

Крок	Зміст формалізації
1	Тривалість технологічних операцій у фазах ABC
2	Пошук часу та місця найшвидшої зміни стану
3	Контроль стану фази i (операції)
4	Контроль стану наступної фази (операції) – $i+1$
5	Передача обробленого предмета праці з фази i до фази $i+1$
6	Контроль нового стану фази i
	Тривалість оброблення наступного предмета праці у фазі i

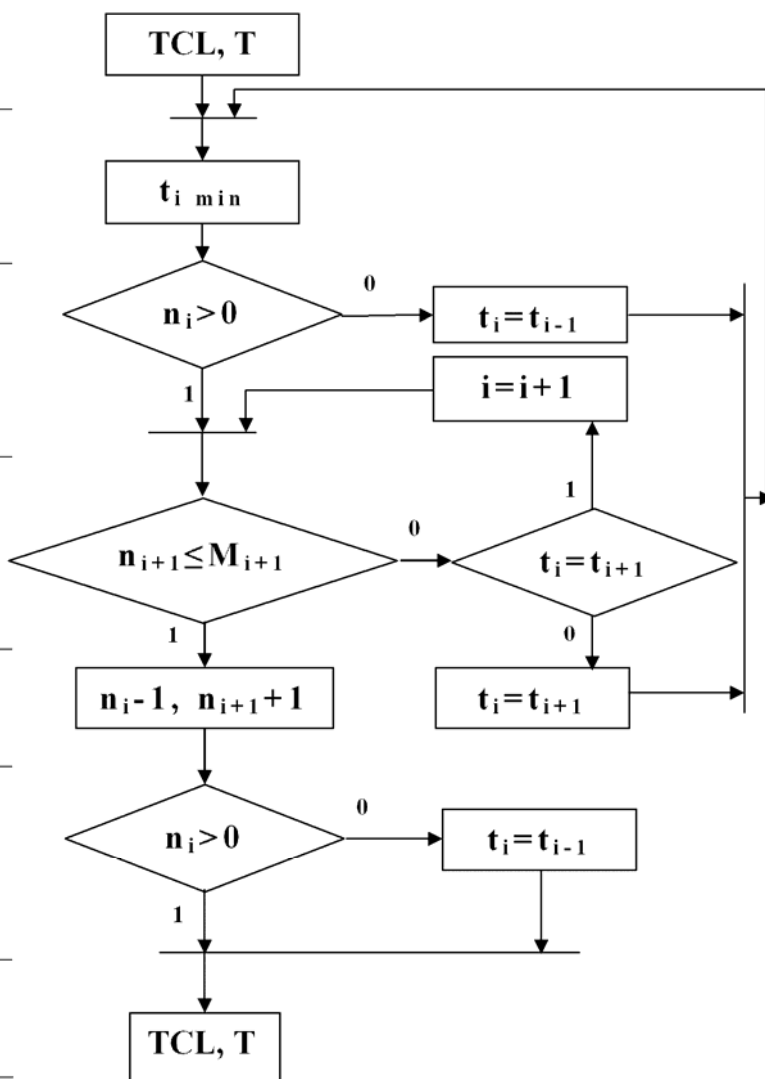


Рис. 3. Формалізація процесу функціонування послідовних ABC

Запропоноване тут скорочення кількості кроків та операторів в алгоритмі, який використовується у кожному циклі кожної операції оброблення на всіх дільницях виробничої системи, має досить важливе значення, бо дає змогу істотно скоротити дорогий машинний час моделювання.

Література

1. Томашевський В.М., Жданова О.Г., Жолдаков О.О. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання: Навч. посібник. – К.: Корнійчук, 2001. – 268 с.
2. Дудюк Д.Л. та ін. Елементи теорії автоматичних ліній: Навч. посібник. – Київ-Львів: ІЗМН. – 192 с.

УДК 674.047

Проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук; доц. Й.Л. Ацбергер;
інж. З.П. Копинець – НЛТУ України

ВПЛИВ РЕЖИМУ СУШІННЯ НА ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ДЕРЕВИНИ

Проведено аналіз механізму тріщиноутворення та наведено формули розрахунку градієнтів для параболоподібного розподілу вологості у процесі сушіння.

Prof. V.V. Shostak; doc. Yo.L. Acberher, eng. Z.P. Kopynets – NUFWT of Ukraine

Influence of drying regimes on cracks formation in wood

Mechanism of cracks formation and formulae for calculation of moisture content gradient distribution in process of wood drying have been considered.

Внаслідок сушіння деревина повинна максимально зберегти свої природні структурно-механічні властивості, які зумовлюються збереженням форми, розмірів та структури матеріалу у процесі сушіння і досягаються за рахунок вибору як оптимального методу, так і режиму сушіння.

