

# УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КРИВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*На основі проведених експериментів по визначенню термомеханічних характеристик текстильних матеріалів розроблена методика їх апроксимації аналітичними функціями, що дозволяє у явному вигляді визначити характерні параметри якісних переходів у матеріалі*

*Ключові слова: текстильні матеріали, термомеханічні властивості, волого-теплова обробка, термомеханічні криві*

*На основе проведенных экспериментов по определению термомеханических характеристик текстильных материалов разработана методика их аппроксимации аналитическими функциями, что позволяет в явном виде определить характерные параметры качественных переходов в материале*

*Ключевые слова: текстильные материалы, термомеханические свойства, влажно-тепловая обработка, термомеханические кривые*

**С. В. Челишева**

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедрою\*  
Контактний тел. (057) 733-79-69  
E-mail: kafedra@tlp.uipa.kharkov.ua

**М. Л. Рябчиков**

Старший викладач\*  
Контактний тел. (057) 733-78-14  
E-mail: kafedra@tlp.uipa.kharkov.ua

\*Кафедра технологій і дизайну

Українська інженерно-педагогічна академія  
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

## 1. Вступ

В процесі виготовлення швейних виробів значне місце займає волого-теплова обробка, яка безпосередньо впливає на якість готового виробу. Для вибору режимів волого-теплової обробки і обладнання велике значення мають термомеханічні характеристики матеріалів. Отже питання вивчення термомеханічних властивостей є актуальним, бо спрощує технологічний процес виготовлення виробів і підвищує якість продукції.

## 2. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Матеріали для виробів легкої промисловості мають складний хімічний склад і будову. Але незважаючи на це, термомеханічні випробування дозволяють визначити температурний діапазон, у якому зміна властивостей не приводить до втрати технологічних і експлуатаційних характеристик матеріалу. Сутність термомеханічних випробувань полягає у визначенні деформації проби матеріалу при зміні його температури з деякою постійною швидкістю. При термомеханічних випробуваннях проби піддаються різним деформаціям – розтягання, стиску, вигину, періодичній або постійній дії механічної сили. Знання реальних характеристик текстильних матеріалів дозволяє правильно визначити технологічні режими їх обробки підвищить якість і знизить енерговитрати.

## 3. Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Залежність відносної деформації  $\epsilon=f(T)$  від температури називається термомеханічною кривою (рис. 1). В ряді публікацій [1, 2] відзначено, що основними ділянками є ділянка пружних, ділянка еластичних, і ділянка в'язких деформацій. В [3] теоретично обґрунтовані якісні переходи, що виникають при цьому у полімерному матеріалі. В [4] показана важливість визначення характерних температур, що визначають перехід від одного стану до другого. Однак реальні дослідження, проведені в лабораторних умовах, показали досить великі проблеми, не відображені досі в відомих публікаціях. Переходи, які повинні відбуватися в матеріалі, не завжди явно виражаються в експериментах, що затрудняє знаходження характерних точок.

## 4. Мета дослідження

Розробити і апробувати методику визначення характерних точок на волого-тепловій кривій текстильних матеріалів.

## 5. Обґрунтування отриманих наукових результатів

Для проведення термомеханічних випробувань матеріалів при одноосьовому розтягнанні, була розроблена методика й створена установка (рис. 2).

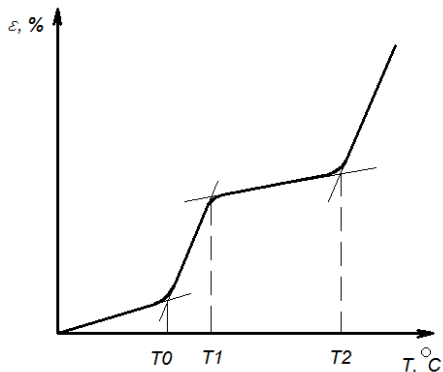


Рис.1. Термомеханічна крива проби матеріалу при одноосовому розтяганні:  $T_0$  – кінець пружної деформації;  $T_1$  – початок еластичної деформації (потічок процесу ВТО);  $T_2$  – кінець еластичної деформації – початок в’язко-текучої деформації

