تجزیه و تحلیل رفتار تنش و کرنش در نخ پلی پروپیلن

تهیه و تنظیم:محمود حکمتیان–کارشناس نساجی دفتر صنایع نساجی و پوشاک وزارت صنعت،معدن و تجارت

چکیده

در این مقاله به تجزیه و تحلیل رفتار تنش و کرنش و خواص ویسکوالاستیک در نخ پلی پروپیلن پرداخته می شود. نخ پلی پروپیلن تابعی از کشش دینامیک و اصطکاک طی پروسه تولید موکت تافتینگ می باشد که پارامترهای مکانیک مختلفی در آن تاثیر گذار می باشند.
در این مقاله مدل سه بعدی خطی و غیر خطی شامل حالت ارتجاعی و دارای تعادل در مبحث کشش و رهایی از تنش در نخ موکت پلی پروپیلن مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای به دست آمده با استفاده از داده های آزمایش با دو مدل خطی و غیر خطی مورد ارزیابی قرار گرفته تا بهترین نتیجه حاصل گردد. با استفاده از نتایج به دست آمده و داده های آزمایش مشخص گردید که مدل استاندارد خطی تجربی مناسب ترین مدل جهت آنالیز نوسان مشخصه ها در پروسه تولید نه موکت تافتینگ در بررسی رفتار نخ در کشش و تنش-کرنش می باشد.

مقدمه

مطالعه رفتار کشش و رهایی از تنش در مدل ویسکوالاستیک نقش مهمی در پروسه تولید و استفاده نهایی در نخ موکت از قبیل برجسته کردن نخ و بهبود چین خوردگی در موکت دارد.

طی بررسی‌های به عمل آمده مشکل در حالت ارتجاعی موکت مربوط به خواص نخ می‌باشد.

با توجه به مدل دینامیکی، رفتار دینامیکی (تغیر مکان، کشش، تنش) در فیلامنت‌ها در نتیجه پایداری در سرعت با توجه به نیروی وارد آمده شکسته شده و تحلیل رفته است. روش‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل خواص ویسکوالاستیک در منسوجات وجود دارند.

طی تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته تغیر شکل ساختمان الیاف پلی استر و آرامید و رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی توسط آنالیز میکروسکوپی انجام گرفته است. علاوه بر این محققین به بررسی رفتار ویسکوالاستیک مواد نساجی توسط مدل‌هایی از ترکیب حالت ارتجاعی و تعادلی.

بر اساس نظریه مدل ماکسول تغیر شکل تدریجی و پوسته $\varepsilon(t)=\sigma_c(1/E+1/\eta)t$ زیر تنش پایدار به صورت نامحدود و غیر قابل بازیابی تغیر شکل داده می شود.

بر اساس مدل کلوین رهایی مدول برابر $\sigma/\varepsilon_c=E$ بوده و طبق نظر هوکلن طی کشش پایدار رهایی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بر طبق دو مدل مذکور رهایی از تنش و تغیر شکل تدریجی و پیوسته در نخ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. رفتار ویسکوالاستیک در نخ پلی‌پروپیلن در حالت فنری و متعادل به صورت یک جسم کشسان و سیال نمایش داده می‌شود.

در مدل ویسکوالاستیک بررسی خواص کشش در نان وون پلی‌پروپیلن در طی پروسه‌های خشک کردن و رنگرزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توسط مدل ویسکوالاستیک خطی می‌توان به تجزیه و تحلیل رهایی از تنش و عکس آن در الیاف استیپل به کار می‌رود.

مدل سه بعدی غیرخطی به خوبی بیان کننده خواص کشش در نخ ریسیده شده بوده و به تشریح ازدیاد طول کشش در نخ ریسیده شده است.

رهایی از مدول در مدل ویسکوالاستیک به دست آمده در اسپان یارن به مدول ماکسول تعمیم یافته است.

با استفاده از خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن در الیاف ضد گلوله کاربرد دارد.

مطالعه ساختمان مکانیکی و رفتار تغیر تدریجی الیاف در تغیر شکل خواص نخ کاربرد دارد.