Від збереження первинних розмірів та форми залежить зовнішній вигляд деревини, а від збереження його структури – пористість, яка визначає ступінь відновлення властивостей висушених матеріалів при їх зневодненні. Крім того, у процесі сушіння деревини необхідно також запобігти пожолобленню матеріалу та утворенню тріщин, адже останні призводять до руйнування об'єкта сушіння.

Причиною появи тріщин і дальшого повного руйнування є розвиток об'ємно-напруженого стану деревини до величини граничнодопустимого стану і вище, зумовленого міцністю деревини. Цей напружений стан створюється за рахунок недопустимого всідання (зменшення об'єму та розмірів взірця деревини у процесі сушіння), яка виникає внаслідок нерівномірного розподілу вологості по перетину матеріалу. Таким чином, основною причиною утворення тріщин у процесі сушіння є наявність значних перепадів вологості по перетину матеріалу за рахунок невеликої вологопровідності матеріалу. У зв'язку з тим, що коефіцієнт вологопровідності залежить від температури матеріалу, а остання визначається режимом сушіння, то і якість висушеного матеріалу буде залежати від режиму сушіння.

Зауважимо, що багато вчених рекомендують різні засоби і шляхи уникнення тріщин, рекомендуючи використовувати як дво-, три-, так і багатоступеневі (6...8 ступенів) режими сушіння, а також проведення проміжного вологотеплооброблення при різній вологості деревини. Так, наприклад, проф. П.В. Білей [1] пропонує під час сушіння букових пиломатеріалів залежно від їх товщини виконувати 2...5 вологотеплооброблень, а також обов'язкове початкове прогрівання і у кінці процесу сушіння – кондиціонування при $\varphi = 0,60...0,67$. Канд. техн. наук Й.В. Андрашек [2] для сушіння букових пиломатеріалів рекомендує стандартні 3-ступеневі режими, але із проміжним вологотеплообробленням при перехідній вологості $W = 25...35\%$ і температурі сушильного агента на $18...20\text{ }^{\circ}\text{C}$ вищій як температура першого ступеня режиму сушіння і при відносній вологості $\varphi = 1,0$ незалежно від породи та товщини матеріалу.

Проф. П.С. Серговський [3] теоретично та практично довів доцільність принципу двоступеневої побудови режимів сушіння деревини.

Проведений нами аналіз стандартних режимів сушіння твердолистяних порід деревини показує, що на першому етапі сушіння, коли на поверхні матеріалу діють розтяжні напруження, необхідно підтримувати високий ступінь насичення φ агента сушіння, тобто забезпечити малу жорсткість режиму

(з метою недопущення подальшого розвитку розтяжних напружень у поверхневих шарах матеріалу). На другому етапі сушіння, коли настає зміна знаку напружень, жорсткість режиму сушіння збільшується за рахунок підвищення температури сухого термометра, тобто зменшення величини ϕ . Це дасть змогу значно інтенсифікувати процес зневоднення без загрози розтріскування висушуваної деревини.

Таким чином, найбільш небезпечною та загрозливою, із точки зору збереження якості та структурно-механічних властивостей деревини, є висока жорсткість режиму на першому етапі сушіння. У зв'язку з чим велике теоретичне та практичне значення має встановлення граничнодопустимої жорсткості режиму сушіння саме на першому етапі.

Оскільки напружений стан у процесі сушіння деревини створюється за рахунок нерівномірного розподілу вологості по поперечному перетину матеріалу, то за критерій тріщиноутворення у процесі сушіння повинен бути взятий певний параметр, який характеризує перепад вологості в об'єкті сушіння.

У колоїдних капілярно-пористих тілах (зокрема, й деревини) при десорбції води відбувається так звана капілярна контракція (стискування). Причиною, що викликає деформації всідання, є релаксація внутрішніх напружень у капілярно-пористій системі, які виникають під дією капілярних сил. Сили поверхневого натягу на увігнутих менісках рідини у капілярах тіла створюють для рідини розтяжні напруження (в той час як у твердому скелеті деревини створюється дуже складне поле напружень). Як вказує академік О.В. Ликов [4], капілярний тиск рідкої фази в твердому тілі є функцією його вологовмісту і тому поле капілярних контракцій в ізотермічних умовах буде подібним до поля вологовмісту, яке й є основною причиною виникнення саме об'ємно-напружено-деформівного стану вологого матеріалу у процесі сушіння.

У зв'язку з чим він й пропонує як критерій тріщиноутворення в будь-який момент часу приймати відносну різницю між середнім $\bar{u}$ та локальним u вологовмістом об'єкта сушіння, тобто

$$K = \frac{\bar{u} - u}{\bar{u}_0}, \quad (1)$$

де $\bar{u}_0$ – середній початковий вологовміст, кг/кг сухого матеріалу.

