتیک اسید قابل بازیافت و تبدیل شدن به کود است، ظرف ۴۵ تا ۶۰ روز در دمای 60°C - 50°C و رطوبت ۹۵٪-۹۰٪ تخریب می‌شود. بنابراین در این مقاله مروری، توضیحاتی درباره روش و شرایط بهینه فرایندهای تکمیلی و اثر آن بر خواص فیزیکی-شیمیایی بر الیاف پلی لاکتیک اسید ارائه شده است. در بخش پیشین مروری بر روش تولید، خواص، کارایی و موارد مصرف الیاف پلی لاکتیک اسید ارائه شد.

مقدمه

پلی استرهایی که در حال حاضر برای تولید الیاف استفاده می‌شوند، به طور عمده پلی اتیلن ترفتالات هستند که پس از پنبه حدود ۴۰٪ از مصارف دنیای نساجی را به خود اختصاص داده‌اند و استفاده از آن‌ها در حال افزایش است. تولید چنین پلی استرهایی به منابع سوخت فسیلی نیاز دارد. در ضمن، پلیمر حاصل، زیست تخریب پذیر نبوده و به راحتی قابل بازیافت نیست [۱]. در مقابل، الیاف پلی لاکتیک اسید از محصولات گیاهی (ذرت، نشاسته، برنج، سیب زمینی شیرین و نیشکر) مشتق شده است [۲،۳] و صد درصد قابل تبدیل شدن به کود است [۴]. کربن پلی لاکتیک اسید از کربن دی‌اکسید که از راه

کلمات کلیدی

الیاف پلی لاکتیک اسید، عمل آوری تکمیلی، تثبیت گرمایی، سطح ابر آب گریز، پلاسما

فتوسنتز درون گلوکوز تولید می‌شود، حاصل شده است. به همین دلیل، کربن دی‌اکسید حاصل از مصرف، سوزاندن و تخریب پلی لاکتیک اسید، مقدار کل کربن دی‌اکسید جو را افزایش نمی‌دهد [۵].

پلی لاکتیک اسید در تولید بی‌بافت‌ها، وسایل خانگی، بسته‌بندی مواد غذایی، منسوجات، پارچه‌های بی‌بافت (spunbond)، حامل‌های دارویی، بافت‌های پیوندی بدن و نخ بخیه کاربرد دارد [۶-۹].

فرایندپذیری پلی لاکتیک اسید مشابه مواد مصنوعی تولید شده از نفت است، به طوری که پلیمر آن فرایند مذاب‌ریسی مشابه پلی اتیلن ترفتالات را طی می‌کند. الیاف پلی لاکتیک اسید به وسیله ماشین‌آلات متداول

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: khoddami@cc.iut.ac.ir

مطالعه‌ای بر عملکرد سدیم هیدروکسید بر بی‌بافت پلی‌لاکتیک اسید توسط Lee و همکاران [۱۵] در شرایط مختلف از غلظت قلیا و دما انجام شده است. شکل ۱ تخریب پلیمر را به صورت نموداری از کاهش وزن مولکولی بر حسب دمای عمل‌آوری نشان می‌دهد [۱۵].

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت قلیا و دمای عمل‌آوری، کاهش وزن روند صعودی نشان می‌دهد. طوری که در غلظت ۱۰-۲۰٪، قلیا در دمای ۷۸°C، پلی‌لاکتیک اسید به‌طور کامل تخریب می‌شود، اما در غلظت ۵٪ قلیا و در محدوده دمایی ۳۰-۶۰°C تخریب بسیار کمی مشاهده می‌شود. بنابراین اگر لازم باشد، فرایند قلیایی روی این پلیمر انجام شود، شرایط ملایم پیشنهاد می‌شود. با توجه به حساسیت‌های بیان شده شرایط بهینه فرایندهای تثبیت گرمایی، سفیدگری و شست‌وشوی الیاف پلی‌لاکتیک اسید عبارت از pH در محدوده ۴-۷ و دمای کمتر از ۱۷۰°C است [۱۵، ۱۰].

عمل‌آوری تکمیلی

عمل‌آوری تکمیلی به دو گروه تکمیل مکانیکی و تکمیل شیمیایی تقسیم می‌شوند. تکمیل مکانیکی در نتیجه اثر فیزیکی روی پارچه است، در حالی که تکمیل شیمیایی شامل کاربرد مواد ویژه برای اصلاح خواص پارچه است. این عمل‌آوری به منظور بهبود عملکرد پارچه‌ها و رضایت‌مندی مصرف‌کننده انجام می‌شود [۱۰]. در ادامه، به فرایندهای تکمیلی متداولی که برای افزایش کارایی منسوجات پلی‌لاکتیک اسید انجام شده مختصری اشاره می‌شود.

تثبیت گرمایی

حین فرایندهای انجام شده بر منسوجات، در ساختار داخلی الیاف، استرس و تنش ایجاد می‌شود [۱۱]. در نتیجه هنگامی که در معرض فرایندهای بعدی تر و گرمایی قرار می‌گیرند، بر اثر استراحت ساختاری، دچار جمع‌شدگی می‌شوند. بنابراین بهتر است، منسوجات پیش از انجام عمل‌آوری تکمیلی تحت تثبیت ابعادی در دمای زیاد قرار گیرند [۱۶].

شرایط بهینه تثبیت گرمایی پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید برای کسب پایداری ابعادی و کمترین جمع‌شدگی در فرایندهای تکمیل، محدوده زمانی ۳۰-۴۵ s و دمای ۱۳۰°C در هوای خشک است [۱۷، ۱۸]. در مخلوط پلی‌لاکتیک اسید-پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌لاکتیک اسید-نایلون نباید دما افزایش یابد. برای مخلوط پلی‌لاکتیک اسید-الاستان (با مقدار وزنی ۳٪) که برای ایجاد خواص کششی تولید می‌شوند، تثبیت گرمایی نیاز نیست [۱۹]. همچنین، برای اتوکشی پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید در صورت نیاز، اتوی سرد (۱۱۰°C) پیشنهاد شده است [۲۰-۲۲].

