

©Волошина О.І., Рябчиков М.Л.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КРИВИХ**

### **1. Постановка проблеми**

Текстильні технічні матеріали знаходять широке використання в різних галузях промисловості. У ряді випадків необхідне створення заданої форми полімерних текстильних матеріалів, що у більшості випадків виконується засобами пресування при взаємній дії тиску і тепла. Параметри пресування при цьому призначаються зі значним запасом, що у ряді випадків веде до збільшених енерговитрат, оскільки нагрівання матеріалу в техпроцесі – доволі енерговитратний процес.

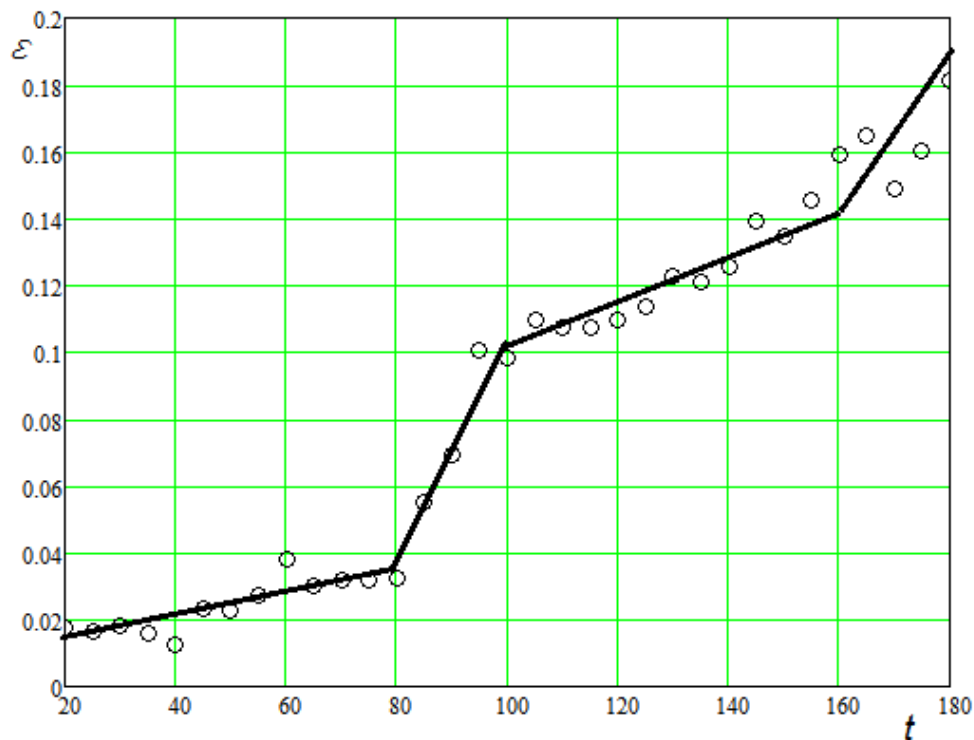
### **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Процеси пресування текстильних і полімерних матеріалів традиційно більш розвинуті в текстильній і легкій промисловості [1]. Режимы пресування матеріалів при цьому, як правило призначаються інтуїтивно і мають досить великий запас. В [2] наведені такі режими, які включають, як правило, температуру і зусилля пресування. Постійна температура поверхні преса при цьому спрощує процес, але веде до підвищення енерговитрат. В [3] наведені дані щодо загальної структури термомеханічних кривих. Однак, на жаль, вони не ведуть до призначення реальних режимів обробки. В [4] зроблена спроба пов'язати термомеханічні характеристики зі структурними, однак математична обробка даних не дозволяє користуватися даними у явному вигляді.

**3. Мета роботи** – обґрунтувати визначення параметрів технологічного процесу волого-теплової обробки на базі математичного моделювання термомеханічної кривої текстильного матеріалу.

