

ревини) не відіграє. Таким чином, при сушінні шпону і подрібненої деревини раціональними режимами є такі, в яких температура сушильного агента по ходу процесу зменшується.

Для порівняння між собою різних режимів за очікуваними кількісними і якісними результатами існують три критерії: жорсткості, ефективності та безпечності.

Критерій жорсткості характеризує інтенсивність випаровування вологи в даному сушильному агенті. Більш жорстким вважається режим, який забезпечує вищу інтенсивність випаровування вологи. З двох режимів однаковою відносною вологістю (ϕ), при однаковій вологості матеріалу, більш жорстким є режим з підвищеною температурою. При однаковій температурі середовища більш жорстким є режим з меншою величиною t_c і ϕ . Якщо порівнюються режими з різними t_c і ϕ , показником їх жорсткості є психрометрична різниця ($t_c - t_m$). Таким чином, жорсткість режиму визначається параметрами сушильного агента і вологістю матеріалу оскільки при однаковому стані середовища інтенсивність випаровування зменшується при зниженні вологості деревини.

Критерій ефективності характеризується відношенням тривалості сушіння однакового матеріалу різними режимами, тобто, ефективність одного режиму порівняно з іншим оцінюється відношенням тривалості процесів (τ_1/τ_2).

Критерій безпечності визначає наскільки цей режим є безпечний для деревини, безпечний від руйнування внутрішніми напруженнями. Величина цього критерію оцінюється відношенням границі міцності деревини $[\sigma]$ до максимальних напружень ($\sigma_{\max}$), які виникають при сушінні, тобто відношення $[\sigma]/\sigma_{\max}$ має бути завжди більше одиниці. Критерій безпечності режиму можна визначати при відомих характеристиках матеріалу (вологість, переріз, порода), границі міцності з використанням відомих залежностей. Таким чином наприклад, для дошки тангентального випилювання

$$\sigma_{\max} = 0,01 K_T E_{(W,t)} (W_{T.H.} - W_p) \quad \text{та} \quad B = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} = 1,0,$$

де $E_{(W,t)}$ – модуль пружності деревини

$$E_{(W,t)} = d - bt + (ct - d)W,$$

де a, b, c, d – коефіцієнти рівняння.

Знайдемо оптимальне значення рівноважної вологості деревини

$$[W_p] \geq W_{T.H.} - \frac{[\sigma]}{0,01 K_T E_{(W,t)} \cdot B},$$

де B – критерій безпечності режиму, який потрібно приймати більше одиниці.

Враховуючи, що мінливість механічних показників деревини може мати 16...24 %, то значення коефіцієнта безпечності необхідно приймати при значеннях $[B]=1,2...1,3$.

Режими сушіння деревини (розклад параметрів середовища на вході до матеріалу) складають за різними принципами. Розглянемо основні з них. Перший, найбільш поширений, принцип побудови режимів базується на зміні параметрів середовища (t_c, ϕ) при постадійній зміні вологості (W) деревини. За таким прин-

ципом побудовані режими: 8-ми ступеневі (І.В. Кречетов), 6-ти ступеневі (П.В. Соколов), триступеневі (П.С. Серговський), двоступеневі (П.С. Серговський), багатоступеневі (зарубіжних фірм Hildebrand; Vanicek; Valmet;...), різноступеневі (І.В. Кречетов, П.В. Білей) та безступеневі (ЛатНДЛПТ). Достатня кількість експериментальних даних дає підстави для побудови таких режимів (другий принцип), де зміна параметрів середовища (t, ϕ) відбувається за тривалістю (часом) сушіння. Тобто, коли експериментально доведено, що за визначений час деревина (певної характеристики) набуває потрібної вологості при якій необхідно змінювати параметри середовища. Ефективними є режими, де зміна параметрів середовища призначається (третій принцип) по величині внутрішніх напружень, що виникають в деревині при сушінні. Але для впровадження таких режимів необхідно провести великий обсяг досліджень напружено-деформівного стану деревини, зміни їх фізико-механічних показників при сушінні.