عمل‌آوری آنزیمی

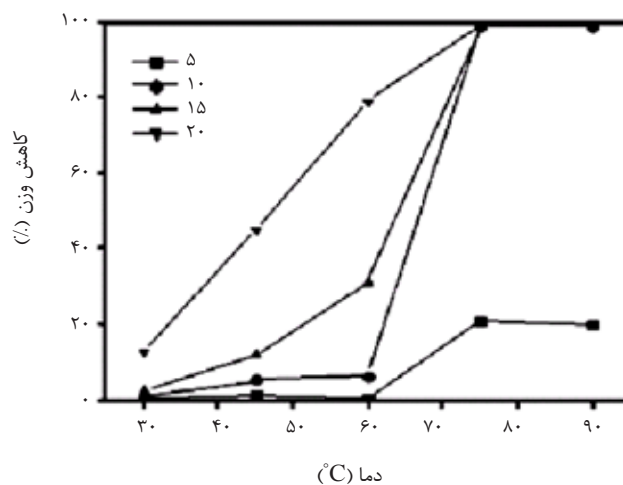
همگام با توجه به سلامتی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و عدم آلودگی محیط‌زیست، کاربرد آنزیم‌ها در صنایع نساجی رشد چشمگیری داشته است [۱۵، ۲۳]. آبکافت آنزیمی الیاف مصنوعی برای افزایش آب‌دوستی به‌وسیله لیپاز، پلی‌استراز و کیوتیناز انجام می‌شود [۲۴].

ریسندگی ریسیده می‌شوند. فناوری‌های معمول برای تکمیل پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید استفاده می‌شود، اگرچه این الیاف در مقایسه با پلی‌اتیلن ترفتالات به فرایندهای اصلاح‌یافته تکمیلی نیاز دارد تا کارایی آن‌ها بهینه شود [۱۰].

فرایندهایی مختلف بر پارچه‌های خام به‌کار گرفته می‌شوند تا پارچه نهایی با کارایی مدنظر تولید شود. سفیدگری، شست‌وشو، تثبیت گرمایی و کاربرد نرم‌کننده بر خواص مکانیکی و سطحی پارچه اثر می‌گذارند [۱۱]. یافتن شرایط بهینه عمل‌آوری تکمیلی منسوجات، کارایی لیف را افزایش می‌دهد. هدف این مقاله ارائه مختصری از جدیدترین پژوهش‌ها درباره فرایندهای تکمیلی (آنزیمی، پلاسما و تثبیت گرمایی) الیاف پلی‌لاکتیک اسید و آثار آن‌ها بر این لیف است.

شرایط فرایندهای تکمیلی پلی‌لاکتیک اسید

دمای فرایندهای تکمیلی الیاف پلی‌لاکتیک اسید باید با احتیاط انتخاب شود، زیرا دمای ذوب این لیف (۱۷۰°C) کمتر از پلی‌اتیلن ترفتالات است [۱۰]. پلی‌لاکتیک اسید حین فرایندهای گرمایی در رطوبت و دمای زیاد تخریب شده و نسبت به سایر پلی‌استرها آسان‌تر و سریع‌تر آبکافت می‌شود. در نتیجه، خواص مکانیکی پارچه از جمله استحکام تا پارگی، ازدیاد طول تا پارگی و مدول کاهش می‌یابد و در مواردی کاهش وزن مولکولی نیز مشاهده می‌شود. رفتار تخریبی پلیمر به مقدار زیادی به وزن مولکولی و درجه تبلور لیف بستگی دارد [۴، ۱۲]. سازوکارهای متعددی برای تخریب این لیف حین فرایندهای تکمیلی مطرح شده است. مهم‌ترین آن‌ها آبکافت پیوندهای استری است که باعث پارگی زنجیر اصلی پلیمر (واپلیمر شدن) شده، در نتیجه اولیگومرهایی با درجه پلیمر شدن و وزن مولکولی کم و در نهایت مولکول‌های کوچکی مانند لاکتیک اسید تولید می‌شوند. این فرایند با وجود اسید، باز، رطوبت و افزایش دما و زمان عملیات تسریع شده و شدت می‌یابد [۱۴، ۱۳، ۲]. در ضمن به دلیل مقاومت ضعیف پلی‌لاکتیک اسید در برابر قلیا، اعمال pH زیاد به آبکافت لیف و در نتیجه کاهش استحکام فیزیکی منجر می‌شود.



شکل ۱- کاهش وزن بی‌بافت پلی‌لاکتیک اسید عمل‌آوری شده در قلیا بر حسب دما و غلظت قلیا به مدت ۳۰ min، غلظت قلیا ۵-۲۰٪ [۱۵].

آنزیمی (۱۶٪) است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز بیانگر ایجاد تخلخل در عمل آوری قلیایی (غلظت ۰/۱ براساس وزن کالا، دمای ۶۰°C، زمان ۳۰ min) بودند، در حالی که در فرایند آنزیمی شکاف‌های کوچک و لیفچه‌هایی (fibril) بر سطح لیف به وجود آمدند [۱۵].

عمل آوری برای اصلاح سطح

خواص سطح پلیمرهای طبیعی و مصنوعی در برخی موارد کاربردی مانند جذب رطوبت، چسبندگی، رسانایی الکتریکی و قابلیت چاپ، دارای نقش مهم‌تری نسبت به خواص کلی کالا هستند [۲۸، ۲۹]. راه‌های مختلفی برای اصلاح سطح لیاف در حال استفاده‌اند. این تکمیل‌ها شامل دو نوع روش هستند:

- روش‌های شیمیایی: مانند هالوژن‌دار کردن و پیوند زدن زنجیرهای پلیمری سطحی در فاز مایع و گاز.
- تکمیل‌های فیزیکی: مانند عمل آوری ازن/UV، تخلیه هاله (کرونا) و پلاسما [۳۰-۳۲].

در ادامه به شرایط کاربرد و آثار برخی از این روش‌ها در اصلاح سطح لیاف پلی لاکتیک اسید اشاره می‌شود.