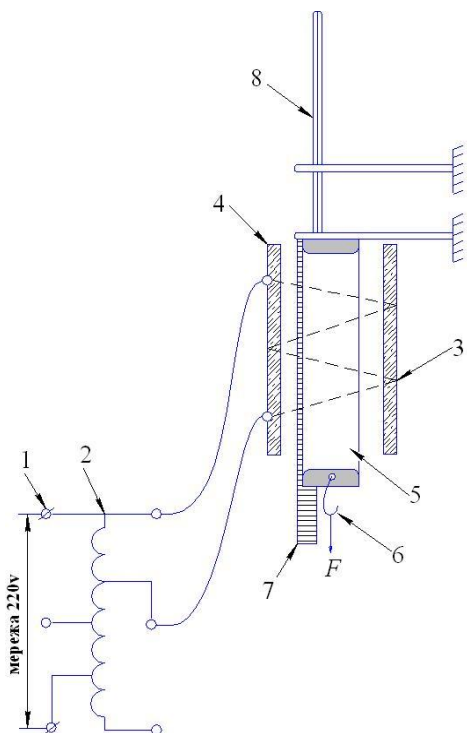


Рис. 2. Схема установки для термомеханічних випробувань матеріалів: 1 - електрична мережа змінного току; 2- лінійний автотрансформатор, що регулює напругу й інтенсивність нагріву; 3- електронагрівальний елемент; 4 - циліндричний керамічний елемент – акумулятор тепла; 5- експериментальний зразок; 6 – устаткування навантаження; 7 – устаткування вимірювання деформації; 8 – термометр

Для проведення випробування необхідно підготувати проби зі зразків матеріалів, які по кінцях зафіксувати за допомогою металевих пластин методом склеювання. На металевих пластинах зробити отвори для зручності навантаження (рис. 3).

На основі досліджень та отриманих даних будуться діаграми зміни деформації і температури проби при термомеханічному випробуванні, де по осі абсцис

відкладають температуру  $T(^{\circ}C)$ , а по осі ординат – значення подовження  $\Delta l$  (мм) (рис. 4), та визначають температури  $T_0, T_1, T_2$  при яких різко змінюється деформація зразків матеріалів.

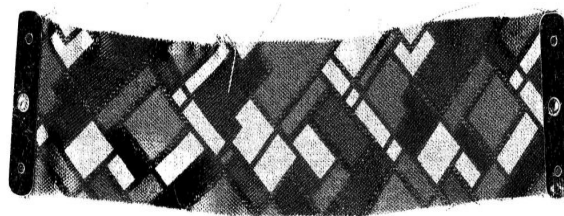


Рис.3. Зразок проби матеріалу

Для побудови термомеханічної кривої  $\epsilon=f(T)$  знаходимо відносну деформацію  $\epsilon$  (%) по формулі 1:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 . \tag{1}$$

Функцію  $\epsilon=f(T)$  представимо у вигляді:

$$\epsilon = \begin{cases} \epsilon_0, T < T_0, (0) \\ f_1(T), T_0 < T < T_1 \\ \epsilon_v, T_1 < T < T_2 \\ f_2(T), T > T_2 \end{cases} . \tag{2}$$

Залежність  $f_1(T)$  в перехідному режимі від пружного стану в еластичне характеризується наступними точками:

- при  $T=T_0, \epsilon=\epsilon_0$  – деформація дорівнює деформації пружного стану;
- при  $T=T_1, \epsilon=\epsilon_1$  – деформація дорівнює деформації еластичного стану;
- при  $T=T_0$  – лінія виходить з горизонтального положення, що відповідає умові  $\frac{df_1}{dT} = 0$ . Таку умову можна

записати й для точки, що відповідає  $T=T_1$ .

