فرآیند تکمیل شیمیایی – مکانیکی طناب

ترجمه: مهندس نیما اخوان*

مقدمه

طناب یکی از مهمترین و جالبترین دسته منسوجات فنی می باشد که استفاده های بسیار متنوعی دارد. امروزه استفاده از انواع مختلف طناب در بسیاری از کاربردها نظیر صنایع دریایی و نظامی و یا کاربردهای تفریحی نظیر ورزش کوهنوردی بسیار رایج می باشد. همانگونه که مسلم است در هر کدام از کاربردهای فوق طناب مورد استفاده باید دارای خصوصیات ویژه و متمایزی باشد تا بتواند از عهده شرایط استفاده برآید. به همین دلیل علاوه بر انتخاب مناسب نوع ماده اولیه مورد استفاده در تولید طناب به ناچار باید از یکسری فرآیندهای تکمیلی جهت ایجاد خصوصیات مدنظر در آن استفاده نمود.

تاکنون شرکت های مختلفی در دنیا اقدام به تولید و عرضه سیستم های تکمیل طناب و نخهای تابیده قیطانی شکل نموده اند. وجه اشتراک تمامی این سیستم ها در اجرای متوالی فرآیندهای آغشته سازی با مواد شیمیایی، کشش و تثبیت می باشد. یکی از این سیستمها که در بازار موفق تر از سیستم‌های مشابه عمل نموده است به نام RopeCoater و RopeLiner (شکل ۱) شناخته می شود. هر دوی سیستمهای فوق توسط نرم افزارهای SPS اجرای دقیق و تحت کنترل فرایند تکمیل را تضمین می‌نمایند و بدین ترتیب می توان از آنها انتظار داشت تا خصوصیات نهایی مشابهی در اجرای متوالی و یا با فاصله عملیات تکمیل بر روی طناب ها داشته باشند. علاوه بر این از دیگر مشخصه های سیستمهای فوق می‌توان به اجرای یکنواخت فرآیند و کاهش میزان مصرف انرژی در مقایسه با سیستمهای قدیمی اشاره نمود. در این سیستمها می توان انواع مختلفی از طنابها با جنسهای پلی اتیلن با وزن مدول بالا (HMPE)، پلی استر، پلی آمید و ... را تحت عملیات تکمیل قرار داد.

در سیستمهای مذکور با توجه به خصوصیات نهایی مورد نظر از طناب و پارامترهای اولیه آن می‌توان از یکی و یا مجموعه ای از فرایندهای خشک کردن با اشعه با طول موج کوتاه ، اشعه مادون قرمز و یا حتی هوای خشک استفاده نمود. بدین ترتیب می‌توان علاوه بر مدیریت مصرف انرژی و بهینه‌سازی میزان تولید، خصوصیات کیفی مورد نظر را نیز در محصول نهایی ایجاد نمود تا طنابی با قابلیت تطبیق با استانداردهای مختلف تولید نمود.

همچنین به کمک بهره گیری از فرایند کشش می‌توان آرایش مولکولی الیاف و یا حتی آرایش الیاف در طناب را اصلاح نمود تا بدین ترتیب خصوصیات مکانیکی محصول نهایی با حفظ میزان استفاده از مواد اولیه بهبود یابد.

فرایند تکمیل طناب

در سیستم تکمیل RopeCoter تنها فرآیندهای آغشته سازی و خشک کردن / تثبیت انجام می‌شود (شکل ۲)، در حالیکه در سیستم تکمیل RopeLiner پس از اجرای عملیات آغشته سازی، فرایندهای دیگری نظیر پیش خشک کردن و سپس کشش و در نهایت خشک کردن / تثبیت انجام می‌شود (شکل ۳).

