

УДК 621.3.036.282

А.М. Шостачук, асист.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ДЕРЕВИНИ ДУБА В ПРОЦЕСІ КОНВЕКТИВНО-НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО СУШІННЯ

(Представлено д.т.н., проф. І.Г. Грабаром)

Наведено результати експериментальної перевірки теоретичних моделей напруженого стану, представлених в першій частині статті, та підтверджена їх адекватність. Дано пояснення впливу тривалості сушіння, інтенсивності нагріву та початкової вологості на величину внутрішніх напружень.

Частина 2. Експериментальне дослідження внутрішніх напружень

Величина внутрішніх напружень є одним з головних показників, що поруч з кінцевою вологістю, перепадом вологості за товщиною матеріалу та наявністю тріщин характеризують якість висушеної деревини. Тому при розробці нових засобів сушіння обов'язково здійснюють прогноз [1] внутрішніх напружень в поперечному перерізі висушеної деревини. В попередніх роботах [2, 3] автором були представлені результати експериментальних досліджень та теоретичні моделі процесів видалення вологи. Ці моделі, що передбачають рух вільної вологи у вигляді водяного стовпа під дією градієнта тиску та видалення зв'язаної вологи як зменшення півки товщиною h , дали змогу побудувати моделі напруженого стану деревини під час сушіння. Такі моделі були представлені в першій частині статті [4], де наведено результати розрахунків для різного ступеня наближення:

а) при попередньому видаленні вільної вологи і одночасному початку видалення зв'язаної вологи в усьому перерізі (перше наближення);

б) при одночасному видаленні вільної і зв'язаної вологи, при цьому було прийнято допущення, що вільна волога видаляється у вигляді водяного стовпа під дією градієнта тиску (друге наближення);

в) при врахуванні процесу видалення вологи з поверхні деревини (третє наближення).

Було з'ясовано, що друге наближення дає збільшення у внутрішніх напружень у 3,5–4 рази. Поява зовнішніх тріщин можлива тільки при підвищенні швидкості повітряного потоку до 10 м/с. В даній роботі наводяться результати експериментальної перевірки отриманих теоретичних моделей.

Для того, щоб експериментально дослідити внутрішні напруження та перевірити теоретичні моделі, застосовували стандартну методику. У відповідності до цієї методики випилювали стандартні силові зразки, що мали форму букви П. Залишкові напруження визначали за відхиленням зубців зразка. Чим більші напруження, тим сильніше відхилюються зразки від початкового положення. Для пиломатеріалів 1-ї та 2-ї категорій якості відхилення зубців секцій не повинно перевищувати 1,5–2 % довжини зубця:

$$I = \frac{T - T_1}{2l} \cdot 100 \%,$$

де T , T_1 – відповідно початкова та кінцева відстані між поверхнями зубців; l – довжина зубців.

Значення напружень визначали наступним чином. Сам зубець представлявся як консольна балка, на яку діє розподілене навантаження. Для такого випадку наводяться [5] рівняння вигнутої лінії осі балки та формула для обчислення прогину:

$$w = -\frac{qa^4}{8EI},$$

де q – розподілене навантаження;

E – модуль пружності матеріалу на згин;

I – момент інерції поперечного перерізу.

Тоді розподілене навантаження:

$$q = -\frac{8EIw}{a^4}.$$

Далі, оскільки нас цікавить величина напружень, які діють на балку визначеного поперечного розміру:

$$q' = \frac{q}{b},$$

де b – товщина зубця.

У зв'язку з тим, що експериментальне дослідження залишкових напружень пиломатеріалів проводять після закінчення процесу сушіння, то для того, щоб дослідити внутрішні напруження в процесі сушіння, необхідно виконати наступні умови:

– внутрішні напруження, що відповідають різному часу сушіння, досліджують на різних групах зразків; при цьому кожній групі зразків буде відповідати своє значення внутрішніх напружень;

– шуканим значенням є середнє значення з досліджуваної групи зразків.

На рис. 1, 2 представлено результати співставлення експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків внутрішніх напружень в дубових пиломатеріалах в залежності від часу сушіння та інтенсивності нагріву відповідно.

