

УДК 684.4.04

КІНЕТИЧНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВИРОБІВ ІЗ ДЕРЕВИНИ ТА ДЕРЕВНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗРИВНОЇ МАШИНИ

Бойко Л.М., к.т.н.

(НУБіП України)

Кульман С.М., к.т.н.

(директор НПФ «Компанія «Інтердизайн»)

Приведено аналіз існуючих методів визначення довговічності композиційних матеріалів на основі деревини, та визначення жорсткості кутових меблевих з'єднань, обґрунтовано необхідність вивчення та пропонується метод визначення довговічності деревинних композиційних матеріалів за допомогою розривної машини.

Композиційні матеріали, кінетика деформування, довговічність

Аналіз досліджень. Випробування корпусних меблів на міцність та деформативність що наведеного у ГОСТ 19882-91 полягає в тому, що до бічних стінок корпусу виробу поперемінно зліва та справа прикладають однократне навантаження. Через одну хвилину після зняття навантаження вимірюють зсув верхнього щита відносно нижнього (деформацію E_1). Потім навантажують бічні стінки корпусу виробу циклічним навантаженням до нормативної кількості циклів згідно ГОСТ 16371-93. Після досягнення нормативної кількості циклів навантаження знімають та проводять огляд виробу, вимірюючи зсув верхнього щита відносно нижнього (деформацію E_n) $E = E_n - E_1$ [1].

Проте даний спосіб не дає, по-перше, об'єктивних критеріїв довговічності (тривалій міцності) виробу, а по-друге, об'єктивних критеріїв зламу деталей, послаблення або руйнування кутових конструктивних з'єднань, тобто він не дозволяє прогнозувати довговічність кутових меблевих з'єднань.

Визначення жорсткості та міцності кутових роз'ємних з'єднань меблів, полягає у руйнуванні зразка під дією навантаження, яке прикладається із постійною швидкістю. При цьому придатність кутового з'єднання оцінюють величиною руйнівного навантаження, нормативне значення якого береться на основі експериментальних даних [2].

Випробування кутових меблевих з'єднань на довговічність, що полягає у навантаженні кутового з'єднання меблів тривалим статичним навантаженням, аж

до руйнування, при якому випробуванням піддають чотири зразки меблевих з'єднань при фіксованих значеннях навантаження та температури при кожному випробуванні, причому перше випробування проводять при мінімальній температурі та мінімальному навантаженні, друге при мінімальному навантаженні та максимальній температурі, третє, при максимальному навантаженні та мінімальній температурі, четверте при максимальній температурі та максимальному навантаженні, фіксують час до руйнування кожного зразка, довговічність при цьому визначають за формулою:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \bar{\sigma}}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (1)$$

де τ_m , U_0 , γ і T_m – фізичні (термоактиваційні) параметри матеріалу: τ_m – мінімальна довговічність (період коливання кінетичних одиниць – атомів, груп атомів, сегментів), с; U_0 – максимальна енергія активації руйнування, кДж·моль; γ – структурно–механічний параметр, кДж/(моль·МПа); T_m – гранична температура існування твердого тіла (температура деструкції), К; R – універсальна газова стала, кДж/(моль·К); τ – час до руйнування (довговічність), с; $\bar{\sigma}$ – напруження, МПа; T – температура, К, причому,

$$\lg \tau_m = (\lg \tau_3 (\lg \tau_2 - \lg \tau_4) - \lg \tau_4 (\lg \tau_1 - \lg \tau_3)) / (\lg \tau_2 - \lg \tau_4 - \lg \tau_1 + \lg \tau_3);$$

$$1000/T_m = (x_2 (\lg \tau_1 - \lg \tau_3 - \lg \tau_2 + \lg \tau_4) + (x_1 - x_2) (\lg \tau_4 - \lg \tau_3)) / (\lg \tau_1 - \lg \tau_3 - \lg \tau_2 + \lg \tau_4),$$

$$\text{де: } x_1 = 1000/T_1, \quad x_2 = 1000/T_2.$$

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – час до руйнування кожного зразка, с.

$$\gamma = (U_1 - U_2) / (\sigma_1 - \sigma_2); \quad U_1 = 2,3R (\lg \tau_1 - \lg \tau_2) / (T_1^{-1} - T_2^{-1});$$

$$U_2 = 2,3R (\lg \tau_3 - \lg \tau_4) / (T_3^{-1} - T_4^{-1});$$

$$U_0 = \gamma \sigma_2 + U_2 \quad [3].$$

Однак, оскільки під час використання даного способу термоактиваційні параметри визначаються шляхом випробувань на тривалу міцність при постійному навантаженні, то час проведення випробувань тривалий та трудомісткий.