فرایند آغشته سازی

همانگونه که مشخص است در فرایند آغشته سازی طناب بایستی با محلولی از مواد شیمیایی موردنظر آغشته شود. در طی این فرآیند مواد شیمیایی مدنظر (که غالباً از پلی یورتانهای محلول در آب هستند) به داخل طناب و به سوی هسته مرکزی آن نفوذ می‌نمایند. جهت انجام این عملیات محلول موردنظر در حوضچه ای از جنس تفلون که سطح مایع در آن قابل کنترل است ریخته می شود. طناب پس از عبور از این حوضچه از دستگاه خاصی عبور می نماید تا اضافات مواد شیمیایی باقیمانده بر روی آن تمیز و برطرف شوند و سپس در صورت نیاز طناب خیس و آغشته شده از بین جفت غلطکهای فشارنده نیز عبور می کند.

تمامی این قسمتها مجهز به سیستمهای پنوماتیکی خاصی هستند تا بتوانند خود را با طنابهای با قطرهای مختلف تطبیق دهند تا بدینوسیله میزان برداشت مواد شیمیایی از حوضچه آغشته سازی بدون توجه به قطر طناب در حد معینی قابل تنظیم باشد.

فرایند خشک کردن

فرایند خشک کردن فرایند بسیار مهمی است و در طی آن نه تنها باید آب سطح طناب را تبخیر نمود بلکه باید آب موجود در لایه های میانی طناب را نیز برطرف کرد. علاوه بر این اکثر مواد شیمیایی بکار رفته در این فرایند نیازمند زمان ماندگاری معینی در درجه حرارت مشخص جهت تکمیل فرایند واکنشی خود با رشته های لیفی و یا حتی ایجاد پیوندهای

عرضی در بین مولکولهای خود می باشند.
بطور کلی ۳ روش مختلف جهت اجرای فرایند خشک کردن وجود دارد که عبارتند از: خشک کردن با اشعه با طول موج کوتاه، اشعه مادون قرمز و خشک کردن با هوای خشک.

خشک کردن با اشعه با طول موج کوتاه

از آنجاییکه امواج با طول موج کوتاه می توانند به سرعت به لایه های درونی طناب نفوذ نمایند به همین دلیل استفاده از این روش در اجرای فرایند پیش خشک کردن بسیار مناسب می باشد. همانگونه که مشخص است در این روش، فرایند خشک کردن از لایه های درونی طناب آغاز شده و به تدریج به سمت لایه های خارجی حرکت می کند.
غالباً با توجه به قطر طناب و نوع مواد بکار رفته در فرایند آغشته سازی می توان از این روش به عنوان روشی جهت خشک کردن نهایی نیز استفاده نمود تا بدین ترتیب راندمان تولید را در حدود ۸۰-۴۰٪ افزایش داد.
علاوه بر این روش، خشک کردن با امواج با طول موج کوتاه را می توان یک روش بسیار مناسب از لحاظ یکنواختی فرایند تولید و همچنین مصرف انرژی محسوب نمود، زیرا در این روش امواج با طول موج کوتاه باعث گرم شدن الیاف طناب نمی شوند و انرژی خود را بیشتر معطوف تبخیر آب و مایعات درون رشته های طناب می نمایند. به همین دلیل در این روش می توان فرایند خشک کردن را در دمای بسیار پایین نیز انجام داد که این موضوع در اجرای فرایند خشک کردن طناب های حساس نظیر طنابهایی از جنس HMPE و جلوگیری از ایجاد پدیده هایی نظیر حباب سطحی بسیار حائز اهمیت است.
با توجه به اینکه قسمت خشک کردن دقیقاً پس از قسمت آبگیر سطحی قرار دارد و فرایند آن نیز از لایه‌های درونی طناب آغاز گشته و تدریجاً به سمت لایه‌های خارجی حرکت می کند، مواد شیمیایی برداشت شده از حمام نیز کمتر در طی فرایندهایی نظیر کشش از درون ساختمان طناب خارج می‌شوند. به همین دلیل می توان از یکنواختی پخش شدن مواد شیمیایی در درون طناب اطمینان حاصل نمود.