مدل کلوین در تجزیه و تحلیل پیشگویی کشیدگی الیاف در دو مدل ارتجاعی و گردش دورانی با در نظر گرفتن بار الکتریکی ثابت و دوره‌ای توسعه یافته است.

مدل غیر خطی ماکسول با استفاده از پارامترهای مناسبی که از داده‌های آزمایش به دست آمده که در محاسبه رهایی بعد از بارگذاری دینامیکی استفاده شده در مقاله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که دانستن این مطالب در عملکرد مکانیکی در نخ موکت کاربرد دارد.

در مقایسه نخ موکت نسبت به سایر نخ‌های مشابه بیشتر به صورت فیلامنت بوده و از استحکام و قابلیت ارتجاعیت بالا و سرعت بازیابی بیشتری برخوردار است. نخ‌های مورد استفاده در ساختمان موکت تافتینگ در مبحث کشش دینامیکی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفتند

در فرآیند تولید موکت دانستن اثر خواص ویسکوالاستیک در نخ‌ها بسیار حائز اهمیت است. رفتار مکانیکی در نخ موکت به واسطه مدول مکانیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای این مقصود دو مدل ویسکوالاستیک که به تجزیه و تحلیل رفتار کشش و رهایی از تنش

که شامل انواعی از پارامترها می‌باشند لحاظ شده است. با بازبینی مدل‌ها مقادیر بدست آمده از آزمایش در همه پارامترها ثابت بودند.

به وسیله بررسی خواص کشش ویسکوالاستیک، اختلاف کشش در نخ طی پروسه تافتینگ مورد تجزیه و تحلیل قرار میژ گیرد.

مدول مکانیکی

در این مقاله اولین مدل انتخاب شده مدل خطی استاندارد (مدل کلوین) و دومین مدل مدل ماکسول می‌باشد که به صورت غیر خطی بوده که مدل‌ها شامل حالت ارتجاعی و متعادل که اجزا به صورت ویسکوزیته و الاستیسیته در شکل یک نشان داده شده است. ثابت قابلیت ارتجاع الاستیسیته $(cN.tex^{-1})$ که این تغییر شکل به صورت η و $(cN.s.tex^{-1})$ می‌باشد. در شکل یک (ب) که مدل ارتجاعی غیر خطی بوده که معادله تنش σ و کشش ε به صورت $\sigma = b\varepsilon^2$ می باشدکه در اینجا تنش σ و کشش ε در حالت ارتجاعی و (ب) شامل $(cN.tex^{-1})$ به صورت حالت ارتجاعی غیر خطی می باشد.

معادله (۲) و (۳) نشان‌دهنده اختلاف میان تنش $\sigma\ (cN/tex)$ و کشش $\varepsilon\ (\%)$ می‌باشد:

(۲)

$$\text{Model (a): } \sigma + \frac{\eta}{E_1+E_2}\dot{\sigma} = \frac{E_1E_2}{E_1+E_2}\varepsilon + \frac{E_2\eta}{E_1+E_2}\dot{\varepsilon}$$

(۳)

$$\text{Model (b): } \dot{\sigma} + \frac{E}{\eta}\sigma = (E+2b\varepsilon)\dot{\varepsilon} + \frac{Eb}{\eta}\varepsilon^2$$

هنگامی که نخ موکت با سرعت ثابت ۱۰۰ میلی‌متر در دقیقه تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در دقیقه کشیده شده، تنش متناسب با t در نظر گرفته شده بنابراین بوده و عبارت زیر بدست می‌آید:

(۴)

$$k = \frac{v}{l} = 1,\ \varepsilon = t$$

با در نظر گرفتن معادله (۴) و معادله تنش –کشش (۲) و (۳) و شرایطی که $t = 0,\ \sigma_0 = 0$ است معادله منحنی کشش به صورت زیر می‌باشد:

(۵)

$$\text{Model (a): } \sigma = \frac{E_1E_2(E_1+E_2)-\eta^2E_2}{(E_1+E_2)^2}\left(1-e^{-\frac{E_1+E_2}{\eta}\varepsilon}\right) + \frac{E_2\eta}{E_1+E_2}\varepsilon$$