УДК 66.047

Проф. Я.М. Ханик, д.т.н. – НУ "Львівська політехніка"

ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведені результати досліджень, які показують зв'язок структурної модифікації листових капілярно-пористих і капілярно-пористих колоїдних матеріалів з кінетикою сушіння.

Prof. Ya. Hanyk – NU "Lvivs'ka Politekhnikha"

The showed processes drying of disperse materials

In this work are represented results of researching which shows connection of modification between capillary porous leafy materials and kinetic of drying.

Структура листових газопроникних матеріалів значно складніша, ніж шару зернистих матеріалів. Це пов'язано з тим, що капіляри і канали листових газопроникних матеріалів утворені не з окремих частин, які як за формою, так і за розмірами певною мірою близькі між собою, а із окремих волокон, які в результаті переплетення утворюють складну пористу структуру.

При фільтраційному сушінні розподіл капілярів за розмірами немає дуже важливого значення. В першу чергу для даного методу сушіння важливими є ефективні вільний об'єм і внутрішня поверхня, тобто наскрізні канали, якими рухається теплоносії і поверхня, із якою він безпосередньо контактує.

Значно меншу роль для фільтраційного процесу сушіння мають замкнуті капіляри і канали. Істотний вплив на інтенсивність фільтраційного сушіння мають також розгалужені канали і капіляри, які перетинаються із наскрізними капілярами.

Визначення вільного об'єму наскрізної пористої структури і об'єму капілярів, що з'єднані з нею, ускладнене. Тому для отримання характеристики структури матеріалу використовуємо показники загального вільного об'єму, питомої внутрішньої поверхні і наведеної густини.

Вільний об'єм матеріалів, з якими проводилися дослідження, визначався за допомогою просочувального методу [1], а питома поверхня – методом теплової десорбції [2].

Основні характеристики досліджуваних матеріалів приводяться для різних груп газопроникних листових об'єктів, які відрізняються за природою зв'язку вологи з матеріалом і особливостями структурної модифікації.

До першої групи відносяться капілярно–пористі матеріали (макропористі), що характеризується рівномірною структурою (різного виду шерстяні матеріали і об'єкти виготовлені із хімволокна).

До другої групи віднесені листові капілярно – пористі колоїдні матеріали однорідної мікропористої структури (листові картони, азбести).

До третьої групи – капілярно–пористі матеріали неоднорідної структури – капілярно – пориста структура окремих елементів і наявність каналів між ними (різного роду текстильні матеріали)).

Матеріали першої групи характеризуються тим, що їх товщина значно перевищує діаметр окремого волокна ($H \gg d$). Наприклад, для виробу з товщиною стінки $60 \cdot 10^{-3}$ м діаметр волокон становить $25 \cdot 10^{-6}$ м. Матеріали першої групи характеризуються такими основними параметрами: вільний об'єм змінюється в межах $\epsilon = 0.6-0.92$ питома поверхня $a = 67000 \div 45100 \text{ м}^2/\text{м}^3$; приведена густина $\rho = 171-561 \text{ кг/м}^3$; еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}} = (0,71 \div 4,61) \cdot 10^{-5} \text{ м}$; коефіцієнт проникності $K_n = (0,54 - 44) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$.

Коефіцієнт проникності [3] для всіх матеріалів визначений при одній швидкості і дозволяє більш повно охарактеризувати структуру газопроникного об'єкту і, в першу чергу, наскрізну пористість.

Для матеріалів другої групи [4] коефіцієнт проникності змінюється в межах $K_n = 0,3 \cdot 10^{-12} \div 4 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2$; еквівалентний діаметр $d_{\text{екв}} = 3 \cdot 10^{-6} \div 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}$; питома поверхня $a = 6 \cdot 10^6 \div 18,9 \cdot 10^7 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Матеріали третьої групи характеризуються найбільшим значенням коефіцієнта проникності $K_n = 2,7 \cdot 10^{-9} \div 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$; еквівалентний діаметр для них $d_{\text{екв}} = 0,2 \cdot 10^{-5} \div 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$; питома поверхня $a = 7,1 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Як випливає із наведених результатів досліджень трьох груп матеріалів (всього 34 матеріали), найбільшою проникністю і найбільшим еквівалентним діаметром характеризуються матеріали першої групи, а найменшими – матеріали другої групи, хоча вони мають найбільшу питому поверхню.