#### 4. Обґрунтування отриманих наукових результатів

Типова діаграма термомеханічних змін в текстильному матеріалі, одержана в лабораторії матеріалознавства Української інженерно педагогічної академії має вигляд



**Рис. 1** – Експериментальна термомеханічна крива текстильного матеріалу

Експериментальні точки можуть інтерполюватися чотирма прямолінійними ділянками, тобто закономірність зміни деформацій в залежності від температури може бути записана виразом

$$\varepsilon = \begin{cases} a_1 + b_1 \cdot t, t \leq t_1 \\ a_2 + b_2 \cdot t, t_1 < t \leq t_2 \\ a_3 + b_3 \cdot t, t_2 < t \leq t_3 \\ a_4 + b_4 \cdot t, t > t_3 \end{cases},$$

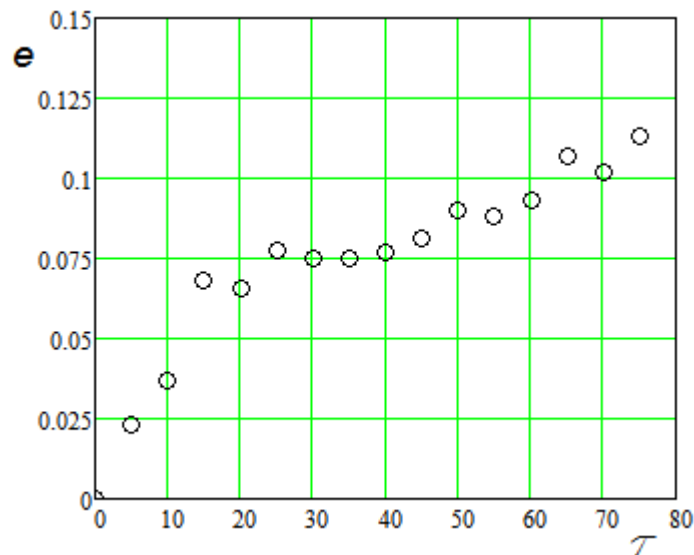
Де коефіцієнти визначаються методом кореляційного і регресійного аналізу. Для зазначеного на малюнку прикладу, зокрема, можна одержати

$$\varepsilon = \frac{1}{200} \begin{cases} 16,143 + 0,233 \cdot t, t < 81,75 \\ -300 + 4,1 \cdot t, 81,75 < t < 96,7 \\ 20,87 + 0,78 \cdot t, 96,7 < t < 148,3 \\ -69 + 1,386 \cdot t, t > 148,3 \end{cases}$$

Визначимо наступне. Перша ділянка визначає пружні деформації, після зняття навантаження матеріал повернеться до початкового становища. Це – зона експлуатації матеріалу. Остання – четверта ділянка – зона незворотних змін в матеріалі, початок в'язкотекучого деформування, або руйнування матеріалу. Друга і четверта ділянка – це зони високо еластичного деформування, яке, власне є основою для технологічного процесу волого-теплової обробки.

Будемо розглядати саме технологічний напрямок. Тоді нас будуть цікавити в основному друга і третя ділянки, причому перебудовані в координатах додаткових деформацій і температур

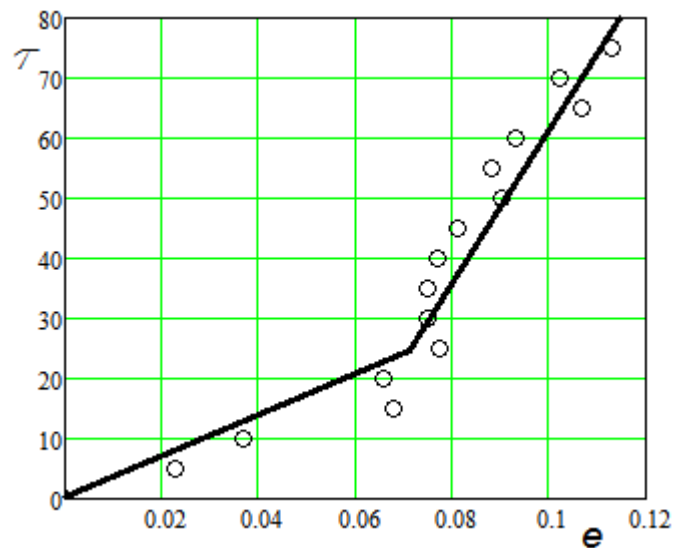
$$e = e - e_1, t = t - t_1.$$



**Рис. 2** – Експериментальна діаграма у відносних координатах

Зазначимо далі, що в технологічному процесі волого-теплової обробки вхідними параметрами повинні виступати деформації, а шуканим, тобто тими,

