

УДК 681.083:678.01

Л. Ф. АРТЕМЕНКО, В. В. КОСТРИЦЬКИЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Детальна інтерпретація в'язкопружних властивостей тканин неможлива без дослідження поведінки їх у короточасній області, недоступної для статичних випробувань на повзучість і релаксацію напружень. Це поведінка може бути оцінено лише за результатами динамічних випробувань тканин у тім же температурному діапазоні, що і статичні іспити. Наведені результати досліджень динамічних властивостей текстильних матеріалів залежно від частоти навантаження та температури експлуатації та наведений аналітичний опис їх згідно теорії пружної спадковості. Дослідження проведені в інтервалі температур 20...80 °С.

Ключові слова: в'язкопружні властивості, релаксація, в'язкопружна спадковість.

Детальна інтерпретація в'язкопружних властивостей тканин неможлива без дослідження поведінки їх у короточасній області, недоступної для статичних випробувань на повзучість і релаксацію напружень. Це поведінка може бути оцінено лише за результатами динамічних випробувань тканин у тім же температурному діапазоні, що і статичні іспити [1, 2].

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є динамічні в'язкопружні властивості текстильних матеріалів. Метод дослідження – принцип в'язкопружної спадковості.

Постановка завдання

Основним інформативним параметром динамічних методів є комплексний динамічний модуль пружності матеріалу $E^* = E_1 + iE_2$ [1, 2]. Зазвичай вважають, що дійсна частина динамічного модулю пружності (умовно-миттєвого) співпадає фазою з деформацією та характеризує енергію накопичену матеріалом у результаті деформування. Уявна частина модуля пружності - модуль втрат. Модуль втрат відображає розсіяння енергії та не співпадає по фазі з деформацією. В залежності від співвідношення між дійсною та уявною частинами комплексного динамічного модуля пружності можна робити висновки щодо структурного та фізичного стану текстильного матеріалу, що і досліджується у даній роботі.

Результати та їх обговорення

При низьких частотах полімер знаходиться у високо еластичному стані та має низький модуль E_1 , який практично не залежить від частоти. При високих частотах полімер стає склоподібним, модуль E_1 якого також слабо залежить від частоти. При середніх частотах полімер веде себе як в'язкопружне тіло та його модуль E_1 збільшується із зростанням частоти. Зручно у дослідженнях оперувати величиною тангенсу кута механічних втрат $-tg\delta = E_2 / E_1$. Смуга в'язкопружних властивостей характеризується також наявністю екстремуму залежності $tg\delta$. Максимум $tg\delta$ має місце за більш низької частоти, ніж максимум E_2 . В роботі умовно миттєвий модуль пружності E_1 було визначено з допомогою динамічних методів [1, 3]. Дослідження динамічних властивостей тканин проводилося за методикою та на іспитовій установці [4].

Визначено модуль пружності матеріалу методом повздовжніх резонансних коливань [4] з диференційного рівняння

$$\frac{\partial^2 U}{dt^2} = \frac{E_1}{\rho} \frac{\partial^2 U}{dx^2}, \quad (1)$$

де E_1 – умовно-миттєвий модуль пружності матеріалу МПа; ρ – щільність матеріалу кг/м³; U – переміщення залежить як від часу так і від положення повздовжнього перетину стрижня, від координати x . Враховуючи динаміку експерименту $U = \sigma \cos(\omega t)$, де σ – напруження матеріалу. Розв’язавши рівняння, задовольняючи початковим умовам отримаємо значення умовно-миттєвого модуля пружності

$$E_1 = \frac{4\pi^2 m_{sp} L}{FT^2}, \quad (2)$$

де m – маса стрижня, кг; L – довжина зразка матеріалу, м; F – площа поперечного перетину зразка, м²; T – період резонансних коливань, с. Похибка при визначенні модуля пружності визначається, як похибка опосередкованих вимірювань

$$\varepsilon_{G_0} = \frac{4\pi^2}{F^2} \sqrt{(L^2 \Delta m_{sp}^2 + m_{sp}^2 \Delta L^2) F^2 + m_{sp}^2 L^2 \Delta F^2}, \quad (3)$$