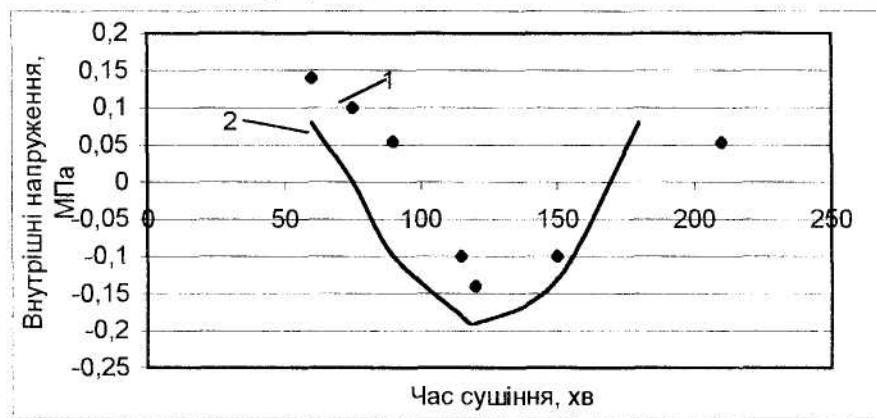


Рис. 1. Залежність внутрішніх напружень від часу сушіння (1 – експериментальні дані, 2 – теоретичні розрахунки)



Рис. 2. Залежність внутрішніх напружень від інтенсивності нагріву (1 – експериментальні дані, 2 – теоретичні розрахунки)

Очевидно, що інтенсивність нагріву при конвективно-надвисокочастотному сушінні є одним з основних чинників, що буде визначати напружений стан деревини під час сушіння. Збільшення кількості теплоти, що виділяється в деревині в одиницю часу, буде обумовлювати прискорення процесу видалення і вільної вологи, і зв'язаної, але в різній мірі. При дослідженні впливу інтенсивності нагріву на напружений стан деревини час сушіння залишали незмінним, а інтенсивність надвисокочастотного нагріву змінювали від 0,076 до 0,304 Вт/см³. Розміри поперечного перерізу зразків становили 5x5 та 3,5x5 см². Початкова вологість становила 68 ± 2 %. Вимірювали величину відносного відхилення зубців. Як видно (рис. 2), існує оптимальний режим, який визначає мінімальні напруження деревини після сушіння.

Зміщення графіків ми пояснюємо наявністю внутрішніх напружень у вологій деревині після розпилювання.

Співставлення діелектричних характеристик абсолютно сухої деревини [6–8] і води дає змогу зробити той висновок, що більш висока початкова вологість деревини, що висушується, для незмінних режимів сушіння передбачає більшу інтенсивність надвисокочастотного нагріву. Крім того, при підвищенні утримання води збільшується можливість росту внутрішніх напружень, таких, що обумовлені не градієнтом вологості по перерізу матеріалу, а тиском випареної води в капілярах. Але, очевидно, існують оптимальні режими сушіння, які будуть забезпечувати високу якість висушених матеріалів при будь-якій початковій вологості. Априорі можна припустити, що при збільшенні початкової вологості необхідно зменшувати інтенсивність конвективно-надвисокочастотного нагріву. На рис. 3 представлено вплив початкової вологості на внутрішні напруження в деревині після сушіння. Розміри поперечного перерізу дослідних зразків становили 50x50 мм².