(۶)

$$\text{Model (b): } \sigma = \eta\left(1-e^{-\frac{E}{\eta}\varepsilon}\right) + b\varepsilon^2$$

برای رهایی از تنش در کشش ثابت، معادله تنش (۷) و (۸) با استفاده از معادله (۲) و (۳) توسط تغییر شکل لاپلاس به صورت زیر بدست می‌آید:

(۷)

$$\text{Model (a): } \sigma(t) = \frac{E_1E_2}{E_1+E_2}\varepsilon_c\left(1+\frac{E_2}{E_1}e^{-t/\tau}\right),\ \tau = \eta/(E_1+E_2)$$

(۸)

$$\text{Model (b): } \sigma(t) = b\varepsilon_c^{\,2} + E\varepsilon_c e^{-\frac{E}{\eta}t}$$

آزمایش

با استفاده از یک دستگاه تست عمومی خواص کشش در نخ موکت پلی‌پروپیلن مورد ارزیابی قرار گرفته است. تست‌های مکانیکی کشش در شرایط آزمایشگاهی استاندارد (دما ۲۰ درجه سانتی گراد، رطوبت ۶۵ درصد) و طول نمونه کالاهای مورد استفاده قرار گرفته شده از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر و با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر در دقیقه و سرعت نمونه‌گیری ۱۰ پوینت در ثانیه انجام شد.

تست‌های رهایی تنش با همان دستگاه قبلی با استفاده از ۱۰ نمونه در نظر گرفته شده با کشش ثابت ۱۵ درصد با نیروی ۲ نیوتنی در محدوده ویسکوزیته خطی در کمتر از ۶ دقیقه صورت پذیرفت.

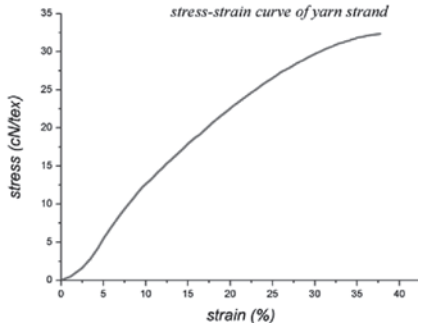
نتایج و تشریح مطالب

یک نمونه بارز از منحنی کشش و رهایی از تنش در نخ پلی پروپیلن طی ده آزمایش انجام شده در شکل (۲) و (۳) نمایش داده شده است.

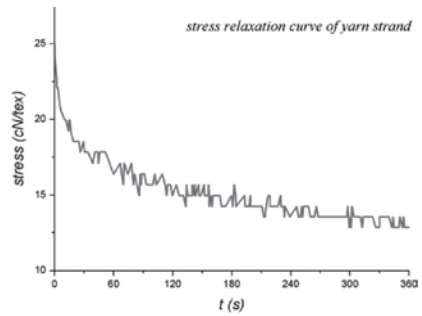
در این مقاله در توصیف رفتار مکانیکی نخ سه پارامتر در مدل ویسکوالاستیک مورد استفاده واقع شده و برای استخراج مجزا پارامترهای ویسکوالاستیک از داده‌های آزمایش و معادله‌های مربوط به آن به کار برده شد.

با استفاده از معادله (۵) و (۶) مشخص می‌شود که تنش تابعی از کشش با پارامتر η و E۲, E۱ می‌باشدکه با استفاده از داده‌های مناسب آزمایش بدست می‌آید (شکل۴ و ۵) که در معادله (۵) و (۶) استفاده می‌شودکه در جدول (۱) و (۲) مشاهده می‌شود.