де Δm_{sp} , ΔL , ΔF – похибки при визначенні m_{sp} – маси вантажу, довжини L , та площі поперечного перетину зразка F відповідно. Декремент згасання визначено методом резонансної западини [4]

$$\delta = (T_2 - T_1) T_p \pi / (T_1 T_2), \quad (4)$$

де T_1 та T_2 – періоди коливань, відповідно вище та нижче резонансної частоти коливань, с. Похибка декременту згасання визначається як

$$\varepsilon_\delta = \sqrt{\frac{(T_1 - T_2)^2 \Delta T_p^2}{T_1^2 T_2^2 (n^2 - 1)} + \frac{T_p^2}{n^2 - 1} \left(\frac{\Delta T_1^2}{T_1^4} + \frac{\Delta T_2^2}{T_2^4} \right)}, \quad (5)$$

де ΔT_p – похибка при визначенні періоду резонансних коливань, ΔT_1 та ΔT_2 – похибка при визначенні T_1 та T_2 відповідно, с.

На рис.1 приведені залежності дійсної складової (надалі динамічного модуля пружності) функції комплексного модуля $E_I(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4) (крива 1) і тканини артикулу 15034 (вовна 88, еластин 12) (крива 2) від циклічної частоти навантаження з постійною амплітудою деформації, рівної $b_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ м.

Видно, що в діапазоні частот 100...115 Гц спостерігається незначне збільшення динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$ з 9,68 МПа до 12,63 МПа, для тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4), з 42,78 МПа до 53,56 МПа для тканини артикулу 15034 (вовна 88, еластин 12) і з 38,75 МПа до 42,54 МПа для тканини артикулу 15634 (вовна 88, поліестер 12). Така незначна зміна динамічного модуля пружності характерна для склоподібного поведіння досліджених тканин при малих часах випробування, що погоджується з даними, отриманими зі статичних випробувань на повзучість і релаксацію напружень.

Рис. 2 ілюструє вплив статичного напруження на динамічний модуль пружності $E_I(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4), визначений при температурах 20°C (крива 1), 40°C (крива 2), 60°C (крива 3) і 80°C (крива 4).

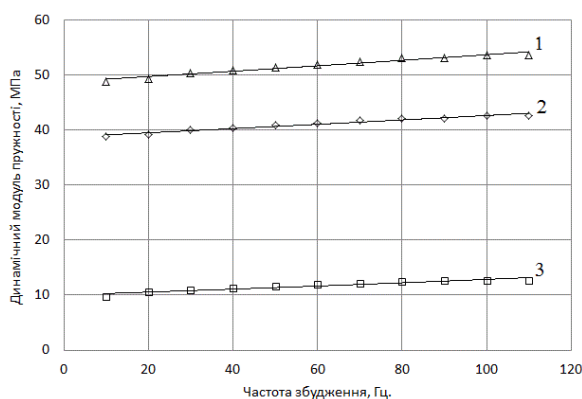


Рис. 1. Залежність динамічного модуля пружності $E'(f)$ тканин артикулу 15034 (вовна 88, еластин 12) (крива 1), артикулу 15634 (вовна 88, поліестер 12) (крива 2) і артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4) (крива 3) від частоти збудження при температурі $T = 20^\circ\text{C}$.

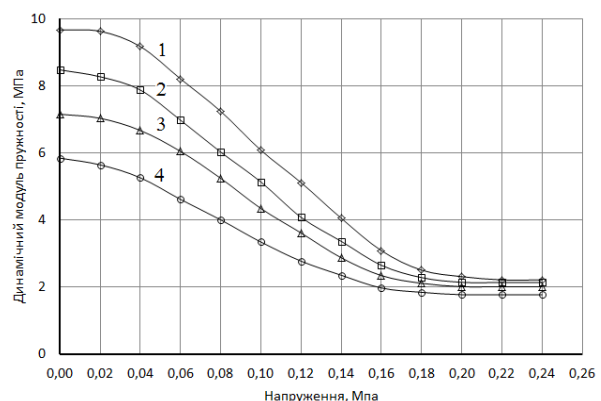


Рис. 2. Залежність динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4) від рівня постійного напруження, при температурах $T=20^\circ\text{C}$ (крива 1), $T=40^\circ\text{C}$ (крива 2), $T=60^\circ\text{C}$ (крива 3), $T=80^\circ\text{C}$ (крива 4).