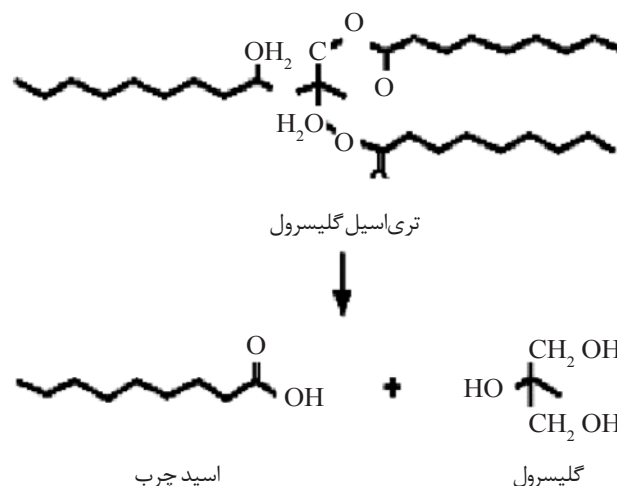
عمل آوری ازن/UV

به تازگی روش جدید اصلاح سطح لیاف، ارزان و بدون تولید آلودگی و بدون نیاز به محیط آبی که تکمیل پرتو فرابنفش - ازن (UV/Ozone) نامیده می‌شود، به طور گسترده استفاده شده است. در این روش، سطح لیف در معرض تابش پرتوی فرابنفش و جریان گاز ازن قرار می‌گیرد. این روش برای اصلاح سطح پلیمرهای حساس به دما و لیاف که ممکن است، بر اثر شعله یا عملیات تخلیه هاله تخریب شوند، به این علت که می‌تواند به طور مداوم و زیر فشار جو انجام شود، بسیار موفق عمل کرده است [۳۱، ۳۳، ۳۴]. در ضمن، برای برطرف کردن آلودگی از سطوح به کار می‌رود [۳۵-۳۷]. به تازگی، اصلاح سطح پارچه پلی لاکتیک اسید با استفاده از عمل آوری ازن/UV در شرایط مختلف با ایجاد زبری سطحی، انجام شده است. پارچه پلی لاکتیک اسید پس از غوطه‌وری در محلول‌های مختلف تحت تابش ازن/UV قرار گرفت. خواص آبدوستی و ضدالکتریسیته پارچه به دلیل ایجاد خلل و فرج و گروه‌های کربونیل بر سطح پارچه بهبود یافتند [۳۱].

عمل آوری با پلاسما

پلاسما فرایندی خشک، بدون آلودگی، ارزان و دوست‌دار محیط زیست و روشی پراستیه برای اصلاح سطح منسوجات است [۳۸، ۳۹] که مصرف انرژی و زمان در آن نسبت به تکمیل‌های سنتی نساجی کمتر است [۴۰]. با توجه به منابع پژوهشی، این عملیات روی برخی لیاف معمول، فیلم‌های پلیمری، لاستیک‌ها و کامپوزیت‌ها به کار گرفته شده است [۴۱].

Ferriera و همکاران [۴۲] سعی کردند، آبدوستی بی‌بافت‌های پلی لاکتیک اسید را به کمک عمل آوری با پلاسما افزایش دهند. خواص ترشوندگی و موئینگی بی‌بافت‌ها، پس از عمل آوری با پلاسما جو هوا در شرایط مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند، تکمیل پلاسما خواص



شکل ۲- عملکرد لیپاز بر زنجیرهای استری پلی‌استرها [۲۴].

از میان این آنزیم‌ها، لیپاز قابلیت آبکافت پیوندهای استری در پلی‌استرها و تولید گروه‌های هیدروکسیلی و کربوکسیلی را دارد (شکل ۲). در ضمن، لیاف پلی‌استری به علت شکل‌شناسی صاف سطح لیاف و خواص شیمیایی آن‌ها جذب رطوبت کم دارند [۲۴]. Lee و همکاران [۲۵] فرایند آنزیمی لیاف پلی لاکتیک اسید را با استفاده از آنزیم Porcine pancreas، بررسی کردند. جذب پروتئین محلول عملیات، پیش و پس از فرایند تغییر کرد. افزون بر این، تغییر جدی در ساختار مولکولی و بلوری پلی لاکتیک اسید مشاهده نشد. بنابراین، فرایند آنزیمی با لیپاز به عنوان فناوری دوست‌دار محیط زیست مطرح می‌شود که خواص این لیف را حفظ می‌کند [۲۵].

انواع مختلفی از آنزیم‌های پروتئاز و لیپاز برای اصلاح لیاف پلی لاکتیک اسید استفاده شده‌اند. این لیاف به وسیله پروتئاز به دست آمده از منابع *Bacillus lichenifor* و *Bacillus subtilis* که به آسانی به داخل لیف دسترسی می‌یابند، آبکافت می‌شود. آبکافت لیاف به کاهش جدی استحکام و وزن لیاف منجر می‌شود که به وسیله آزمون مقاومت در برابر پارگی و مشاهده سطح لیاف با SEM ارزیابی شدند [۲۶].

در پژوهشی، شرایط بهینه عملکرد آنزیم‌های لیپاز به دست آمده از منابع مختلف بر لیاف پلی لاکتیک اسید بررسی شد. نتایج به دست آمده عبارت بودند از:

لیپاز LAN: دمای ۴۰°C، زمان ۶۰ min، pH ۷/۵ و غلظت ۶۰٪ (براساس وزن کالا)،

لیپاز LCC: دمای ۴۰°C، زمان ۱۲۰ min، pH ۸ و غلظت ۷۰٪ (براساس وزن کالا) و

لیپاز LCR: دمای ۴۰°C، زمان ۱۲۰ min، pH ۸ و غلظت ۷۰٪ (براساس وزن کالا).

همچنین بررسی ساختاری لیاف با FTIR، WAXS و DSC نشان داد، در اثر عمل آوری آنزیمی تغییر قابل ملاحظه‌ای در تبلور و ساختار مولکولی بی‌بافت‌های پلی لاکتیک اسید به وجود نیامده است [۱۵، ۲۷].

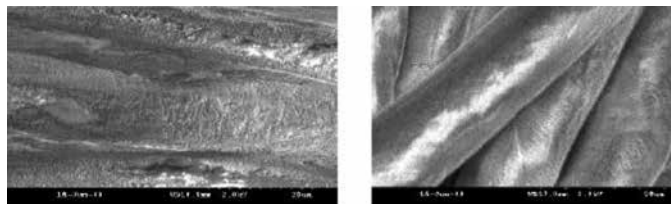
افزون بر این، در مقایسه آبکافت آنزیمی و قلیایی مشاهده شد، کاهش استحکام بی‌بافت‌ها در عمل آوری قلیایی (۳۰٪) تقریباً دو برابر عملیات

از آنجا که ذرات سیلیکا دارای گروه‌های هیدروکسیل و سطح آب‌دوست است، تولید گروه‌های فلئور یا سیلان‌های آلکیلی روی آن‌ها برای ایجاد سطوح آب‌گریز ضروری است. برخی از انواع پیوندهای کووالانسی بین ذرات نانوسیلیکای دارای گروه‌های وینیل و الیاف پلی‌لاکتیک اسید حین تابش پرتو فرابنفش شکل می‌گیرند. بیشترین آب‌گریزی در زاویه تماس حدود 150° به‌دست آمد (شکل ۴)، در حالی که قطره آب کاملاً بافت پارچه عمل‌آوری نشده را تر کرد [۴۵].