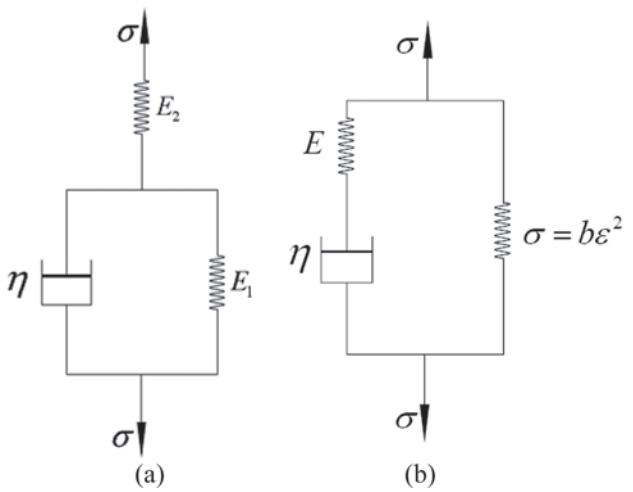
شکل (۴) بیانگر نتایج آزمایش و منحنی در خصوص رفتار کشش توسط استاندارد خطی و غیر خطی در مدل ویسکوالاستیک می‌باشد.



شکل۲) منحنی تنش-کرنش در نخ پلی پروپیلن بدست آمده از آزمایشات کشش



شکل۲) منحنی رهایی از تنش نخ پلی پروپیلن در موکت



a) مدل خطی استاندارد b) مدل غیرخطی استاندارد
شکل۱) مدل مکانیکی ویسکوالاستیک

لازم به ذکر است که در خصوص رهایی از تنش اطلاعات مشابهی بدست می‌آید.

همان طور که در شکل (۴) و (۵) دیده می‌شود منحنی داده‌های آزمایش برای مدل خطی استاندارد مناسب و همان‌طور که در شکل (۴) قسمت (b) نمایان است منحنی داده‌های آزمایش برای مدل غیرخطی استاندارد مناسب نمی‌باشد. معادله منحنی مناسب برای داده‌های کشش طبق دو معادله زیر شرح داده شده است:

(۹)

$$\text{Model (a):}\ \sigma = 7.64(1-e^{-0.12\varepsilon}) + 0.73\varepsilon$$

(۱۰)

$$\text{Model (b):}\ \sigma = 7.67(1-e^{-0.34\varepsilon}) + 0.02\varepsilon^2$$

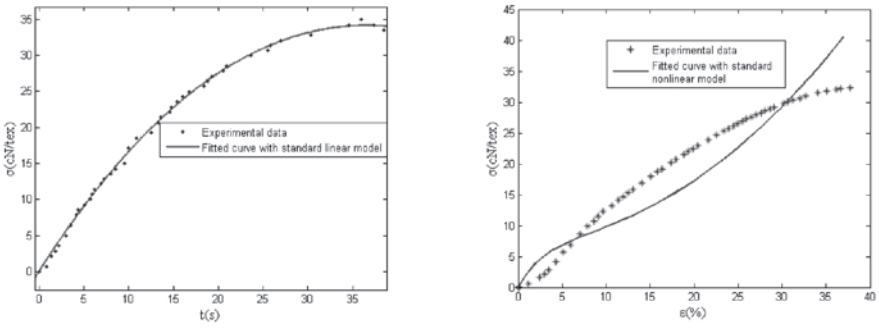
شکل(۴) قسمت (a) نشان‌دهنده استاندارد خطی در مدل ویسکوالاستیک بوده که تغییر شکل نخ در موکت پلی‌پروپیلن است. همان گونه که منحنی‌های رهایی از تنش به دست آمده با استفاده از داده‌های آزمایش در مدل ویسکو الاستیک استاندارد خطی و غیرخطی در شکل (۵)نشان می‌دهد برای هر دو استاندارد مناسب می‌باشد. معادله منحنی‌های رهایی از تنش طبق دو معادله زیر شرح داده شده است:

(۱۱)

$$\text{Model (a):}\ \sigma(t) = 0.91\varepsilon_c(1+0.6e^{-0.01t})$$

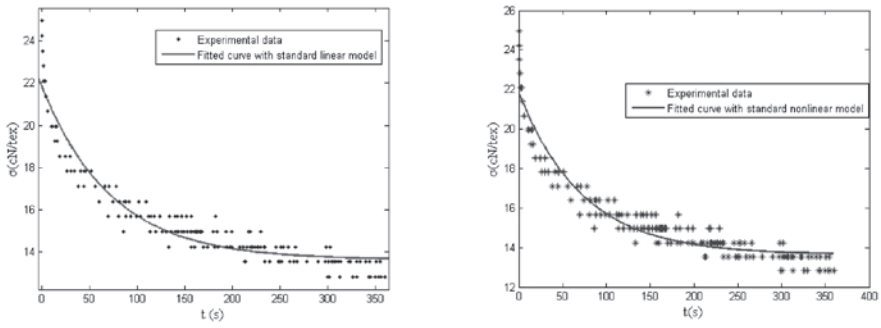
(۱۲)

$$\text{Model (b):}\ \sigma(t) = 0.06\varepsilon_c^{\,2} + 0.55\varepsilon_c e^{-0.014t}$$



(a) (b)

شکل٤) منحنی و داده‌های آزمایش برای خواص کشش نخ



(a) (b)

شکل٥) منحنی و داده‌های آزمایش برای رهایی از تنش

نتیجه‌گیری

در این مقاله به واسطه نتایج تجربی، خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پیش بینی داده‌های مکانیکی نتایج تست‌های کشش و رهایی از تنش در مدل استاندارد خطی و غیر خطی ویسکوالاستیک و بررسی‌های پارامترهای مربوط به آن در این مقاله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی رفتار مکانیکی در نخ به وسیله داده‌های آزمایش در مدل استاندارد خطی ویسکوالاستیک امکان‌پذیر می‌باشد. مدل استاندارد غیر خطی ویسکوالاستیک در پیش‌بینی رفتارهای رهایی از تنش کاربرد داشته و برای بررسی رفتار کشش به کار نمی آید. برای داده‌های آزمایش خط منحنی در مدل ویسکوالاستیک غیرخطی مناسب نمی‌باشد. پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل استاندارد خطی در همانندسازی شماری از نوسان ویژگی‌ها و تجزیه و تحلیل تنش در نخ در پروسه تافتینگ بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده نزدیک بودن اطلاعات به دست آمده با آزمایش‌های کشش واقعی بود. مدل مورد بحث در این مقاله در بررسی نوسان‌های نخ و دیگر مشکلات دینامیکی در پروسه تافتینگ کاربرد دارد.

منابع:

1-Chailleux E, Davies P.Modelling the non-linear viscoelastic and viscoplasticbehaviour of aramid fibre yarns. Mech TimeDepend Mat.2003;7:291-303.

2-Chailleux E, Davies P.Non-Linear Viscoelastic Viscoplastic Model for the Behaviour of Polyester Fibres. Mech Time-DependMat.2005;9:147-160.

3-Liu H, Tao XM, Choi KF, Xu BG. Analysis of the relaxation modulus of spun yarns. Text Res J2010;80:403-410.

4-Asayesh A, Jeddi AAA. Modeling the creep behavior of plain woven fabrics constructed from textured polyester yarn. Text ResJ.2010;80:642-650.

5-Asayesh A, Jeddi AAA, Ghadimi P. Modeling the fatigue behavior of plain woven fabrics constructed from textured polyester yarn. Text Res J.2009;79:1213-1222.

جدول۱) برآورد پارامترهای کشش در نخ پلی پروپیلن

Model（a）	E_1/cN.tex^{-1}	E_2/cN.tex^{-1}	η/ cN.s.tex^{-1}	τ/s
	1.98	0.09	5.32	2.57
Model（b）	E/cN.tex^{-1}	b/cN.tex^{-1}	η/ cN.s.tex^{-1}	τ/s
	2.63	0.02	7.67	2.92

جدول۲) برآورد پارامترهای رهایی از تنش در نخ

Model（a）	E_1/cN.tex^{-1}	E_2/cN.tex^{-1}	η/ cN.s.tex^{-1}	τ/s
	2.42	1.46	281.08	72.51
Model（b）	E/cN.tex^{-1}	b/cN.tex^{-1}	η/ cN.s.tex^{-1}	τ/s
	0.55	0.06	39.73	72.24