خشک کردن با اشعه مادون قرمز

این روش نیز همانند روش خشک کردن با امواج با طول موج کوتاه یک روش بسیار مناسب جهت اجرای عملیات پیش خشک کردن طناب می باشد و غالباً در مواردی که پس از اجرای عملیات پیش خشک کردن بخواهیم از فرایند کشش نیز استفاده نماییم بکار بردن این روش توصیه می شود. البته باید توجه داشت که در این روش برخلاف روش قبل فرایند خشک کردن از لایه های خارجی آغاز می‌شود و به سمت لایه های داخلی حرکت می کند. به همین دلیل ادغام این فرایند با روش خشک کردن با امواج با طول موج کوتاه می تواند یک ترکیب بسیار بهینه باشد (شکل ۴). جهت اجرای یکنواخت فرایند خشک کردن با امواج مادون قرمز مخصوصاً در مورد طناب‌های حساس از جنس پلی اتیلن با مدول بالا محفظه امواج مادون قرمز از سه ناحیه حرارتی قابل تنظیم تشکیل می شود که رادیاتورهای مادون قرمز در آنها در موقعیت های ویژه ای قرار دارند تا به این روش فاصله زمانی مناسبی بین فرایندهای گرمایش و زمان دهی جهت پخت ایجاد شود و در نهایت فرایند به نحو بهینه ای بر روی طناب اجرا شود.

خشک کردن با هوای داغ

فرایند خشک کردن با هوای داغ غالباً به عنوان یک فرایند یکنواخت و مطمئن جهت اجرای عملیات پیش خشک کردن، خشک کردن و حتی تثبیت حرارتی شناخته می شود. در مورد طنابهای ضخیم فرایند خشک کردن به این روش معمولاً به زمان زیادی نیاز دارد زیرا در اینحالت خارج شدن رطوبت از مغز طناب به سمت پوسته آن بسیار آهسته و تدریجی انجام می پذیرد، به همین دلیل جهت اجرای این فرایند، طناب به صورت مارپیچ در درون محفظه دستگاه قرار می گیرد تا حتی الامکان طول بیشتری از طناب در داخل دستگاه وجود داشته باشد. البته به منظور کوتاه کردن زمان خشک کردن معمولاً پیشنهاد می‌شود که از فرایند پیش خشک کردن با امواج با طول موج کوتاه نیز استفاده شود. معمولاً جهت تنظیم دمای داخل محفظه خشک کردن می‌توان از حسگرهایی در داخل محفظه استفاده نمود، اما به کمک محاسباتی می توان این عملیات را با اندازه‌گیری دمای طناب در هنگام خروج از محفظه نیز بدست آورد تا بدین ترتیب کنترل مناسبی بر روی اجرای فرایندهای خشک کردن و با تثبیت حرارتی داشت.
جهت اجرای عملیات خشک کردن می توان دمای محفظه دستگاه را تا حد ۲۲۰ درجه سانتیگراد نیز بالا برد. با توجه به اهمیت کاهش مصرف انرژی در خشک کن های مجهز به سیستم چرخش و گردش هوا از شیرهای کنترلی خاصی به منظور تنظیم نسبت هوای تازه به هوای در چرخش در داخل دستگاه نیز استفاده می شود.