خدای و همکاران [۴۸] نیز از روش سنتی (پد، خشک و پخت در دمای زیاد) بر پارچه پلی‌لاکتیک اسید برای پوشش ماده فلئوروکربن (برای ایجاد سطح آب‌گریز) استفاده کرده و با روش جدید پلیمرشدن پلازما مقایسه کردند. خواص آب‌گریزی پارچه پیش و پس از شست‌وشو ارزیابی شد. خواص مکانیکی پارچه با اندازه‌گیری استحکام و زیر دست پارچه‌ها مقایسه شدند. نتایج بیان کردند، فرایند پلازما، خواص زیردست و دفع آب بهتری را ایجاد می‌کند. افزون بر این، با افزودن نرم‌کننده مناسب اصطکاک بین الیاف کاهش یافته و بازگشت‌پذیری کشسان بهبود می‌یابد [۴۸].

گزارش شده است [۴۹] لباس‌های بی‌بافت پزشکی از جنس پلی‌لاکتیک اسید که با نانوساختارهای نقره پوشش یافته‌اند، خواص ضد میکروب دارند. ضخامت پوشش فیلم نانوساختار نقره بر خواص ضد میکروب پلی‌لاکتیک اسید بررسی شده است. بیان شده فیلم‌های نانوساختار نقره خواص بسیار خوب ضد میکروب بر پلی‌لاکتیک اسید ایجاد می‌کند. خواص ضد باکتری بی‌بافت‌ها با افزایش ضخامت فیلم افزایش می‌یابد. همچنین افزایش زمان ته‌نشین کردن نقره بر سطح باعث افزایش ضخامت فیلم و در نتیجه بهبود خواص ضد میکروبی لباس می‌شود. در ضخامت یک نانومتری فیلم، باکتری‌های *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* 100% کاهش می‌یابند [۴۹].

در پژوهشی سه عمل‌آوری تکمیلی مختلف (کندکنندگی اثر شعله و دفع آب-روغن) هم‌زمان بر پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید انجام شد. سه ماده مختلف برای انجام این عمل‌آوری (ماده کندکننده اثر شعله مخلوطی از استرهای حلقوی فسفات و ماده شیمیایی دارای فلئور به منظور ضد آب، روغن کردن و نرم‌کننده) در حمام ترکیبی استفاده شدند. نتایج نشان داد، بهترین شرایط عملیات، خشک کردن در 110°C و تثبیت گرمایی در 135°C به مدت ۳۰s است. ارزیابی‌ها نشان داد، خواص کندکنندگی اثر



شکل ۳- تصویر SEM الیاف پلی‌لاکتیک اسید: (الف) پیش از عمل‌آوری با پلازما و (ب) پس از عمل‌آوری با پلازما [۴۳].

آب‌دوستی بی‌بافت‌های پلی‌لاکتیک اسید را افزایش می‌دهد [۴۲]. روشی جدید برای ارزیابی اثر پلازما بر خواص ترشوندگی و موئینگی الیاف، تحلیل تصاویر پخش‌شدن قطره آب و حرکت پویای مایع بر پارچه است. با به‌کارگیری این روش مشاهده شده است که عمل‌آوری با پلازما اکسیژن باعث تأخیر در جذب قطره به پارچه می‌شود، این موضوع در نتیجه افزایش زبری سطح الیاف است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (شکل ۳) نشان داد، پلازما اکسیژن، سطح الیاف پلی‌لاکتیک اسید را می‌خراشد [۴۳].

از سوی دیگر، طبق معادله (۱) تکمیل پلازما باعث افزایش مقادیر n می‌شود که بیانگر افزایش سرعت ترشدن پارچه پلی‌لاکتیک اسید و پخش شدن قطره (به علت افزایش موئینگی) است:

$$A = K \left(\frac{\gamma}{\eta} \right)^m V^m t^n \quad (1)$$

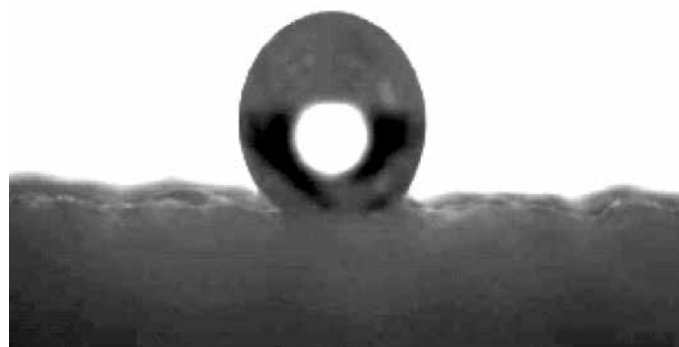
در این معادله، A مساحت قطره در زمان t ، V حجم قطره، μ کشش سطحی، η گرانیوی و K ضریب جذب موئینگی است [۴۳].

در کاری مشابه افزایش سرعت موئینگی پارچه پلی‌لاکتیک اسید به‌وسیله پلازما اکسیژن دمای کم در شرایط مختلف شامل زمان عملیات، توان و فشار دستگاه بررسی شد. تحلیل نتایج به‌وسیله روش‌های طیف‌بینی، پراش پرتو X و میکروسکوپ الکترونی پوششی نشان داد، سطح پارچه پس از عمل‌آوری با پلازما اصلاح شد. بدین معنا که خوردگی فیزیکی و گروه‌های قطبی شیمیایی روی سطح ماده تولید شدند. افزایش سرعت موئینگی بر اثر عملیات پلازما به‌طور عمده به علت تشکیل گروه‌های قطبی جدید (COO) بر سطح است [۴۰].

گروه‌های آمین نوع اول با پلیمرشدن پالسی پلازما هیپتیل آمین (PPHA) بر سطح پارچه پلی‌لاکتیک اسید ایجاد شدند. با ایجاد این گروه‌ها آب‌دوستی افزایش یافت و پارچه قابلیت کاربرد در مصارف زیست‌فناوری را پیدا کرد. توان دستگاه ایجادکننده بسامد رادیویی پارامتر کلیدی برای دستیابی به چگالی بیشتر آمین نوع اول و افزایش آب‌دوستی بود [۴۴].