що визначають параметри технологічного процесу – температура і силове навантаження. Якщо зважити на це, діаграму треба перебудувати в обернених координатах.

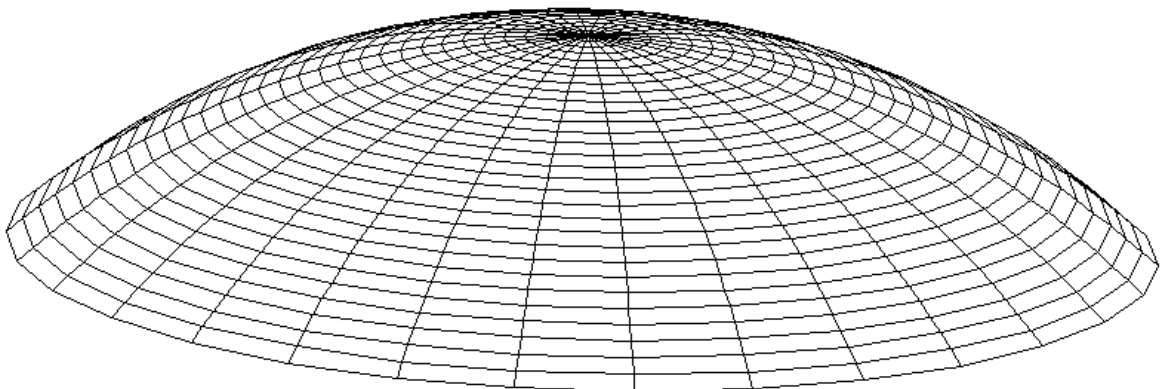


**Рис. 3** – Апроксимація двома ділянками прямих ліній

У такому вигляді залежність необхідної температури від додаткового подовження може бути записана, як

$$\tau = \begin{cases} \alpha_1 \cdot e, e \leq e_1 \\ \beta + \alpha_2 \cdot e, e > e_1 \end{cases}$$

Спробуємо розв'язати конкретну технологічну задачу по формуванню поверхні текстильного виробу засобами теплової обробки.

