

4. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методов их определения: ГОСТ 12.1.044-89.- [Введ. 1967-01-01]. – http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/4/4668/

Аннотация

Анализ огнезащитной способности антипиренов для древесины Пинчевская О.О., Бондарчук А.Н.

Приведен анализ эффективности огнезащитных препаратов для древесины, методика испытаний и результаты экспериментальных исследований защитных свойств антипиренов

Abstract

Analysis of protecting ability of wood protecting fire retardants Pinchevska O.O., Podobna D.M.

The analysis of wood protecting fire retardants, examination methods and results of experimental investigations of flame retardant drugs properties are given

УДК 684.4.04

ФЕНОМЕН ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ У ДЕРЕВИНІ

С. Н. Кульман., к. т. н.

(директор НППФ «Компанія Інтердизайн»)

У статті наведено дані дослідження температурно-силових механізмів нелінійної динаміки деформування та руйнування деревини. Показано, що у нетривалих проміжках часу облік кінцевої швидкості поширення теплових збурень призводить до якісних відмінностей. У великих проміжках часу рішення асимптотичні збігаються з рішеннями, заснованими на рівнянні Фур'є.

Отримані результати дозволяють враховувати динамічні ефекти взаємозалежної термопружності під час інтенсивній тепловій обробці деревини та композиційних матеріалів на її основі.

Тенденції останніх років у технології обробки деревини та матеріалів на її основі говорять про те, що деревина при цьому піддається великим температурним та силовим дій. Як приклади наведено отримання виробів шляхом термомодифікації деревини; різання деревини за допомогою лазера; термопресування деревини як в об'ємі, там її поверхні; різання при надвисоких

швидкостях або з незначними кінематичними кутами різання. У всіх зазначених випадках обробка деревини дозволяє отримати продукт із новими, більш високими споживчими властивостями, або нові високопродуктивні процеси.

Інтенсивні технологічні процеси обробки деревини вимагають все більш точного та тонкого обліку всіх технологічних факторів.

У той же час підхід до аналізу термо-волого-силового впливу на деревину залишається, як правило, досить спрощеним та не враховує динамічних процесів в анізотропних та ізотропних тілах з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла і маси для тепло і вологопереносу у капілярно-пористих тілах.

Мета дослідження – виявити величину похибки і показати необхідність врахування кінцевої швидкості поширення тепла при високо інтенсивної термо - волого - силовий обробці деревини і матеріалів на її основі.

Методика дослідження – базується на застосуванні узагальненого закону теплопровідності, що враховує той факт, що швидкість поширення тепла, яка описується класичним рівнянням Фур'є, не є нескінченно великою.

Класичною моделлю перенесення тепла є рівняння теплопровідності:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x}, \quad q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

В якому присутні незалежні змінні: t – час (с), x – розташування (м); залежні змінні: T – температура (К), q – тепловий потік (Вт / м²); а також теплофізичні властивості матеріалу: ρ – щільність (кг / м³), c – питома теплоємність (Дж / КГК), λ – теплопровідність (Вт / мК).

Дана модель виводиться із закону збереження енергії і закону Фур'є, відповідно

до якого тепловий потік $q \sim \frac{\partial T}{\partial x}$. Якщо при цьому початкове обурення задано в обмеженій області простору $T(x, 0) = T_0(x)$, то відповідно до рівняння (1) температура відразу стане не нульовий у всьому просторі. Тобто швидкість поширення тепла буде нескінченно великою.

Це припущення підтверджується результатами розрахунків температурних полів різних тіл при звичайних умовах експлуатації. Однак при високоінтенсивних нестационарних процесах та у розріджених середовищах необхідно враховувати, що тепло поширюється із деякою кінцевою швидкістю [1],

$$c_q = \sqrt{\lambda / c \rho \tau_r} = \sqrt{a / \tau_r}, \quad (2)$$

де τ_r – час релаксації теплового потоку, с (для металів);

$$a = \frac{\lambda}{c \rho}$$

– коефіцієнт температуропровідності, дорівнює кількості тепла, що протікає в одиницю часу через одиницю поверхні, при перепаді об'ємної концентрації внутрішньої енергії в один Дж/м³ на одиницю довжини нормалі.

Він має розмірність m^2/c та за своїм фізичним змістом характеризує молекулярний перенос внутрішньої енергії тіла.

Із огляду на швидкість поширення тепла рівняння теплопровідності приймає вид:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - \tau_r \frac{\partial q}{\partial t}, \quad (3)$$

де $\tau_r \frac{\partial q}{\partial t}$ – теплова інерція теплового потоку.