تولید سطوح ابر آب‌گریز

از هنگامی که اثر خودتمیزکنندگی برگ‌های نیلوفر آبی و بال‌های حشرات در طبیعت کشف شدند، سطوح آب‌گریز توجه بسیار زیادی را در محدوده گسترده‌ای از کاربردها مانند پارچه، لوله آب، شیشه جلوی خودرو، سطح آنتن ماهواره و پوشش ضدخز کشتی‌ها به خود جلب کردند. پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید ابر آب‌گریز به‌وسیله نورپیوندزنی ذرات سیلیکا بر سطح پارچه تهیه شدند [۴۷-۴۵].



شکل ۴- میکرونگار نوری قطره آب بر پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید عمل‌آوری شده با ذرات سیلیکا [۴۵].

شعله پس از ۵۰ مرتبه شست‌وشو نیز پایدار بود [۵۰].

تولید کامپوزیت

یک روش برای بهبود خواص مکانیکی و گرمایی الیاف پلی‌لاکتیک اسید، افزودن الیاف طبیعی یا مواد پرکننده و روان‌کننده مانند پلی‌اتیلن گلیکول است [۵۱، ۵۲]. در بسیاری از کاربردها، الیاف طبیعی (جوت، رامی و کتان) خواص تقویت‌کنندگی با هزینه و چگالی کمتر، استحکام و سفتی بیشتری ایجاد می‌کنند [۵۳، ۵۴]. کامپوزیت‌های الیاف پلی‌لاکتیک اسید به‌وسیله الیاف کوتاه رامی و جوت به‌عنوان تقویت‌کننده و پلی‌لاکتیک اسید به‌عنوان ماتریس را Tao و همکاران [۵۵] تولید کردند. بررسی خواص مکانیکی و گرمایی کامپوزیت‌ها نشان داد، هنگامی که الیاف کوتاه، ۳۰٪ وزن کامپوزیت را تشکیل دادند، بهترین خواص مکانیکی (مدول و استحکام کششی) حاصل شد. اندازه‌گیری چگالی گرمایی نیز نشان داد، افزودن الیاف کوتاه، دمای تخریب الیاف پلی‌لاکتیک اسید را افزایش می‌دهد [۵۵].

مطالعه خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌لاکتیک اسید-جوت نشان داد، استحکام کششی کامپوزیت‌ها به نحوه چشمگیری بیشتر از الیاف پلی‌لاکتیک اسید است. بررسی خواص کامپوزیت پلی‌لاکتیک اسید-کتان نیز نشان داد، استحکام این کامپوزیت حدود ۵۰٪ بهتر از کامپوزیت پلی‌پروپیلن-کتان است که امروزه در کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود. همچنین، سختی الیاف پلی‌لاکتیک اسید با افزودن ۳/۵٪ وزنی الیاف کتان از ۳/۴ GPa تا ۸/۴ GPa افزایش می‌یابد [۵۳].

Tokoro و همکاران [۵۶] نیز کامپوزیت پلی‌لاکتیک اسید-بامبو را تولید و خواص گرمایی آن‌ها را بررسی کردند. الیاف بامبو الیافی طبیعی هستند که در قاره آسیا و آمریکای شرقی و جنوبی یافت می‌شوند. با انجام آزمون‌های DSC و آزمون گرمایی مکانیکی-دینامیکی مشاهده شد با افزایش الیاف بامبو مقاومت گرمایی کامپوزیت افزایش می‌یابد. در مجموع، کامپوزیت الیاف پلی‌لاکتیک اسید و الیاف طبیعی کوتاه خواص مکانیکی مناسبی برای جایگزینی کامپوزیت‌های گرمانرم معمول دارند [۵۳].

استفاده از نرم‌کننده‌ها در پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید

استفاده از نرم‌کننده‌ها در الیاف مختلف باعث افزایش خاصیت انتقال رطوبت و بهبود زیردست پارچه‌ها و افزایش راحتی لباس می‌شود. اما، در پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید خاصیتی نامطلوب با نام scroopiness یا crunchiness نیز وجود دارد که باعث می‌شود، هنگام ساییده شدن دو سطح پارچه صدای تیز ناخوشایندی تولید شود. استفاده از نرم‌کننده‌ها افزون بر موارد گفته شده باعث از بین رفتن این خاصیت نامطلوب نیز می‌شود [۶۰-۵۷]. برای بررسی اثر نرم‌کننده بر زیردست پارچه‌ها از ارزیابی‌های عینی پارامترهای سفتی خمشی، پسماند (hysteresis) خمشی، سفتی برشی، پسماند برشی و زبری سطحی (و ارزیابی‌های ذهنی استفاده می‌شود [۶۱].

بررسی‌ها نشان داده‌اند، اثر نرم‌کننده‌های متفاوت، حین شست‌وشوی پی‌درپی کاهش می‌یابد. این موضوع به علت کاهش مقدار نرم‌کننده در فرایندهای متوالی شست‌وشوست. هر چند، شست‌وشو آثار نرم‌کننده‌ها را

کاهش می‌دهد، آن‌ها را از بین نمی‌برد. نرم‌کننده بر پایه سیلیکون نسبت به ساختارهای اسیدهای چرب و پلی‌پورتان، نرمی بیشتر و اسکروپی کمتری را بر پارچه پلی‌لاکتیک اسید ایجاد می‌کند. نرم‌کننده پلی‌دی‌متیل سیلوکسان (polydimethylsiloxane) بهترین زیردست را بر این پارچه به‌وجود می‌آورد [۵۷].

شست‌وشوی مکرر

شست‌وشوی مکرر البسه موضوع اجتناب‌ناپذیر است که خواص سطحی و مکانیکی پارچه‌ها را دستخوش تغییر می‌کند، بدین علت که تمیزکاری اغلب با فشار مکانیکی به پارچه و استفاده از شوینده‌های شیمیایی و دمای زیاد همراه است. تغییراتی مانند پُرزدگی و کرکی شدن، جمع‌شدگی و کجی و ناصافی بر پارچه ایجاد می‌شود [۵۷، ۱۰]. براساس نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری وزن مولکولی و استحکام تا پارگی پارچه، پس از تمیزکاری (از شست‌وشوی دستی در ۴۰°C تا شست‌وشوی ماشینی داغ در ۷۰°C) هیچ‌گونه تخریب و آسیبی مشاهده نشد. پس از شست‌وشو ظاهر پارچه پلی‌لاکتیک اسید بدون چروک خوردگی با سطحی خیلی تمیز حفظ شد [۱۰].