Видно, що при всіх температурах характер зміни динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$ аналогічний. При невеликих напруженнях спостерігається практично постійне значення динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$ на рівнях, обмежених нижніми довірчими інтервалами для 95% довірчої імовірності, рівних 9,65 МПа для температури $T=20^\circ\text{C}$, 8,5 МПа для температури $T=40^\circ\text{C}$, 7,2 МПа при температурі $T=60^\circ\text{C}$ і 5,7 МПа при температурі $T=80^\circ\text{C}$. Зі збільшенням статичного напруження приблизно до 0,20 МПа при температурі $T=80^\circ\text{C}$, 0,18 МПа при температурі $T=60^\circ\text{C}$, 0,17 МПа при температурі $T=40^\circ\text{C}$ і 0,16 МПа при температурі $T=20^\circ\text{C}$, спостерігається практично лінійне зменшення динамічного модуля пружності, причому величина зниження динамічного модуля пружності зменшується з ростом температури. Надалі при всіх температурах спостерігається прагнення динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$, з ростом напруження до постійного значення, причому ці значення при температурі $T=80^\circ\text{C}$ (2,02 МПа) і температурі $T=20^\circ\text{C}$ (1,88 МПа) відрізняються не більше ніж на 7,5%, що дозволяє зробити висновок про рівність цих значень. Механізм цього явища можна розглянути, якщо використовувати те обставине, що кількість тепла, що виділяється в одному циклі навантаження, пропорційно тангенсу кута механічних утрат $\text{tg}\delta$ і квадрату амплітуди напруження σ_0 , і зворотньо пропорційно динамічному модулю пружності $E_I(\omega)$ [5]

$$Q = \frac{\pi \cdot \text{tg}\delta \cdot \sigma_0^2}{E_I(\omega)}. \quad (6)$$

Таким чином, перший ефект, що спостерігається з ростом амплітуди напруження - це підвищення температури зразка. Підвищення температури зразка веде до зниження динамічного модуля пружності $E_I(\omega)$, тоді як тангенс кута механічних утрат у даному температурно-тимчасовому діапазоні змінюється незначно. Зменшення динамічного модуля зразка викликає, у свою чергу, подальше підвищення температури зразка. У таблиці приведено значення характеристичних часів релаксації τ досліджених тканин при температурі $T=20^\circ\text{C}$ визначених за допомогою графоаналітичного методу [7, 8] і аналітичним методом [6].

Значення характеристик часів релаксації тканин при температурі $T=20\dots 100^\circ\text{C}$

Артикул тканини	Ділянка в'язкопружних властивостей	Час релаксації, с							
		Часовий інтервал опису властивостей							
		$1\dots 72 \cdot 10^2$, с.				$72 \cdot 10^2\dots 72 \cdot 10^5$, с			
		Графоаналітичний метод [7, 8]		Метод [6]		Графоаналітичний метод [7, 8]		Метод [6]	
		τ , с.	\bar{S}_τ	τ ,	\bar{S}_τ	τ , с.	\bar{S}_τ	τ , с.	\bar{S}_τ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3683 (вовна 96, еластин 4)	Лінійна	11530	1844	11075	442	22867	2124	22560	512
	Нелінійна	11842	1682	10695	486	22687	2085	22360	580
15034 (вовна 88, еластин 12)	Лінійна	11446	1726	11035	458	22970	2212	22830	608
	Нелінійна	11857	1822	10730	512	22760	2084	22560	624
15634 (вовна 88, поліестер 12)	Лінійна	10420	1720	10060	510	20480	2034	20000	514
	Нелінійна	10860	1845	9980	492	20000	2246	19650	564

Вивчення динамічних властивостей аморфно-кристалічних полімерів при підвищених температурах ускладнено, на нашу думку процесами кристалізації, що приводять до зміни ступеню кристалічності. Зміна морфологічних параметрів НМС полімерів у процесі циклічного нагрівання приводить до зміни їх релаксаційних властивостей. При цьому важливе прикладне значення має точне визначення спектра часів релаксації, за допомогою якого, використовуючи співвідношення, приведені в [6], можна одержати всі спадкоємні функції. Однак для якісного аналізу поведінки матеріалів можуть бути використані спрощені підходи, у яких в'язкопружні властивості описуються за допомогою одного, двох і більш часів релаксації [7, 8]. На відміну від звичайно використовуваних графоаналітичних методів [7, 8] визначення часів релаксації, даний метод не зв'язаний з похибками обробки кривої релаксації, а похибки визначення динамічних характеристик досліджуваних полімерів на два порядки нижче чим похибки статичних випробувань. Сумарна похибка виміру часу релаксації τ відповідно до оцінок, проведеним згідно з методом [6], не перевищує 2–3%.