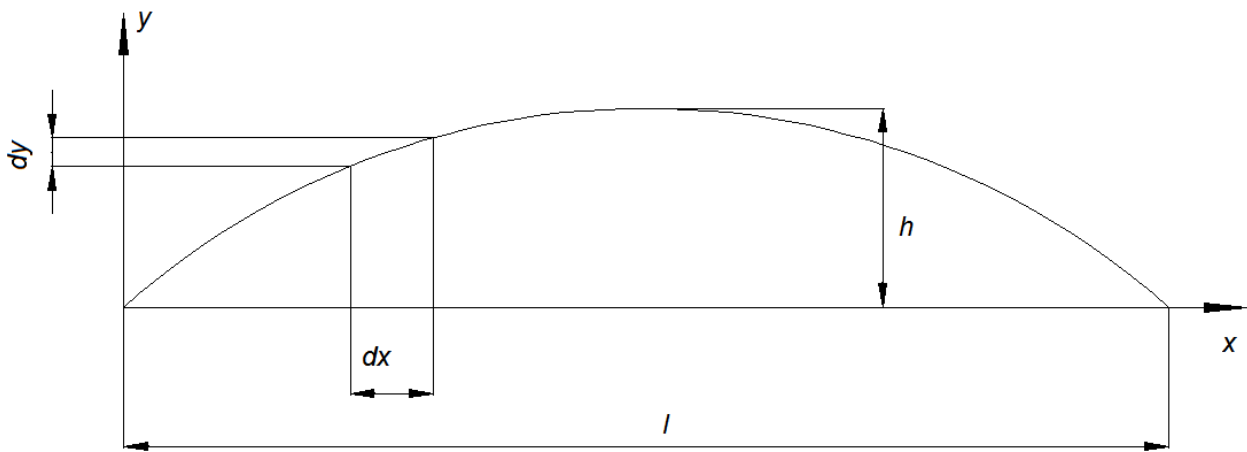


**Рис. 4** – Поверхня матеріалу, що підлягає формуванню

Задамо функцію кривини поверхні, визначимо подовження. Для цього розглянемо окремий переріз поверхні, що вимагається для обробки. Зобразимо його у декартовій системі координат. Виділимо на поверхні малий елемент розміром  $dx$ , йому відповідає зміна ординати перерізу  $dy$ . Елемент довжиною  $dx$  змінив свою довжину до  $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ . Таким чином, цей елемент набув

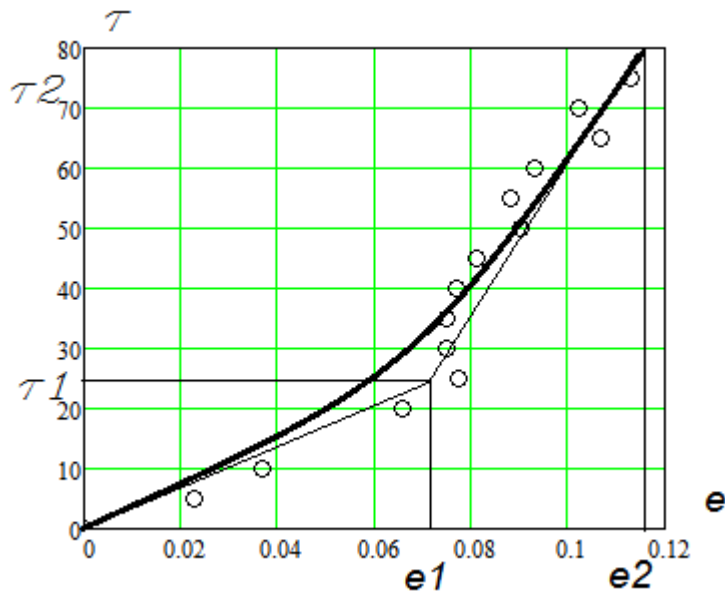
подовження  $e = \frac{dl - dx}{dx} = \frac{dl}{dx} - 1 = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} - 1$ . Враховуючи не занадто великі

кривини одержаних поверхонь, маємо  $e = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} - 1 \approx \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$ .



**Рис. 5** – Кривина поверхні матеріалу

Враховуючи, що ми маємо функцію температури, яка записана у залежності від подовження, можемо знайти необхідні параметри температури. Слід зазначити при цьому, що функція, записана як система з двох виразів не зовсім зручна для використання, оскільки вимагає обов'язкового знаходження деформації і зіставлення його з параметром. Зручніше було б використання функції, у якій деформація виражалась б явно, без додаткових умов. Спробуємо апроксимувати цю функцію, як ступеневу криву.



**Рис. 6** – Крива термомеханічних змін

Якщо записати цю функцію у вигляді  $t=f(e)$ , можна визначити такі умови.

$$\text{При } e=0 \ t=0, \text{ при } e=e_2 \ t=t_2, \text{ при } e=0 \ \frac{d\tau}{de} = \frac{\tau_1}{e_1}, \text{ при } e=e_2 \ \frac{d\tau}{de} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{e_2 - e_1}.$$