کشش طناب

اعمال فرایند کشش تحت حرارت جهت ایجاد آرایش در رشته های تشکیل دهنده طناب و همچنین آرایش مولکولی زنجیرهای پلیمری الیاف بسیار حائز اهمیت می باشد. اعمال این فرایند در مورد طناب‌های تولید شده از الیاف مصنوعی نظیر پلی استر و یا پلی‌اتیلن با مدول بالا منجر به ارتقای قابل ملاحظه‌ای در خصوصیات مکانیکی طناب نظیر استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی می‌شود.
جهت اجرای عملیات کشش طنابها از مجموعه‌ای از غلطکهای نگهدارنده و کشنده با نیروی اعمالی ثابت استفاده می شود (شکل ۵). می توان محفظه خشک کردن را در بین این غلطکها قرار داد و یا حتی این غلطکها را در داخل این محفظه جاسازی نمود تا با افزایش دمای رشته های طناب تا حد دمای نرم‌شدگی آنها عملیات کشش و ایجاد آرایش مولکولی مناسب در آنها در بهترین حالت ممکن انجام شود.
غالباً جهت اجرای عملیات کشش از ۱۰٪ نیروی لازم جهت پارگی طناب استفاده می شود و با توجه به نوع جنس الیاف طناب و همچنین زمان ماندگاری طناب در داخل محفظه خشک کن می‌توان دمای این محفظه را تنظیم نمود. در اکثر موارد دمای خشک کردن طنابهایی از جنس پلی‌اتیلن با مدول بالا در حدود ۱۴۰-۱۳۰ درجه سانتیگراد و طنابهای پلی‌استری در حدود ۲۲۰-۱۹۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. حسگری که وظیفه تنظیم و ثابت نگهداشتن نیروی کشش را بر عهده دارد یا بر مبنای تنظیم نیروی کشش و یا بر مبنای تنظیم درصد ازدیاد طول کار می کند.
به عنوان مثال در یک طناب پلی استری با ضخامت در حدود ۳ میلیمتر می توان با اعمال نیروی کششی در محدوده ۱۰۰ کیلوگرم استحکام طناب را تا ۴۰٪ افزایش داد.
جهت جلوگیری از تغییر شکل ناخواسته در حین فرایند کشش طنابهای با ضخامت تا ۶۰ میلیمتر معمولاً از غلطکهای کشش و نگهدارنده ۲ شیاری استفاده می شود (شکل ۶). البته این سیستم متناسب با نیاز مشتری قابل اصلاح و تغییر نیز می‌باشد. در مورد طنابهای ضخیم تر و یا نازک‌تر از ۲۵ میلیمتر این سیستم باید تعویض شود که

معمولاً دستگاه‌های کشش به گونه ای طراحی می‌شوند که تعویض غلطکها به راحتی و در سریع‌ترین زمان ممکن صورت پذیرد.
با توجه به این موضوع ماشینهای تکمیل طناب در دو گروه پایه ای تولید می شوند:
- ماشین آلات تکمیل طنابهای با ظرافت کمتر از ۲۵ میلیمتر که توانایی تحمل نیروی تا حد ۳ تن را دارند.
- ماشین آلات تکمیل طنابهای با ظرافت کمتر از ۶۰ میلیمتر که توانایی تحمل نیروی تا حد ۵ تن را دارند.
البته باید توجه داشت که این دو دسته از ماشین‌آلات بر مبنای نیاز حداکثری بازار طراحی شده اند و مسلماً برحسب سفارش می توان ماشین‌آلاتی مخصوص به طناب‌های بسیار ظریف‌تر و یا ضخیم‌تر نیز داشت.
با توجه به نوع کاربرد و همچنین فضای در دسترس می‌توان محفظه خشک کن با هوای گرم را به صورت عمودی و یا افقی در خط تولید قرار داد.
همچنین در دستگاه‌های جدید تمام پارامترهای فرایندی نظیر دما، سرعت، نیروی پارگی و ... را می‌توان به کمک نرم افزارهای خاصی که بدین منظور طراحی و تولید شده اند کنترل نمود (شکل۷). علاوه بر این با بهره گیری از قابلیت ذخیره‌سازی پارامترهای فرایند می توان تمام این پارامترها را جهت دوباره تولید محصول مشخصی با خواص عیناً یکسان نیز بکار بست.

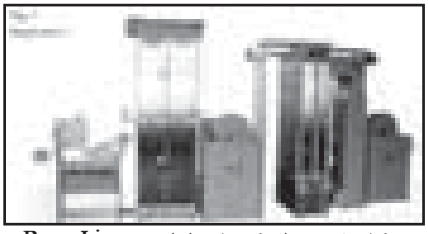
پی نوشت:

* کارشناس مهندسی نساجی، شرکت پارسیان پلی‌تکس

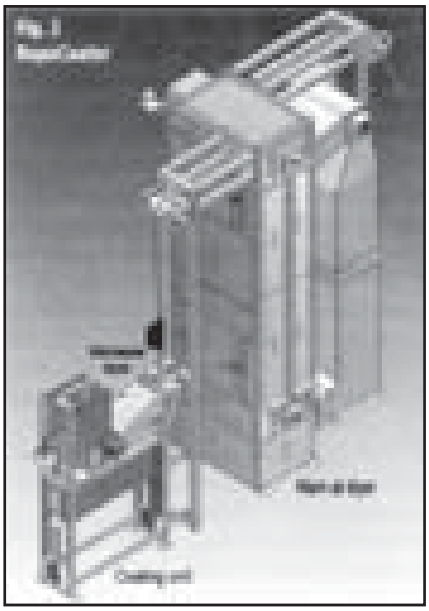
1- Cord
2- High Modulus PolyEthylene
3- MicroWave
4- Impregnation & Coating
5- Stripping Unit
6- Squeeze padder
7- Dwell time

ماخذ:

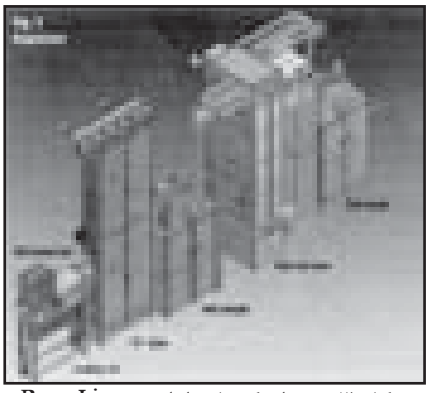
Bergrath، R.، "Economical rope finishing by energy saving operation modes and optimal raw material usage"، Melliand International، No. 2، May 2011، pp. 84-87.



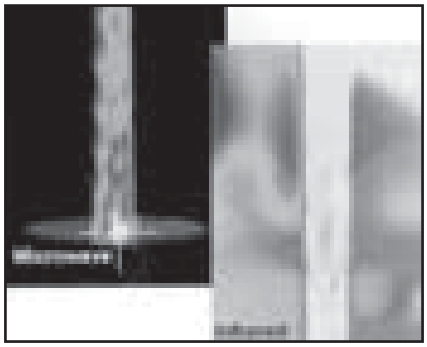
شکل ۱ – خط تکمیل طناب RopeLiner



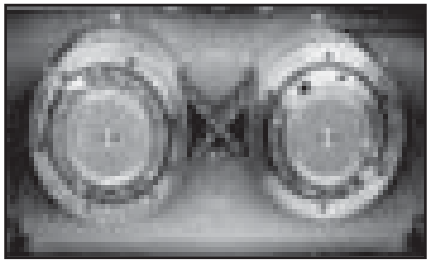
شکل ۲ – خط تکمیل طناب RopeCoater



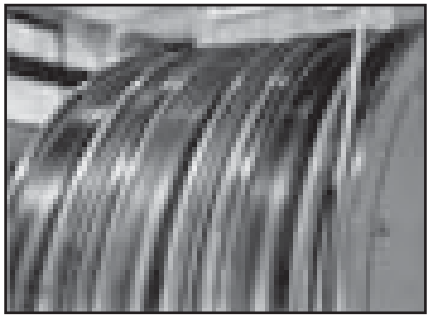
شکل ۳ – خط تکمیل طناب RopeLiner



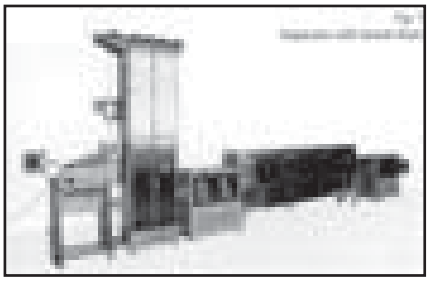
شکل ۴ – مقایسه دمای قسمتهای مختلف طناب در طی فرایندهای خشک کردن با امواج با طول موج پایین و اشعه مادون قرمز



شکل ۵ – غلطکهای نگهدارنده و کشنده طناب



شکل ۶ – شیار غلطکهای کشنده طناب



شکل ۷ – خط تکمیل طناب RopeLiner به همراه تونل حرارتی

شکل ۸ – نرم افزار کنترل پارامترهای تولید (دما، سرعت، نسبت کشش و ...)