Гідрравлічний опір матеріалів і кінетика фільтраційного сушіння залежать не тільки від їх природи, а значною мірою – від структурних особливостей.

Кінетика сушіння матеріалів першої групи характеризується наявністю періоду механічного витіснення і винесення, умовними першим і другим періодами. Швидкість сушіння таких матеріалів фільтраційним методом в десятки – сотні раз перевищує їх швидкість сушіння конвективним методом [4].

Матеріали другої групи – типові капілярно–пористі колоїдні об'єкти значно відрізняються механізмом сушіння від матеріалів першої групи і кінетична крива характеризується періодом сповільненого сушіння, незначним першим і значним в часі другим умовними періодами. Механічне витіснення і винесення вологи відсутнє. Тривалість процесу однакових за товщиною матеріалів першої і другої груп істотно відрізняється. Час сушіння капілярно – пористих колоїдних матеріалів другої групи, при всіх решта однакових умовах значно перевищує час сушіння капілярно – пористих матеріалів першої групи.

Матеріали третьої групи займають проміжне значення за кінетичними особливостями сушіння між матеріалами першої і другої груп. Кінетична крива характеризується наявністю умовних першого і другого періодів, але відсутній як період механічного витіснення, так і період сповільненого сушіння.

Кількісною характеристикою швидкості сушіння матеріалів усіх трьох груп є коефіцієнт "а", який входить в рівняння кінетики сушіння в першому умовному періоді [4] $W/W_0 = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-aH}$, де W – поточна вологість, %; W_0 – початкова вологість, %, α – кінетичний коефіцієнт, який залежить від гідродинамічних умов і температури теплоносія, $1/\text{с}$; τ – поточний час сушіння, с; "а" – кінетичний коефіцієнт, який залежить від природи і структури матеріалу, $1/\text{м}$; H – товщина стінки матеріалу, м.

В таблиці наведені середні значення кінетичного коефіцієнта "а" для різних груп матеріалів, які підтверджують взаємозв'язок швидкості сушіння з структурними характеристиками і природою зв'язку вологи з матеріалом.

Табл. Середні значення кінетичного коефіцієнта "а"

Матеріал	а, 1/м
I група	0,058
II група	1,91
III група	0,12

З наведених результатів досліджень і їх аналізу можна зробити висновок, що при організації високоефективного фільтраційного процесу сушіння листових газопроникних матеріалів необхідно визначати не тільки параметри теплоносія, але і структурні характеристики об'єкту, що висушується, природу його зв'язку з вологою, що тісно пов'язано з механізмом фільтраційного сушіння.

Література

1. Коллінз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир. – 1964. – 351 с.
2. Проблемы теории и практики исследования в области катализа /Под общей редакцией В.А. Ройтера. / – К.: Наук. думка. – 1973. – 362 с.
3. Левинський Б.Ф., Лещій Н.П. Основи підземної гідраліки. – Львів: Видав. Львівського ДУ. – 1958. – 231 с.
4. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских пористых материалов.: Автореферат дис. док. тех. наук. – Львів, 1992. – 36 с.

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д.т.н.; інж. Ю.І. Зарева – УкрДЛТУ;
інж. В.П. Селедець – Кременецький лісотехнікум

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Обґрунтовано вибір технології сушіння пиломатеріалів залежно від вимог до обладнання, породи деревини, розмірів пиломатеріалів та їх призначення.

Prof. P.V. Bilej; eng. Yu.I. Zarewa – USUFWT; eng. V.P. Seledets

The substantiation of selection of the equipment and know-how of drying of saw-timbers

The selection of know-how of drying of saw-timbers is justified depending on the requirements up to the equipment, rock of timber, sizes of saw-timbers and their assigning.