Рис. 3. Залежність внутрішніх напружень від початкової вологості

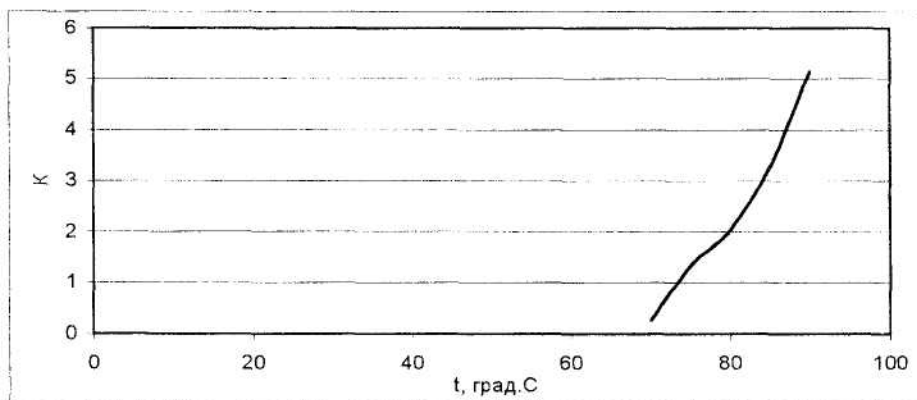


Рис. 4. Залежність відношення часу видалення вільної води до часу видалення зв'язаної (K) для різних температур

Як видно, при збільшенні початкової вологості до межі гігроскопічності напруження стиснення поверхневих шарів також збільшуються. Це, на наш погляд, пояснюється тим, що при наявності в деревині перед початком сушіння тільки зв'язаної води і більш високій температурі центральних шарів перепад вологості буде збільшуватись. Тобто у світлі прийнятих вище моделей буде більшою різниця між товщинами стінок циліндрів, утворених умовною плівкою зв'язаної води товщиною h . Слід було очікувати, що при збільшенні початкової вологості більше за межу гігроскопічності напруження стиснення поверхневих шарів також будуть рости. Адже при наявності в деревині вільної води, що у вигляді стовпа рухається до поверхні, у внутрішніх шарах видалається зв'язана вода, тоді як у зовнішніх шарах при наявності вільної води процес видалення зв'язаної води ще не розпочався. Очевидно, зменшення напружень стиснення, а потім їх перехід в напруження розтягнення пояснюються

явищем релаксації напружень. Тобто при видаленні з внутрішніх шарів зв'язаної води в них відбувається релаксація напружень. На користь нашого пояснення пропонуємо графік, на якому показано у світлі прийнятих вище моделей відношення часу видалення вільної води до часу видалення зв'язаної ($K = \tau_e / \tau_{30}$, рис. 4). Як видно, це відношення стрімко збільшується при підвищенні температури від 70 до 90 °С. А це означає, що оптимальною температурою конвективно-надвисокочастотного сушіння деревини дуба є така, що не перевищує 70 °С. В іншому випадку немає можливості уникнути внутрішніх тріщин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Губер Ю.М.* Обґрунтування параметрів і розробка раціональних режимів вакуумно-діелектричного сушіння дубових заготовок. Дис... канд. техн. наук: 05.05.07 / Український державний лісотехнічний університет / . – Львів, 1998. – 19 с.
2. *Шостачук А.М.* Моделювання та оптимізація технологій НВЧ-сушіння деревини дуба. Частина 1. Експериментальне дослідження впливу деяких факторів на видалення води при НВЧ-сушінні деревини дуба // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1999. – № 9. – 352 с.
3. *Шостачук А.М.* Моделювання та оптимізація технологій НВЧ-сушіння деревини дуба. Частина 2. Моделі процесів видалення води // Сучасні технології в аерокосмічному комплексі: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 40-річчю польоту людини в космос, 4–6 вересня 2001 року. – 252 с. – Житомирський інженерно-технологічний інститут.
4. *Шостачук А.М.* Напружений стан деревини дуба в процесі конвективно-надвисокочастотного сушіння. Частина 1. Моделі внутрішніх напружень // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2001. – № 18. – 203 с.
5. *Писаренко Г.С.* Сопротивление материалов. – К.: Вища школа. – 1986. – 775 с.
6. *Боровиков А.М., Уголёв Б.Н.* Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
7. *Соболев Ю.С.* Древесина как конструкционный материал. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 248 с.
8. *Торговников Г.И.* Диэлектрические свойства древесины. – М.: Лесная промышленность, 1986.

ШОСТАЧУК Андрій Миколайович – асистент кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- мікрохвильові технології сушіння деревини;
- процеси тепло- та масообміну в колоїдних капілярно-пористих тілах;
- механіка руйнування деревини.

Подано 6.12.2001