З наведених чотирьох умов можна визначити чотири параметри. Функцію з чотирма параметрами представити у вигляді полінома третього ступеня:

$$f_1(T)=a_0+ a_1T+ a_2T^2+ a_3T.^3 \tag{2}$$

При аналізі даного поліному можна побачити його недоліки. Коефіцієнти  $a_1, a_2, a_3$  залежать від вибору одиниць вимірювання температури, а також від початкової температури та початкової деформації проведення експерименту. Вказаних недоліків можна уникнути, якщо застосувати поліном типу поліному Лагранжа. Замінімо:

$$f_1(T)=\frac{\epsilon}{\epsilon_v - \epsilon_0} = \bar{\epsilon}, \tag{3}$$

тоді

$$\bar{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_v - \epsilon_0} = a_0 + a_1 \frac{T - T_0}{T_1 - T_0} + a_2 \left( \frac{T - T_0}{T_1 - T_0} \right)^2 + a_3 \left( \frac{T - T_0}{T_1 - T_0} \right)^3 . \tag{4}$$

Умови, що наведені вище, дають вирази  $T=T_0$ ,

$\varepsilon = \varepsilon_0$ ,  $\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_v - \varepsilon_0}$ . Підставимо ці умови у формулу 4, отримаємо:

$$\bar{\varepsilon} = a_0 + a_1 \frac{(T_0 - T_0)}{(T_1 - T_0)} + a_2 \frac{(T_0 - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^2} + a_3 \frac{(T_0 - T_0)^3}{(T_1 - T_0)^3}. \quad (5)$$

Умови, що наведені вище, дають вирази  $T=T_0$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_0$ ,  $\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_v - \varepsilon_0}$ . Підставимо ці умови у формулу 5, отримаємо:

$$\bar{\varepsilon} = a_0 + a_1 \frac{(T_0 - T_0)}{(T_1 - T_0)} + a_2 \frac{(T_0 - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^2} + a_3 \frac{(T_0 - T_0)^3}{(T_1 - T_0)^3}. \quad (6)$$

Похідна від запропонованого поліному (6) дорівнює:

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{dT} = a_1 + 2a_2 \frac{T - T_0}{(T_1 - T_0)^2} + 3a_3 \frac{(T - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^3}. \quad (7)$$

Умова  $\frac{d\bar{\varepsilon}}{dT} = 0$  при  $T=T_0$  дає умову  $a_1=0$ , маємо:

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{dT} = 2a_2 \frac{T - T_0}{(T_1 - T_0)^2} + 3a_3 \frac{(T - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^3}. \quad (8)$$

При  $T=T_1$  та  $\frac{d\bar{\varepsilon}}{dT} = 0$  отримуємо:

$$2a_2 \frac{T_1 - T_0}{(T_1 - T_0)^2} + 3a_3 \frac{(T_1 - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^3} = 0. \quad (9)$$

Після скорочення подібних отримуємо:

$$2a_2 + 3a_3 = 0. \quad (10)$$

Умова  $\varepsilon = \varepsilon_v$  при  $T=T_1$  дає вираз:

$$\frac{\varepsilon_v}{\varepsilon_v - \varepsilon_0} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_v - \varepsilon_0} + a_2 \frac{(T_1 - T_0)^2}{(T_1 - T_0)^2} + a_3 \frac{(T_1 - T_0)^3}{(T_1 - T_0)^3}. \quad (11)$$

Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} a_2 + a_3 = 1 \\ 2a_2 + 3a_3 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Розв'язавши систему рівнянь (12), отримуємо  $a_2=3$ ,  $a_3=-2$ .

Вихідна функція має вид:

$$f_1(T) = (\varepsilon_v - \varepsilon_0) \times \left( \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_v - \varepsilon_0} + 3 \left( \frac{T - T_0}{T_1 - T_0} \right)^2 - 2 \left( \frac{T - T_0}{T_1 - T_0} \right)^3 \right). \quad (13)$$

На основі досліджень та отриманих даних були побудовані діаграми зміни деформації і температури проби при термомеханічному випробуванні рис. 4.

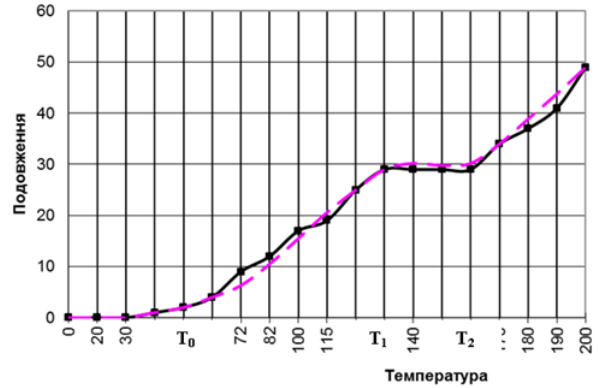


Рис. 4. Діаграма зміни деформації і температури проби 1 при термомеханічному випробуванні

Підставивши дані у (13) можна одержати теоретичну термомеханічну криву (рис. 5).