Для стаціонарних процесів потік тепла $\frac{\partial q}{\partial t} = 0$, та рівняння (3) збігається із рівнянням (1). Для високоінтенсивних нестационарних процесів другий член рівняння (3) стає рівним із першим.

Як приклад, прояву феномена теплової інерції наведемо результати досліджень втомного руйнування деревини. При цьому ми проаналізуємо, наскільки будуть відрізнятися результати експериментів від розрахунків за тепловою моделлю, якщо в ній не враховувати швидкість теплового потоку.

Математична модель. Процес циклічного деформування можна розглядати як екзотермічну реакцію. Якщо екзотермічна реакція йде в ізольованій системі, тобто без обміну теплоти із навколишнім середовищем (адіабатичний процес), то з часом, очевидно, буде спостерігатися зростання температури. Інтенсивність цього зростання залежить як від кінетичних параметрів (константи швидкості), так від термодинамічних властивостей системи (тепловий ефект реакції, теплоємність).

Пружність полімерних матеріалів, до яких належить деревина носить нерівноважний характер, тобто під час циклічного навантаження відбуваються механічні втрати, що викликають тепловиділення в активаційному об'ємі зразка, що деформується, тобто його саморозігрів.

Розігрів композиту під дією циклічного навантаження можна розглядати як процес конкуренції між впливом температури на теплоприхід у процесі деформування, $Q^+(T)$ та тепловідвід у навколишнє середовище $Q^-(T)$.

Враховуючи також перехресний вплив прийнятих до уваги ефектів, а саме, розширення тіла під час нагрівання та ефект виділення тепла під час деформування, отримуємо [2, 3]:

$$\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = Q^+(T) - Q^-(T), \quad Q^+(T) = Q_1^+(T) + Q_2^+(T), \quad (4)$$

$$Q_1^+(T) = \alpha (T - T_0) \sigma, \quad Q_2^+(T) = \beta \varepsilon \sigma / 2, \quad Q^-(T) = \frac{hS}{V_A} (T - T_0), \quad (5)$$

де ρ – щільність, kg/m^3 ; C_p – питома теплоємність, $Dж/(kgK)$;

$Q_1^+(T)$ – тепловий ефект під час періодичному стисканні тіла у процесі циклічного навантаження, $Dж / моль$;

$Q_2^+(T)$ – тепловий еквівалент роботи деформації, $Dж/моль$;

α – коефіцієнт лінійного температурного розширення, K^{-1} ; h – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2К)$; S – площа поверхні зразка, $м^2$; V_A – активаційний об'єм зразка, $м^3$; T_0 – температура термостата у момент $t = 0$, 0К ;

Динамічну модель, яка описує еволюцію поведінки деревини в часі під час циклічного навантаженні наведено у вигляді системи диференціальних рівнянь, що враховують взаємний вплив температури, напруження та деформації у термоактиваційній зоні:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \alpha(T - T_0)\sigma + \beta \frac{1}{2} \sigma \varepsilon - \gamma(T - T_0) \\ \frac{d\sigma}{dt} = \varepsilon E + \alpha(T - T_0)E - (\sigma - Y) \\ \frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha(T - T_0) - \frac{\sigma - Y}{E} \\ \frac{dY}{dt} = \sigma_0 \sin(2\pi f x) \\ \frac{dx}{dt} = \delta \end{cases}, \quad (6)$$

де $\gamma = \frac{hS}{\rho C_p V_A}$ – коефіцієнт пропорційності, що враховує особливості теплопередачі [3]; $\beta = (\rho C_p V_A)^{-1}$ – коефіцієнт пропорційності, що залежить від питомої теплоємності матеріалу C_p , його щільності ρ та активаційного об'єму V_A . Результати розрахунку за моделлю (6) наведені у [4].

Результати натурного експерименту. Зразки із вільхи, січенням $25,5 \times 9,5$ мм закріплювалися консольно на спеціальній установці. Вільний кінець консолі сприймав циклічне навантаження. Зміна величин внутрішніх напружень виконувалося зміною довжини консолі при постійній величині амплітуди коливань. Межа міцності при згині та модуль пружності визначався за стандартною методикою. Для цього установку із зразком встановлювали на розривну машину Р-5 при параметрах: $[\sigma_u] = 83,4$ МПа, $E = 6810$ МПа. Вимірювання температури відбувалося термопарами, що знаходилася на зовнішній поверхні консолі у місцях її жорсткою закріплення. Температуру реєстрували на комп'ютері через кожних 10 с. Коливання віднулеві (ГОСТ 23207 Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения.) Температура термостата $T_0 = 293$ К.