Мета та постановка задачі - удосконалення способу прогнозування довговічності корпусних меблів та виробів із деревини, деревинних матеріалів, з тим, щоб мати можливість на етапі випуску нових виробів знати їх потенційні можливості [4]. При цьому підвищується достовірність прогнозування довговічності виробів, спрощується спосіб та скорочується час проведення випробувань.

Основна частина. Випробування проводять на однакових зразках при чотирьох фіксованих значеннях температури та постійної швидкості підвищення навантаження, при цьому фіксують час до руйнування кожного зразка, довговічність виробу визначають за формулою (1).

Значення термоактиваційних параметрів τ_m , U_0 , T_m , γ визначають на підставі результатів проведених випробувань шляхом вирішення системи рівнянь(3).

За основу способу прогнозування довговічності прийнята теорія термоактиваційного руйнування твердих тіл, що полягає у дослідженні впливу не лише величини та тривалості навантаження, але й температури експлуатації виробів.

$$\begin{cases} \frac{U_0}{RT_1} - \frac{U_0}{RT_m} - \gamma \frac{\sigma_1}{RT_1} + \gamma \frac{\sigma_1}{RT_m} + \ln \tau_m = \ln t_1 \\ \frac{U_0}{RT_2} - \frac{U_0}{RT_m} - \gamma \frac{\sigma_2}{RT_2} + \gamma \frac{\sigma_2}{RT_m} + \ln \tau_m = \ln t_2 \\ \frac{U_0}{RT_3} - \frac{U_0}{RT_m} - \gamma \frac{\sigma_3}{RT_3} + \gamma \frac{\sigma_3}{RT_m} + \ln \tau_m = \ln t_3 \\ \frac{U_0}{RT_4} - \frac{U_0}{RT_m} - \gamma \frac{\sigma_4}{RT_4} + \gamma \frac{\sigma_4}{RT_m} + \ln \tau_m = \ln t_4 \end{cases} \quad (3)$$

де T_1, T_2, T_3, T_4 – температура проведення чотирьох серій випробувань, $^{\circ}\text{K}$; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ – максимальне руйнівне напруження при відповідній температурі, МПа;

t_1, t_2, t_3, t_4 – час до руйнування зразка при відповідній температурі, с.

При цьому використовуються рівняння, що відображають фізичні закономірності. Згідно кінетичної концепції міцності, руйнування твердого тіла розглядається не як критична подія, а як поступовий кінетичний, термоактиваційний процес, що розвивається у механічно напруженому тілі у часі із моменту прикладання до нього навантаження, менше критичного.

На відміну від механічних уявлень, що враховують лише конкуренцію між прикладеною силою та силами міжатомних зв'язків, кінетична теорія розглядає тепловий рух атомів як вирішальний фактор процесу механічного руйнування.

Для руйнування матеріалу необхідний час, протягом якого у навантаженому тілі протікають процеси, що призводять до його розділення на частини.

Таким чином, при будь-яких температурах механічне руйнування є таким, що відбувається у часі механотермічним процесом, що реалізовується через елементарні акти розриву міжатомних (хімічних) зв'язків. Час не є вирішальним, він лише збільшує кількість теплових флуктуації, необхідних для реалізації тих процесів розриву зв'язків, які перешкоджають критичній події. Проте ця подія може не наступити, оскільки завдяки тепловому руху розірвані зв'язки рекомбінуються.

У механічному полі процес розриву зв'язків прискорюється. При цьому роль навантаження полягає у зменшенні енергії зв'язків (відповідно енергії активації, яка їй пропорційна), зміні відстані між кінетичними одиницями, а також у фіксації їх переміщень, зокрема в утрудненні рекомбінації радикалів. Отже, спрямованість прикладеної сили забезпечує безповоротність процесу внаслідок накопичення цих розривів. Отже, головний руйнуючий фактор – це теплові флуктуації, тобто енергія руйнування тіла у більшій мірі черпається із запасу теплової енергії, чим із роботи зовнішніх сил.

Наприклад, під час проведення випробувань меблевих деталей на чистий згин, спосіб прогнозування довговічності деталей реалізували наступним чином.

Випробування проводилися на базі стандартної розривної машини моделі Р-5 за методикою визначення межі міцності та модуля пружності під час згину згідно ГОСТ 10635-88 «Плиты древесно-стружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе».