برای بررسی پایداری، پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید ۱۰۰ مرتبه در دمای ۴۳°C شست‌وشو شدند. تمیزکاری‌های مکرر پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید، آسیب جدی به الیاف وارد نکرد. فقط کاهش ملایم در استحکام لیف پس از ۷۵ مرتبه شست‌وشو مشاهده شد. همچنین تغییر جدی در وزن مولکولی پس از ۱۰۰ مرتبه تمیزکاری به‌وجود نیامد [۶۲]. عملیات تمیزکاری تجاری لباس‌های پلی‌لاکتیک اسید اغلب محدود به شست‌وشوی دستی یا ماشینی در دمای ۴۰°C است [۱۰].

Karst و همکاران [۶۳]، اثر pH (۸ یا ۱۰) و دمای آب (۳۵°C یا ۵۵°C) در عملیات شست‌وشو و اثر شرایط خشک کردن (خشک کردن در هوا در ۲۱°C رطوبت نسبی ۶۵٪ یا خشک کردن ماشینی در ۵۰°C یا ۷۰°C) پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید بر خواص مکانیکی را پس از تمیزکاری‌های مکرر (۵۰ مرتبه شست‌وشو) بررسی کردند. پیشنهاد شد، پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید به‌وسیله شوینده‌هایی با pH کم (مثلاً ۸-۹ pH) شست‌وشو شوند و استفاده از شوینده‌هایی با pH زیاد (مثلاً ۱۰-۱۱ pH) باید اجتناب شود، زیرا همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، شرایط قلیایی قوی به آبکافت پلیمر و در نتیجه کاهش استحکام، ازدیاد طول و مدول لیف منجر می‌شود. گزارش شده است [۶۵-۶۳]، شست‌وشوی پارچه پلی‌لاکتیک اسید در آب با دمای ۳۵°C و خشک کردن در هوای ۲۱°C و رطوبت نسبی ۶۵٪ به حفظ بیشتر مدول نسبت به شست‌وشو و خشک کردن در دماهای بیشتر منجر شد، زیرا انرژی گرمایی کمتری برای آبکافت وجود داشت. آبکافت این پلیمر علت اصلی کاهش خواص مکانیکی آن است. بنابراین، برای پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید شست‌وشوی نسبتاً سرد (حدود ۳۵°C) پیشنهاد می‌شود و از شست‌وشوی داغ باید اجتناب کرد (حدود ۵۵°C). پارچه‌های پلی‌لاکتیک اسید باید در هوا خشک شوند. اگر خشک‌کن ماشینی ترجیح داده شد، دمای کم (حدود ۵۰°C) باید انتخاب شود.

درصد جمع‌شدگی پارچه پس از شست‌وشو و خشک کردن ماشینی

تدریجی ساختار پارچه رخ دهد. این نتایج از ارزیابی های ذهنی به کمک سامانه کاواباتا KES و ارزیابی های چشمی به دست آمده اند [۵۷].

نتیجه گیری

با توجه به مزایای زیست محیطی و کارایی های فنی الیاف پلی لاکتیک اسید انتظار می رود، استفاده از این الیاف در آینده افزایش یابد. انتخاب بهترین شرایط و روش ها برای فرایندهای تر منسوجات پلی لاکتیک اسید به افزایش مصرف این لیف منجر می شود. پژوهش های جدید در زمینه شیمی و فرایندهای تر، مصرف و کاربرد بیشتری را برای این الیاف رقم می زند. با افزایش کاربرد این لیف در صنایع نساجی افق پیش روی پژوهش ها برای بررسی تکمیل پارچه مخلوط پلی لاکتیک اسید با سایر الیاف طبیعی و مصنوعی، کاربرد موادی نظیر سفیدکننده های نوری و پراکسید هیدروژن است.

مراجع

- Vink E.T.H., Ra'bago K.R., Glassner D.A., and Gruber P.R., Applications of life cycle assessment to natureworks TM polylactide (PLA) production, *Polym. Degrad. Stab.*, 80, 403-419, 2003.
- Mutsuga M., Kawamura Y., and Tanamoto K., Migration of lactic acid, lactide and oligomers from polylactide food-contact materials, *Food Addit. Contam.*, 25, 1283-1290, 2008.
- Jin T. and Zhang H., Biodegradable polylactic acid polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging, *J. Food Sci.*, 73, 127-134, 2008.
- Li S., Tenon M., Garreau H., Braud C., and Vert M., Enzymatic degradation of stereocopolymers derived from L-, D,L- and meso-lactides, *Polym. Degrad. Stab.*, 67, 85-90, 2000.
- Tsuji H., *Poly(lactic acid) in Bio-Based Plastics*, Ltd, 171-239, 2013.
- Ingeo™ Biopolymer 6260D Technical Data sheet, Melt blown fiber and fiber melt spinning, www.ingefibers.com.
- Tsuji H., In vitro hydrolysis of blends from enantiomeric poly(lactide)s Part 1. Well-stereo-complexed blend and non-blended films, *Polymer*, 41, 3621-3630, 2000.
- Ouchi T. and Ohaya Y., Design of lactide copolymers as biomaterials, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 42, 453-462, 2004.
- Vert M., Lactide polymerization faced with therapeutic application requirements, *Macromol. Symp.*, 153, 333-342, 2000.
- Avinc O. and Khoddami A., Overview of poly(lactic acid) (PLA) fibre Part II: wet processing, pretreatment, dyeing, clearing, finishing, and washing properties of poly (lactic acid) fibres, *Fibre Chem.*, 42, 68-78, 2010.
- Avinc O., Khoddami A., and Hasani, H., A mathematical model to compare the handle of PLA and PET knitted fabrics after different finishing steps, *Fiber. Polym.*, 12, 405-413, 2011.
- Lunt J., Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers, *Polym. Degrad. Stab.*, 59, 145-152, 1998.
- Arena M., Abbate C., Fukushima K., and Gennari M., Degradation of poly(lactic acid) and nanocomposites by *Bacillus licheniformis*, *Polym. Degrad. Stab.*, 94, 1646-1655, 2009.
- Tokiwa Y. and Calabria B., Biodegradability and biodegradation of poly(lactide), *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 72, 244-251, 2006.
- Lee S.H. and Song W.S., Enzymatic hydrolysis of polylactic acid fiber, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 164, 89-102, 2010.
- Phillips D., Suesat J., Wilding M., Farrington D., Sandukas S., Boned J., and Dervand S., Effect of heat setting on

جدول ۱- درصد جمع شدگی پارچه پلی لاکتیک اسید پس از شست و شو و خشک کردن [۶۶].