Якщо тріщини утворюються на поверхні матеріалу у першому періоді сушіння, то $u = u_{\text{пов}}$. Тоді при параболічному розподілу вологості (вологовмісту) можна записати

$$\bar{u} - u_{\text{пов}} = \frac{2}{3} \cdot (u_{\text{ц}} - u_{\text{пов}}), \quad (2)$$

де $u_{\text{пов}}$, $u_{\text{ц}}$ – відповідно поточні значення вологовмістів поверхневих і центральних шарів.

Тоді для поверхневого шару рівняння (1) набуде вигляду

$$K_{\text{пов}} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{u_{\text{ц}} - u_{\text{пов}}}{\bar{u}_0} \right). \quad (3)$$

Тому в умовах параболоподібного розподілу вологовмісту та температури для першого періоду процесу конвективного сушіння, згідно з теорією сушіння, встановлено

$$\frac{u_{\text{ц}} - u_{\text{пов}}}{\bar{u}_0} = \frac{1}{2} \cdot Ki_m + \frac{t_{\text{пов}} - t_{\text{ц}}}{t_c} \cdot Pn, \quad (4)$$

де: Ki_m – масообмінний критерій Кірпічова; Pn – критерій Поснова; $t_{\text{пов}}$, $t_{\text{ц}}$, t_c – відповідно температура поверхневих та центральних шарів деревини й агента сушіння.

Очевидно, що при м'якому режимі сушіння, коли $t_{\text{пов}} \approx t_{\text{ц}}$, рівняння (4) спроститься:

$$K_{\text{пов}} = \frac{1}{3} \cdot Ki_m, \quad (5)$$

тобто критерій тріщиноутворення

$$Ki_m = 3 \cdot K_{\text{пов}}. \quad (6)$$

Таким чином, тріщиноутворення характеризується масообмінним критерієм Кірпічова

$$Ki_m = \frac{q_m \cdot R}{a_m \cdot \rho_0 \cdot u_0} = \frac{R \cdot (\nabla u)_{\text{пов}}}{u_0} = 2 \cdot \left(\frac{u_{\text{ц}} - u_{\text{пов}}}{u_0} \right), \quad (7)$$

де: q_m – інтенсивність сушіння; $(\nabla u)_{\text{пов}}$ – поверхневий градієнт вологості; a_m – коефіцієнт вологопровідності; ρ_0 – густина матеріалу в абсолютно сухому стані.

У зв'язку з тим, що в умовах конвективного сушіння при порівняно низькій температурі сушильного агента, коли термовологопровідністю можна знехтувати, інтенсивність сушіння визначиться

$$q_m = -a_m \cdot \rho_0 \cdot (\nabla u)_{\text{пов}}. \quad (8)$$

Оскільки величина q_m залежить від режиму сушіння, а коефіцієнт вологоперенесення a_m – від температури матеріалу, то на основі рівняння (8) можна встановити залежність градієнта вологості від режиму сушіння, тобто

$$-(\nabla u)_{\text{пов}} = \frac{q_m}{a_m \cdot \rho_0}. \quad (9)$$

Таким чином, для деревини, як матеріалу, що схильний до розтріскування, максимально допустимий градієнт вологості буде лімітувати інтенсивність сушіння.

Своєю чергою, температура агента сушіння t_c значно впливає на величину коефіцієнта вологопровідності a_m (при підвищенні t_c величина a_m спочатку зростає повільно – поки матеріал не прогріється, а потім дуже різко).

Тому при високій температурі агента сушіння, коли q_m також зростає, відношення $\left(\frac{q_m}{a_m \cdot \rho_0} \right)$ буде зменшуватися за рахунок більш різкого збільшен-

ня коефіцієнта a_m . Таким чином, на другій стадії сушіння доцільно підвищувати температуру агента сушіння, завдяки чому інтенсивність процесу може збільшуватися без небезпеки появи тріщин у матеріалі.

При параболічному розподілі вологості в матеріалі максимально допустимий градієнт вологовмісту може бути визначений за виразом

$$(\nabla u)_{\max} \approx \frac{2}{R} \cdot (u_{\text{ц}} - u_{\text{пов}}), \quad (10)$$

де R – визначальний розмір матеріалу ($R = \frac{S_1}{2}$, S_1 – товщина пиломатеріалів).