Зразки встановлювалися на опори випробувального пристрою за відмітками так, щоб поздовжня вісь зразка була перпендикулярна осям опор, а поперечна вісь перебувала в одній вертикальній площині з віссю ножа що наведено на рис. 1. Відміну від стандартної процедури зразки, що випробовувалися разом з опорами та навантажувальним пристроєм розташовувалися у термокамері з можливістю зміни температури.

Умови проведення випробувань та середні результати чотирьох серій випробувань у кожній із яких було випробувано по 10 зразків наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри проведення випробувань

№	Назва матеріалу	Умови випробувань				Час до руйнування зразка, $ln\tau$, с	Термоактиваційні параметри ДСП виробництва Swisspan			
		межа міцності, σ , МПа		Температура, T , К			$lg\tau_m$, с	U_o , кДж/ж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)	T_m , К
1	2	3		4		5	6	8	9	10
1	ДСП 10	σ_1	10,81	T_1	293	4,215	- 4,6	173	9,2	563
2	ДСП 10	σ_2	9,77	T_2	308	4,436				
3	ДСП 10	σ_3	8,73	T_3	323	4,456				
4	ДСП 10	σ_4	6,02	T_4	353	4,713				

Таблиця 2. Результати прогнозування довговічності меблевого виробу деталей якого має максимальне навантаження на згин

τ , с	t, рік	σ , МПа	T, К
8,816E+09	279,55645	0,5	293
4,295E+09	136,20229	1	293
1,02E+09	32,33063	2	293
242019598	7,6743911	3	293
57448713	1,8216867	4	293
13636724	0,4324177	5	293

3236978,6	0,1026439	6	293
768368,58	0,0243648	7	293
182389,3	0,0057835	8	293
43294,141	0,0013728	9	293
10276,823	0,0003259	10	293

На підставі отриманих під час випробувань даних, за допомогою системи рівнянь (3) були розраховані термоактиваційні параметри ламінованої деревостружкової плити (ДСП) товщиною 10 мм, які наведено у таблиці 1.

Використовуючи знайдені термоактиваційні параметри та за допомогою формули (2), розрахуємо довговічність книжкової полиці, яка знаходиться у напруженому стані аналогічно деталям ГОСТу [1], при наступних експлуатаційних параметрах: $T = 293$ К; $\sigma = 0,5...10$ МПа. Результати розрахунків наведено у таблиці 2.

Висновки

1. Використання винаходу дозволяє прогнозувати довговічність деталей із ДСП за конкретних умов їх експлуатації. Результат прогнозу може бути використаний як об'єктивний критерій працездатності під час оптимізації вже існуючих меблевих виробів, так і під час конструюванні нових.

2. На підставі отриманих під час випробувань даних, за допомогою були розраховані термоактиваційні параметри ламінованої деревостружкової плити (ДСП) товщиною 10 мм.

3. Встановлено, що при зростанні температури експлуатації виробів на 15 К межа міцності ламінованої деревостружкової плити знижується на 11 – 13 %.

Список літератури

1. Мебель корпусная. Методы испытаний на устойчивость, прочность и деформируемость. ГОСТ 19882-91. – М.: издательство стандартов, 1991. – 16 с.
2. Мебель. Методы определения жесткости и прочности угловых разъемных соединений. РТМ 13-319-29-79 – М.: издательство стандартов, 1991. – 48 с.
3. Патент на корисну модель № 46493 Україна, МПК G01D 3/00. Спосіб випробовування довговічності кутових з'єднань корпусних меблів / С.М.Кульман, Л.М. Бойко. – Номер заявки u 2009 06787; заявл. 30.06.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
4. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.

Abstract

**KINETICHESKIYE METODY PROGNOZIROVANIYA DOLGOVECHNOSTI
IZDELIY S DREVESINY I DREVESNYKH KOMPOZITSIONNYKH
MATERIALOV S POMOSHCH'YU RAZRYVNYYE MASHINY**

Boyko L.M., Kul'man S.M.

The analysis of existing methods for determining the durability of composite materials based on wood and hardness furniture corner joints, the necessity of the study and the method of determining the durability of wood-based composite materials using tensile testing machines.

Аннотация

**КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ИЗДЕЛИЙ С ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РАЗРЫВНЫЕ МАШИНЫ**

Бойко Л.М., Кульман С.М.

Приведен анализ существующих методов определения долговечности композиционных материалов на основе древесины, и определения жесткости угловых мебельных соединений, обоснована необходимость изучения и предлагается метод определения долговечности древесных композиционных материалов с помощью разрывной машины .

Рецензент: д.т.н., професор Пінчевська О.О.