Таким чином, маємо чотири умови, достатні для створення поліному третього ступеня. Враховуючи першу нульову умову, записуємо його у вигляді

$$\tau = k_1 \cdot e + k_2 \cdot e^2 + k_3 \cdot e^3.$$

Похідна з цього виразу може бути записана, як

$$\frac{d\tau}{de} = k_1 + 2 \cdot k_2 \cdot e + 3 \cdot k_3 \cdot e^2.$$

$$\text{Третя умова дає } k_1 = \frac{\tau_1}{e_1}.$$

Після врахування першої і третьої умов дві невідомі коефіцієнти знаходимо шляхом розв'язання системи рівнянь, записаних для другої і четвертої умов

$$\begin{cases} \tau_1 \frac{e_2}{e_1} + k_2 \cdot e_2^2 + k_3 \cdot e_2^3 = \tau_2 \\ \frac{e_2}{e_1} + 2 \cdot k_2 \cdot e_2 + 3 \cdot k_3 \cdot e_2 = \frac{\tau_2 - \tau_1}{e_2 - e_1} \end{cases}$$

Розв'язання системи дає

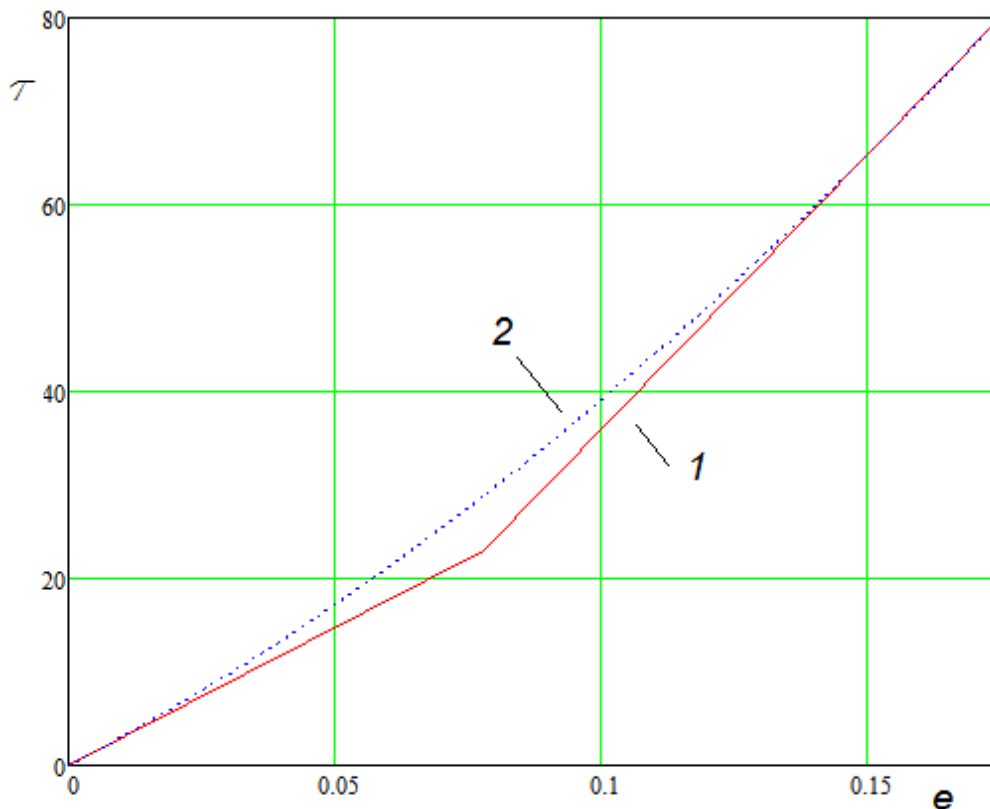
$$k_2 = \frac{\epsilon_2 \cdot e_1 - \tau_1 \cdot e_2}{e_1 \cdot e_2^2 \cdot (\epsilon_2 - e_1)},$$

$$k_3 = \frac{\epsilon_2 \cdot e_1 - \tau_1 \cdot e_2}{e_1 \cdot e_2^3 \cdot (\epsilon_2 - e_1)}.$$

Тоді загальний вираз для функції температури

$$\tau = \frac{\tau_1}{e_1} e + \frac{\epsilon_2 \cdot e_1 - \tau_1 \cdot e_2}{e_1 \cdot e_2^2 \cdot (\epsilon_2 + e_1)} e^2 \cdot \left[ 2 \cdot e_2 - e_1 + \epsilon_2 \cdot e_1 - e_2 \frac{e}{e_2} \right].$$

Зіставлення одержаної функції з розривною прямолінійною показано на рис. 7.