Висновки

Як видно з результатів таблиці, значення часів релаксації τ , обчислених обома методами, близькі по величині і відрізняються не більше ніж на 10...12%. Однак графоаналітичний метод визначає час релаксації з більшою похибкою, про що свідчать великі значення середнього квадратичного відхилення \overline{S}_τ (графи 4, 6, 8, 10). Дослідження динамічних властивостей тканин показало, що в області низьких частот тканина артикулу 3683 (вовна 96, еластин 4) і тканина артикулу 15034 (вовна 88, еластин 12) виявляють властивості, характерні скловидному стану полімерів. Динамічні модулі пружності $E_1(\omega)$ і втрат $E_2(\omega)$ істотно залежать від температури випробування і термічної передісторії одержання і переробки полімеру у складі пряжі, з якої виготовляють тканину, що приводить до зміни НМС полімерної складової у співвідношенні між аморфною і кристалічною компонентами.

Список використаної літератури

1. Постников В.С. Исследование молекулярного движения в твердых полимерах методом внутреннего трения. Успехи химии, – 1967.– № 10.– с. 1842–1879.
2. Березненко М.П., Кострицький В.В., Корзун В.В., Слободянюк В.О., Березненко С.Н. Автоматизований обчислювальний комплекс для досліджень якості показників текстильних матеріалів // Наукові праці учасників конференції країн СНД «Якість і конкурентна здатність товарів широкого вжитку».– Хмельницький. – 1993. – С. 74–75.
3. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. – М.: 1963. – 536 с.
4. Кострицький В.В. Методика и испытательная установка для исследования динамических свойств полимерных материалов // Заводская лаборатория. – 1990. т. 56. – № 5. – С. 98–102.
5. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. – К.: Наукова думка. –1971. – 248 с.
6. Кострицький В.В., Скиба М.Є., Артеменко Л.Ф., Березненко М.П., Березненко С.М. Основи технологій формування текстильних та шкіряних виробів. – К.: КНУТД. – 2012. – 264 с.
7. Гермелис А.А., Латищенко В.А. Определение реологических характеристик полимерных материалов из статических кривых, кривых ползучести и релаксации. Механика полимеров, – 1967. – № 6.– С. 977–988.

8. Уржумцев Ю.С., Максимов Р.Д. Графоаналитическое определение реологических коэффициентов. *Механика полимеров.* – 1968.– № 4.– с. 754–757.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2012

Исследование динамических вязкоупругих свойств текстильных материалов

Артеменко Л.Ф., Кострицкий В.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Детальная интерпретация вязкоупругих свойств тканей невозможна без исследования поведения их в кратковременной области, недоступной для статических испытаний на ползучесть и релаксацию напряжений. Это поведение может быть оценено лишь за результатами динамических испытаний тканей в определенном температурном диапазоне, что и статические экзамены. Приведены результаты исследований динамических свойств текстильных материалов в зависимости от частоты амплитуды и температуры эксплуатации и приведено аналитическое описание их согласно теории упругой наследственности. Исследования проведены в интервал температур 20...80 °С.

Ключевые слова: *вязкоупругие свойства, релаксация, вязкоупругая наследственность*

Study of Dynamic viscoelastic properties of materials

Artemenko L., Kostytsky V.

Kiev National University technology and Design

The detailed interpretation of viscoelastic properties of fabrics is impossible without research of conduct them in a brief area, inaccessible for static tests on a creep and relaxation of tensions. This conduct can be appraised only as a result of dynamic tests of fabrics in a certain temperature range, what static examinations. The results of researches of dynamic properties of textile materials are resulted depending on frequency of amplitude and temperature of exploitation and analytical description is resulted them in obedience to the theory of resilient heredity. Researches are conducted in the interval of temperatures 20...80 °С.

Keywords: *viscoelastic properties, relaxation, viscoelastic heredity.*