تعداد شست و شو (مرتب)	جمع شدگی (%)
۱	۰
۱	-۱/۳
۳	۰/۲
۳	-۲/۲

برحسب استاندارد ATCC 135-2004 IIIA در جدول ۱ آمده است [۶۶]. همچنین، ظاهر پارچه پس از یک و سه مرتبه شست و شو رضایت بخش اعلام شده است. زمان لازم برای خشک شدن پارچه پس از شست و شو ماشینی ۲ h است [۶۶].

پس از شست و شوی مکرر پارچه های پلی لاکتیک اسید، زیر دست پارچه ها نرم تر می شود. احتمال می رود، این موضوع به دلیل شل شدن

- dimensional stability and dyeing properties of poly(lactic acid) fibres, *Color. Technol.*, 119, 128-133, 2003.
17. Idumach C.I. and Nwachukwu A.N., Comparative analysis of the effects of time of heat setting and wet processing on tensile properties of treated and untreated knitted PLA fabric, *Am. J. Mater. Sci. Eng.*, 1, 40-45, 2013.
 18. Idumach C.I., Nwachukwu A.N. and Akubue B., Effects of time of heatsetting on the tensile properties of ingeo™ poly(lactic acid) (PLA) fabric, *Int. J. Environ. Energ.*, 4, 797-806, 2013.
 19. Ingeo™ Fibre Apparel Product Guidelines, Dyeing and Finishing, www.ingeofibers.com.
 20. Ingeo™ Fibre Apparel, Suggested Care Claims, www.ingeofibers.com.
 21. Phillips D., Suesat J., Wilding M., Farrington D., Sandukas S., Sawyer D., Bone J., and Dervan S., Influence of different preparation and dyeing processes on the physical strength of the Ingeo fibre component in an Ingeo fibre/cotton blend. Part 1: Scouring followed by dyeing with disperse and reactive dyes, *Color. Technol.*, 120, 35-40, 2006.
 22. Phillips D., Suesat J., Wilding M., Farrington D., Sandukas S., Sawyer D., Bonee j., and Dervanf S., Influence of different preparation and dyeing processes on the physical strength of the Ingeo fibre component in an Ingeo fibre/cotton blend. Part 2: Bleaching followed by dyeing with disperse and reactive dyes, *Color. Technol.*, 120, 41-45, 2004.
 ۲۳. خدامی ا، مرشد م، هوشیار ش، شیشهران م، اثر هیدرولیز آنزیمی بر کاهش وزن و میزان پرزدهی پارچه‌های پنبه‌ای و مخلوط پنبه-پلی‌استر، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال یازدهم، ۳۰-۲۳، ۱۳۷۷.
 24. Ibrahim D. and El-Salam S.A., Enzymatic treatment of polyester fabrics digitally printed, *J. Text. Sci. Eng.*, 2, 113, 2012.
 25. Lee S.H. and Song W.S., Hydrolysis of polylactic acid fiber by lipase from porcine pancreas, *J. Korean Soc. Cloth. Text.*, 35, 670-677, 2011.
 26. Lee S., Kim I., and Song W., Biodegradation of polylactic acid (PLA) fibers using different enzymes, *Macromol. Res.*, 1-7, 2014.
 27. Lee S. and Song W., Surface modification of polyester fabrics by enzyme treatment, *Fiber. Polym.*, 11, 54-59, 2010.
 28. Kuang P., Lee J.H., Kim C.H., Ho K.M., and Constant K., Improved surface wettability of polyurethane films by ultraviolet ozone treatment, *J. Appl. Polym. Sci.*, 118, 3024-3033, 2010.
 29. Ouyang M., Yuan C., Muisener R.J., Boulares A., and Koberstein J.T., Conversion of some siloxane polymers to silicon oxide by UV/Ozone photochemical processes, *Chem. Mater.* 12, 1591-1596, 2000.
 30. Kumagai H., Kusunoki T., and Kobayashi T., Surface modification of polymers by thermal ozone treatments, *Azajomo*, 3, 1-10, 2007.
 31. Fattahi F., Izadan H., and Khoddami, A., Investigation into the effect of UV/ozone irradiation on dyeing behaviour of poly(lactic acid) and poly(ethylene terephthalate) Substrates, *Prog. Color, Color. Coat.*, 5, 15-22, 2012.
 32. Lane J.M. and Hourston J., Surface treatments of polyolefins, *Prog. Org. Coat.*, 21, 269-284, 1993.
 33. Romero-Sanchez M.D., Pastor-Blas M.M., Martin-Martinez J.M., and Walzak M.J., Addition of ozone in the UV radiation treatment of a synthetic styrene-butadiene-styrene (SBS) rubber, *Int. J. Adhes. Adhes.*, 25, 358-370, 2005.
 34. Bhattachary A. and Klapperich C.M., Mechanical and chemical analysis of plasma and ultraviolet-ozone surface treatments for thermal bonding of polymeric microfluidic devices, *Lab. Chip.*, 7, 876-882, 2007.
 35. Kim E.M. and Jang J., Surface modification of meta-aramid films by UV/ozone irradiation, *Fiber. Polym.*, 11, 677-682, 2010.
 36. Bhurke A.S., Askeland P.A., and Drzal L.T., Surface modification of polycarbonate by ultraviolet radiation and ozone, *J. Adhes.*, 83, 43-66, 2007.
 37. Vig J.R. and Lebus W., UV/ozone cleaning of surfaces, *IEEE Trans. Parts, Hybrids, Packag.*, 12, 364-370, 1976.
 38. Jahagirdar C.J. and Tiwari L.B., Plasma treatment of polyester fabric to impart the water repellency property, *Pramana J. Phys.*, 68, 623-630, 2007.
 39. Jacobs T., Declercq H., Geyter N.D., Cornelissen R., Dubruel P., Leys C., Beaurain A., Payen E., and Morent R., Plasma surface modification of polylactic acid to promote interaction with fibroblasts, *J. Mater. Sci: Mater. Med.*, 24, 469-478, 2013.
 40. Abdrabbo A., El-Dessouky H.M., and Fotheringham A.F., Treatment of polylactic acid fibre using low temperature plasma and its effects on vertical wicking and surface characteristics, *J. Text. Inst.*, 104, 28-34, 2013.
 41. Polettia G., Orsinia F., Raffaele-Addamob A., Riccardib