У таблиці наведені умови та результати експериментів. Підвищення температури показано у зоні стиску.

Таблиця 1 - Таблиця змінних факторів та результати експериментів.

№	Максимальні напруження в активційному об'ємі при згині, σ , МПа	Частота коливань, f , Гц	Час до руйнування, $\times 10^3$	Температура в зоні максимальних напружень в стаціонарному стані, T , °К	Максимальний приріст температури, $\Delta T = T_{max} - T_0$, К	Період релаксації, часу початку переходу до стаціонарного стану, $\Delta \tau = \tau(T_{max}) - (T_0)$, $\times 10^3$
1	2	3	4	5	6	7
1	47,9	1,3	2100	301	14	95
2	47,9	2,7	1460	304	20	60
3	47,9	4,0	960	307	30,5	26
4	47,9	5,3	850	310	35	17
5	47,9	8	600	317	49	5

На Рис. 1 наведено графіки залежності температури у зоні максимальних напружень від частоти під час циклічних навантажень до руйнування зразка.

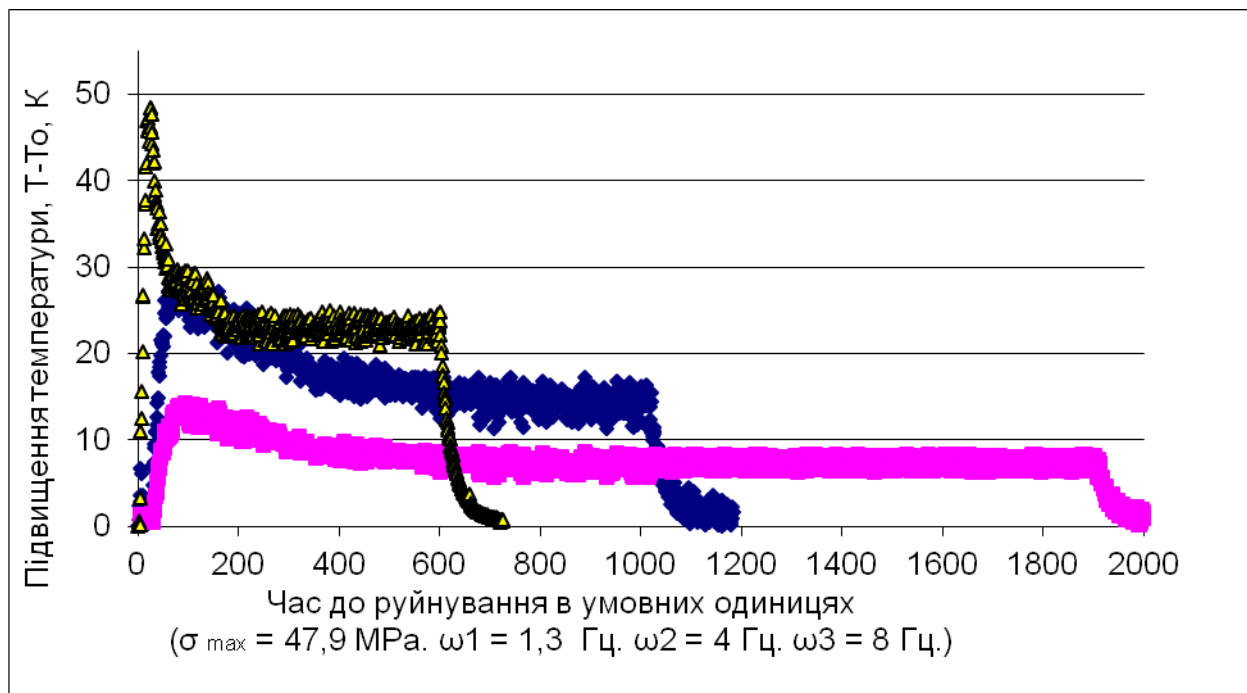


Рис. 1. Залежність зниження температури від частоти під час постійних напружень до руйнування зразка

Як бачимо кожна з температурних кривих у часі має чотири характерні ділянки. Перша, початкова ділянка, це період швидкого зростання температури із постійною швидкістю. Це ділянка нестационарного стану, коли приплив тепла перевищує його відтік. Ділянка закінчується крапкою максимальної

температури. Друга ділянка, це перехід від нестационарного стану до стаціонарного, при якому прихід тепла за рахунок роботи пружною деформації вже не змінюється, є конвективний та інший відтік починає поступово збільшуватися. У момент рівності припливу та відпливу тепла відбувається перехід тіла у стаціонарний стан. Стаціонарний стан це третя характерна ділянка. У цьому стані температура тіла коливається біля деякого середнього значення. Величина цієї середньої температури залежить від обмеженого числа керуючих параметрів, які впливають як теплофізичні властивості тіла, так і умови його термо - механічного навантаження [5].