**Рис. 7** – Зіставлення ступеневої функції з розривною прямолінійною

Якщо задана поверхня, яку необхідно створити засобами теплової обробки, розподілення температур, що забезпечує таку поверхню може бути записано у вигляді

$$\tau = \frac{\tau_1}{e_1} \frac{1}{2} \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + \frac{\epsilon_2 \cdot e_1 - \tau_1 \cdot e_2}{e_1 \cdot e_2^2 \cdot (\epsilon_2 + e_1)} \frac{1}{4} \left( \frac{dy}{dx} \right)^4 \cdot \left[ 2 \cdot e_2 - e_1 + \epsilon_2 \cdot e_1 - e_2 \frac{e}{2 \cdot e_2} \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right].$$

## **Висновки**

В результаті виконання роботи доведена можливість створення заданої поверхні текстильного полімерного матеріалу засобами зміни температури нагрівальної поверхні. Запропоновані методи апроксимації реальних термомеханічних кривих матеріалів. Виведені залежності, що пов'язують форму поверхні, температуру і термомеханічну залежність.

## **Список використаних джерел:**

1. Жихарев А. П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности : учеб. пособие для высш. учеб. заведений по направлению 656100 "Технология и конструирование изделий легкой пром-сти" (подготовка диплом. спец.), 553900 "Технология, конструирование изделий и материалы легкой про-сти" (подготовка бакалавров и магистров) / А. П. Жихарев, Б. Я. Краснов, Д. Г. Петропавловский ; ред. А. П. Жихарев. – М. : Академия, 2004. – 464 с. : ил. – ((Высшее профессиональное образование. Легкая промышленность).
2. Савостицкий Н. А. Материаловедение швейного производства : учеб. пособие для сред. проф. образования по спец. 2809 "Швейное пр-во" / Н. А. Савостицкий, Э. К. Амирова. – 2-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2002. – 240 с. : ил. – (Профессиональное образование).
3. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М. : Химия, 1977. – 464 с.
4. Грановский Т. С. Строение и анализ тканей / Т. С. Грановский. – М.: Легпробытиздат, 1985. – 151 с.

***Волошина О.І., Рябчиков М.Л.*** «Визначення параметрів волого-теплової обробки матеріалів на основі аналізу термомеханічних кривих».

Доведена можливість створення заданої поверхні текстильного полімерного матеріалу засобами зміни температури нагрівальної поверхні. Запропоновані методи апроксимації реальних термомеханічних кривих



матеріалів. Виведені залежності, що пов'язують форму поверхні, температуру і термомеханічну залежність.

**Ключові слова:** технічні текстильні матеріали, термомеханічна крива, пресування, теплова обробка, енергозбереження

**Волошина О.И., Рябчиков Н.Л.** «Определение параметров влажно-тепловой обработки материалов на основе анализа термомеханических кривых».

Доказана можливість створення заданої поверхності текстильного полімерного матеріала засобами змінення температури нагрівальної поверхності. Предложені методи апроксимації реальних термомеханических кривих матеріалів. Виведені залежності, зв'язуючі форму поверхності, температуру і термомеханическую залежність.

**Ключевые слова:** технические текстильные материалы, термомеханическая кривая, прессование, тепловая обработка, энергосбережение.

**Voloshyna O.I., Ryabchykov N.L.** “Determination parameters of heat-wet treatment of materials in terms of analysis thermomechanical curves”.

The feasibility of creating a given surface of textile polymeric material by means of temperature of heating surface is proved. Methods for approximating the actual thermomechanical curves of materials are proposed. The dependence of linking the shape of the surface temperature and thermo-dependence is derived.

**Key words:** technical textile materials, thermomechanical curve, pressing, heat treatment, energy conservation.

Стаття надійшла до редакції 28 листопада 2011 р.