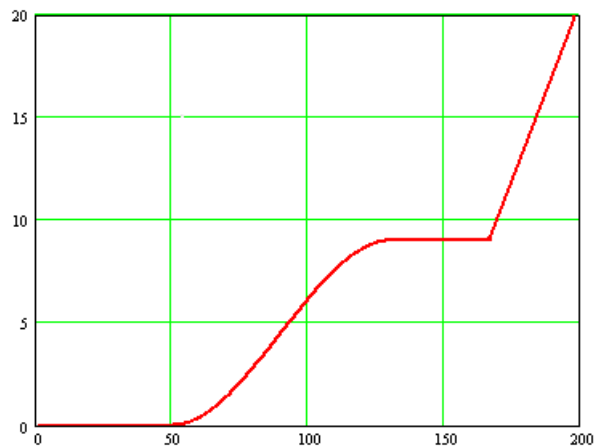


Рис.5. Термомеханічна крива проби матеріалу

## 6. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розробок.

В результаті виконання роботи розв'язана актуальна проблема з розробки методики та проведення експериментів по визначенню термомеханічних властивостей синтетичних матеріалів, та розробки науково-обґрунтованих рекомендацій по визначенню параметрів волого-теплової обробки цих матеріалів.

Розроблена методика і створена установка, що дозволяє проводити термомеханічні випробування матеріалів в інтервалі температур від 20 до 300°C при одноосовому розтяганні. На основі даних, отриманих експериментально, побудовані криві регресії залежності деформації від температури.

Визначені характеристики волого-теплової обробки матеріалів, а також створена аналітична модель деформування.

## Література

1. Жихарев, А.П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности [Текст] : Учеб. пособие для высш. учеб. заведений / А. П. Жихарев, Б. Я. Краснов, Д. Г. Петропавловский ; ред. А. П. Жихарев . - М. : Академия, 2004. - 464 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование. Легкая промышленность). - ISBN 5-7695-1232-6.
2. Савостицкий, Н.А. Материаловедение швейного производства [Текст] : для студ. образоват. учреждений нач. проф. образования, обуч. по швейным спец. / Н.А. Савостицкий, Э.К. Амирова. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 288 с. - ISBN 5-222-02218-8.
3. Торнер, Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) [Текст] / Р. В. Торнер. - М. : "Химия", 1977. - 464 с.
4. Грановский, Т. С. Строение и анализ тканей [Текст] : учебное пособие / Т.С. Грановский, А.П. Мшвениерадзе. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Легпромбытиздат, 1988. - 94 с. - ISBN 5-7088-0049-6.

**Abstract**

*The article is devoted to the problem of development of methodology and conduction of experiments to determine the thermomechanical properties of synthetic materials, and to develop the science-based recommendations for the determination of the parameters of the wet-heat treatment of these materials.*

*The article considers the theoretical foundations of the wet-heat treatment in terms of achievement by a textile material of certain modes of deformation when heated.*

*The materials for light industry products have a complex chemical structure. Despite this fact, the thermomechanical tests permit to determine the temperature range, in which the change of the properties does not lead to the loss of technological and operational characteristics of the material. The essence of the thermomechanical tests lies in determination of the deformation of the sample of the material when changing its temperature with a constant speed. In thermomechanical testing the samples are exposed to various deformations, such as stretching, compression, bending, periodical or constant action of mechanical force. Knowledge of real characteristics of the textile materials provides correct identification of the technological modes of their processing, improvement of the quality and reduction of energy consumption.*

*For the thermomechanical testing of the materials we have developed the methodology and constructed a setting that allowed the thermomechanical tests of the materials at temperatures ranging from 20 to 300° C under uniaxial stretching. On the basis of the studies and the data obtained we have constructed the diagrams of changes of deformation and temperature of a sample during the thermomechanical test. The characteristics of the wet-heat treatment of materials were determined, and the analytical model of deformation was created.*

**Keywords:** *textile materials, thermomechanical properties, wet-heat treatment, thermomechanical curves*