У стовпці 7 таблиці 1 наведено час досягнення піку температурного навантаження, тобто момент початку переходу тіла від нестационарного стану до стаціонарного.

Користуючись даними, наведеними у таблиці 1 можна проаналізувати зміни теплової інерції теплового потоку в нестационарному стані тіла що навантажено. Відносна теплова інерція для нашого випадку наведена на рис. 2.

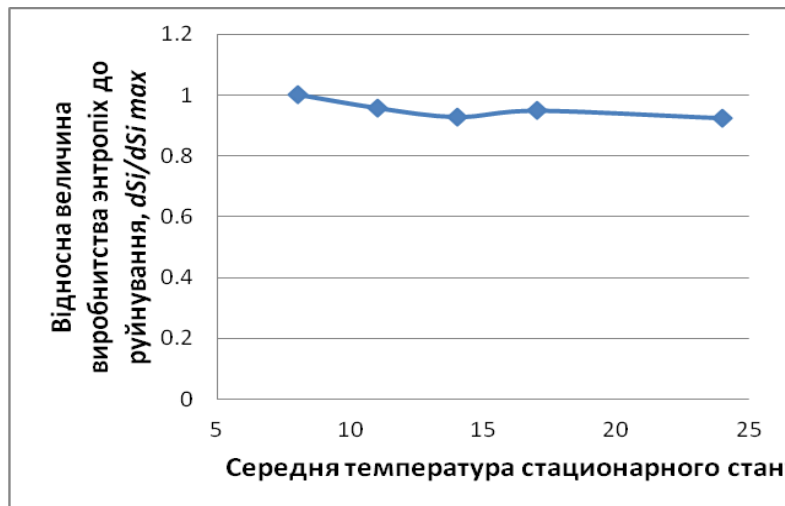


Рис. 2. Залежність величини відносної теплової інерції під час втомних випробування деревини від величини максимальної температури в зоні пружних деформацій

За результатами втомних випробувань можна також визначити величину загальної питомої ентропії, яке вироблено у процесі втомного руйнування вільхи, наведено на рис. 3.

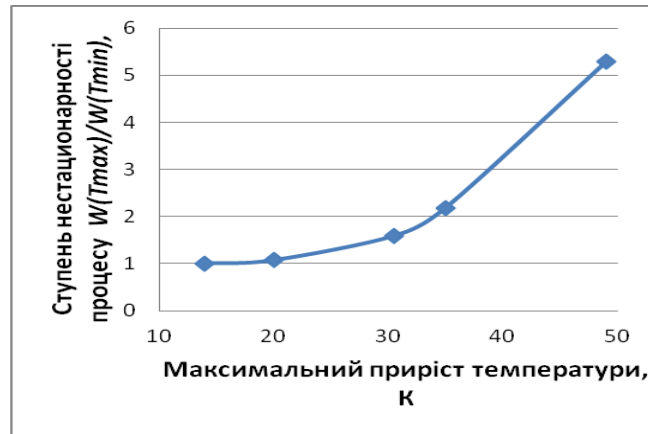


Рис. 3. Графік залежності відносної загальної питомої ентропії виробленої у процесі втомного руйнування вільхи.

Крім того, для більш повного розуміння рівня нестационарного процесу деформування в початковий період навантаження, можна визначити ступінь його нестационарності. Яка враховує зміну теплової інерції під час різних режимах навантаження і постійну при цьому величину питомої виробництва ентропії для кожного матеріалу. Ступінь нестационарності процесу втомного навантаження залежно від максимального приросту температури наведено на рис. 4.