- C., and Sellic E., Cold plasma treatment of PET fabrics: AFM surface morphology characterisation, *Appl. Surf. Sci.*, 219, 311-316, 2003.
42. Ferreira M., Solarski S., Vroman P., Devaux, E., Leroux F., Campagne C., and Perwuelz A., Improvement of the hydrophilicity of PLA nonwoven by plasma treatment.
43. Wardman R.H. and Abdrabbo A., Effect of plasma treatment on the spreading of micro drops through polylactic acid (PLA) and polyester (PET) fabrics, *Autex. Res. J.*, 10, 1-7, 2010.
44. Dai X.J., Plessis J.D., Kyratzis I.L., Maurdev G., Huson M.G., and Coombs C., Controlled amine functionalization and hydrophilicity of a poly(lactic acid) fabric, *Plasma Process. Polym.*, 6, 490-497, 2009.
45. Bae G.Y., Jang J., Jeong Y.G., Lyoo W.S., and Min B.G., Superhydrophobic PLA fabrics prepared by UV photo-grafting of hydrophobic silica particles possessing vinyl groups, *J. Colloid Interface Sci.*, 344, 584-587, 2010.
46. Barthlott W. and Neinhuis C., Purity of the sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces, *Planta*, 202, 1-8, 1997.
۴۷. مزروعی سیدانی ز، خدامی ا، مروری بر ابرآبگریزی: خاصیتی ویژه در منسوجات، مجله علوم و فناوری نساجی، شماره ۷، ۱۳۹۲.
48. Khoddami A., Avinc O., and Mallakpour S., A novel durable hydrophobic surface coating of poly(lactic acid) fabric by pulsed plasma polymerization, *Prog. Org. Coat.* 67, 311-316, 2010.
49. Wang H., Wei Q., Wang X., Gao W., and Zhao X., Antibacterial properties of PLA nonwoven medical dressings coated with nanostructured silver, *Fiber. Polym.*, 9, 556-560, 2008.
50. Avinc O., Day R., Carr C., and Wilding M., Effect of combined flame retardant liquid repellent and softener finishes on poly(lactic acid) (PLA) fabric performance, *Text. Res. J.*, 82, 975-984, 2012.
51. Padee S., Thumsorn S., On J.W., Surin P., Apawet C., Chaichalermwong T., Kaabbuathong N., O-Charoen N., and Srisawat N., Preparation of poly(lactic acid) and poly(trimethylene terephthalate) blend fibers for textile application, *Energy Procedia*, 34, 534-541, 2013.
52. Jamshidian M., Tehrani E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry, S., Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release Studies, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 9, 552-571, 2010.
53. Oksman K., Skrifvars M., and Selin J.F., Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites, *Compos. Sci. Technol.*, 63, 1317-1324, 2003.
54. Kumar M., Mohanty S.K., and Nayak M.R., Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites, *Bioresour. Technol.*, 101, 8406-8415, 2010.
55. Tao Y., Yan L., and Jie R., Preparation and properties of short natural fiber reinforced poly(lactic acid) composites, *Met. Soc. China*, 19, 651-655, 2009.
56. Tokoro R., Vu D. M., Okubo K., Tanaka T., Fujii T., and Fujiura T., How to improve mechanical properties of polylactic acid with bamboo fibers, *J. Mater. Sci.*, 43, 775-787, 2008.
57. Avinc O., Wilding M., Gong H., and Farrington D., Effects of softeners and laundering on the handle of knitted PLA filament fabrics, *Fiber. Polym.*, 11, 924-931, 2010.
58. Haberereder P. and Bereck A., Part 2: Silicone softeners, *Rev. Prog. Color. Relat. Top.*, 32, 125-137, 2002.
59. Wahle B. and Falkowski J., Softeners in textile processing. Part I: An overview, *Rev. Prog. Color.*, 32, 118-124, 2002.
60. Avinc O., Owens H., Bone J., Wilding M., Phillips D. and Farrington D., A colorimetric quantification of softened polylactic acid and polyester filament knitted fabrics to 'Water-spotting', *Fiber. Polym.*, 12, 893-903, 2011.
61. Matsudair M., Zhang R., and Pan H., Bending vibrational properties of polyester shingosen fabrics, *J. Text. Mach. Soc. Japan*, 45, 101-107, 1999.
62. Washing and Dry Cleaning Performance, Cleaning Method on 100% PLA Knit Fabric, www.ingeofibers.com.
63. Karst D., Hain M., and Yang Y., Mechanical properties of polylactide after repeated cleanings, *J. Appl. Polym. Sci.*, 108, 2150-2155, 2008.
64. Karst D., Hain M., and Yang Y., Care of PLA Textiles, *Res. J. Text. Apparel*, 13, 69-74, 2009.
65. Reddy N., Nama D., and Yang Y., Polylactic acid/polypropylene polyblend fibers for better resistance to degradation, *Polym. Degrad. Stab.*, 93, 233-241, 2008.
66. Ingeo™ Fiber Comparison with Soy and Bamboo Fibers, www.ingeofibers.com

A Review on Poly(lactic acid) Textile Goods Finishing: Plasma Treatment, UV/Ozone Irradiation, Superhydrophobic Surface Manufacturing and Enzymatic Treatment

Farnaz Sadat Fattahi, Akbar Khoddami*, and Hossein Izadan

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-84156, Isfahan, Iran

Abstract

In recent years, poly(lactic acid), a new family of aliphatic polyester, is produced in the forms of fibers, yarn, and fabric. The polymer can be derived from 100% renewable resources such as corn. A number of processing treatments (i.e., scouring, bleaching, enzymatic treatment, cold plasma, and thermal setting) are applied on poly(lactic acid) textile goods to impart various physical-chemical properties. The textile finishing process is often just as important as innovative designs and colors. Some of these finishing processes can compensate for, or even reduce, fibre embrittlement caused by bleaching, dyeing and printing processes and increase the functionality of the product. Poly(lactic acid) is decomposed in 45-60 days in normal composting conditions (typically 50-60°C and 90-95% humidity). So, in this paper the best conditions for processing treatments and their effects on the physical-chemical properties of poly(lactic acid) textile goods will be reviewed.

Keywords

poly(lactic acid) fibres,
finishing treatment ,
thermal setting,
superhydrophobic surface,
plasma.

(*) Address Correspondence to A. khoddami, Email: khoddami@cc.iut.ac.ir