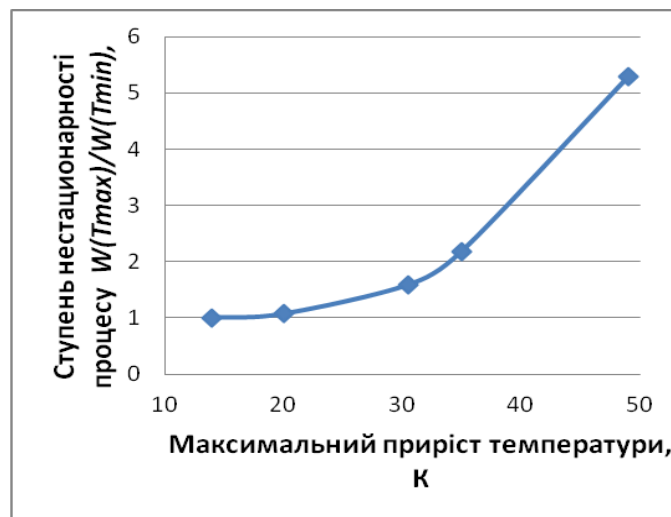


Рис. 4. Ступінь нестационарності процесу втомного навантаження залежно від максимального приросту температури

Під час порівняння результатів, справжнього дослідження, які отримані із урахуванням величини теплової інерції теплового потоку під час циклічного навантаження деревини, з результатами, отриманими згідно обчислювального експерименту за моделлю (6), яка побудована без обліку теплової інерції [5], можна відзначити, що динамічна модель (6) адекватно описує динаміку зміни

середньої температури тільки у стаціонарному стані.

Висновки. Під час проведення прискорених втомних випробуваннях деревини феномен теплової інерції необхідно враховувати тільки у початковий період навантаження. Так як в цьому випадку ступінь нестационарності процесу може досягати значних величин.

Час температурної релаксації може досягати при термо - силовому навантаженні деревини досить великих значень. Тому при високих інтенсивних швидкісних процесах обробки деревини потрібно враховувати теплову інерцію теплового потоку.

Час теплової релаксації під час опору деревини втоми залежить від частоти навантаження що прикладається.

Список літератури

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
2. Ратнер С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Изд-во “Химия”, 1992. – 320 с.
3. Петров В.А. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. / В.А. Петров, А.Я. Башкарев, В.И. Веттергенъ. – СПб.: Политехникак, 1993. – 475 с.
4. Кульман С.М. Модель втомного руйнування деревини та композиційних матеріалів на її основі / Кульман С.М. // Науковий вісник НЛТУ / Львів. – 2015. – Вип. 25.2. – С. 334 – 340.
5. Кульман С.М. Прогнозування довговічності деталей із деревини та деревних матеріалів під час їх циклічного навантаження / Кульман С.М. // Науковий вісник НЛТУ / Львів. – 2015. – Вип. 25.3. – С. 146 – 155.

Аннотація

ФЕНОМЕН ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ В ДРЕВЕСИНЕ

С. Н. Кульман., к. т. н.

(директор НПФ «Компания Интердизайн»)

В статье приведены данные исследования температурно-силовых механизмов нелинейной динамики деформирования и разрушения древесины. Показано, что в непродолжительных промежутках времени учет конечной скорости распространения тепловых возмущений приводит к качественным различиям. В больших промежутках времени решение асимптотически совпадает с решениями, основанными на уравнении Фурье.

Полученные результаты позволяют учитывать динамические эффекты взаимосвязанной термоупругости при интенсивной тепловой обработке древесины и композиционных материалов на его основе.

Abstract

PHENOMEN OF THERMAL INERTIA IN THE WOOD

S. N. Kulman.

The article presents data from a study of temperature and power mechanisms of the nonlinear dynamics of deformation and destruction of timber. It is shown that in the short time intervals into account the finite speed of propagation of thermal perturbations lead to qualitative differences. In the long period of time the solution is asymptotically coincides with the solutions based on the Fourier equation.

The results allow to take into account the dynamic effects of the interconnected thermoelasticity under intensive heat treatment of wood and composite materials on its basis.

УДК 624.011.14; 625.142.21

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СКЛЕИВАНИЯ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ**

Мазаник Н. В., доцент; Божелко И. К.

(Белорусский государственный технологический университет)

Выполнен анализ свойств клеев, потенциально пригодных для производства составных деревянных шпал. Проведены циклические испытания клеевых соединений на устойчивость к ускоренному старению в условиях переменных температурно-влажностных воздействий. Определена зависимость прочности клеевого соединения на основе клея ФРФ-50 от параметров режима склеивания. Произведена оптимизация режима склеивания.

Рациональность использования древесного сырья является одним из важнейших факторов, влияющих на конкурентоспособность деревообрабатывающих предприятий. Особенно актуален данный аспект для производств, в которых полезный выход основной продукции ограничен в силу ее специфики, например при производстве крупномерных сортиментов, таких как шпалы, столбы, рудничные стойки и т. п. Проблема усугубляется тем