Зауважимо, що при сушінні деревини, в якій всихання відбувається при видаленні зв'язаної води, рівняння (1) або (3) не може бути критерієм якості з тієї причини, що навіть при відносно високому середньому вологовмісті $\bar{u}$ у поверхневому шарі проходить всихання і, таким чином, виникають напруження, які викликають поверхневі тріщини. На цьому етапі процесу сушіння напруження приблизно пропорційні величині вільного всихання поверхневих шарів (остання визначається перепадом $\Delta u = u_{\text{г.н.}} - u_{\text{пов}}$), тобто різниці між вологовмістом границі насичення клітинних стінок та поверхневої вологості деревини.

Тому ми пропонуємо за критерій тріщиноутворення прийняти відносний перепад вологовмісту границі насичення $u_{\text{г.н.}}$ і поверхневої вологості $u_{\text{пов}}$ відносно до максимального вологовмісту $u_{\max}$, тобто

$$K = \frac{u_{\text{г.н.}} - u_{\text{пов}}}{u_{\max}}. \quad (11)$$

Істотною відмінністю критерію тріщиноутворення, що визначається за рівнянням (11) та рівнянням (1) є його постійність для різниці $(u_{\text{г.н.}} - u_{\text{пов}})$.

Замінивши різницю $(u_{\text{г.н.}} - u_{\text{пов}})$ величиною градієнта вологовмісту на поверхні матеріалу $(\nabla u)_{\text{пов}}$, тобто

$$(\nabla u)_{\text{пов}} = \frac{du}{dx}, \quad (12)$$

отримаємо
$$K = \frac{(\nabla u)_{\text{пов}} \cdot R}{u_{\max}}. \quad (13)$$

Оскільки
$$(\nabla u)_{\text{пов}} = \frac{du}{dx} = \frac{q_m}{a_m \cdot \rho_{\text{б}}}, \quad (14)$$

де $\rho_{\text{б}}$ – базисна густина деревини.

Підставивши рівняння (14) в (13), отримаємо

$$K = \frac{q_m \cdot R}{a_m \cdot \rho_{\text{б}} \cdot u_{\max}} = Ki_m. \quad (15)$$

Враховуючи те, що масообмінний критерій Кірпічова можна визначити двома методами (за інтенсивністю випаровування води або за величиною градієнта вологості), то можна записати

$$K_{i_{\max}} = \frac{q_m \cdot R}{a_m \cdot \rho_b \cdot u_{\max}} = - \frac{R \cdot (\Delta W)_{\text{пов}}}{u_{\max}} = \frac{\frac{du}{d\tau} \cdot R^2}{a_m \cdot u_{\max}}, \quad (16)$$

де $\frac{du}{d\tau}$ – швидкість сушіння.

Таким чином, визначаючи критерій Кірпічова для різних режимів сушіння, які призводять до розтріскування матеріалу, можна встановити максимально допустимий критерій $K_{i_{\max}}$.

Література

1. Билей П.В. Технология камерной сушки твердых листовых пород: Автореф. дисс. на соиск уч. степ. д. т. н. – Львов, 1993. – 36 с.
2. Андрашек И.В. Влаготеплообработка при сушке пиломатериалов твердых листовых пород: Автореф. дисс. на соиск уч. степ. к. т. н. – Львов, 1985. – 24 с.
3. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
4. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М.: Энергия, 1978. – 479 с.

УДК 634.9

Проф. З.Й. Дячун, канд. техн. наук – НЛТУ України

МІЦНІСТЬ ЗАДНЬОГО ВУЗЛА СТІЛЬЦЯ СТОЛЯРНОГО

Розглянуто питання міцності заднього вузла стільця столярного і з цією метою проведено аналітичний аналіз впливу різних чинників на опір з'єднання на плоский рамковий шип. Досліджено вплив заплечиків, крайок і геометрії щок шипа на міцність з'єднання. Опрацьовано графічні залежності впливу геометрії шипа на коефіцієнт запасу міцності з'єднання, запропоновано різні конструктивні варіанти з'єднання, що гарантують надійність експлуатації виробу. За результатами досліджень виконано (як приклад) розрахунок міцності заднього вузла стільця столярного ВАТ МК "Стрий" моделі "Соріно" за найнесприятливіших умов статичного його навантаження масою людини. У висновках наведено практичні рекомендації.

Prof. Z.Yo. Dyachun – NUFWT of Ukraine

Strength of carpenter chair's rear assembly

The issue of strength of carpenter chair's rear assembly is examined. For this purpose the analytic analysis of influence of various factors on a flat frame tenon has been carried out. Influence of tenon's flanges, rims, and cheek geometry on joint efficiency has been studied. Graphic relations of influence of tenon geometry on the junction's safety factor have been studied; various constructive variants of the junction's design which provide operational security of the product have been suggested. On the basis of the research, strength estimation (as an example) of rear assembly of carpenter chair *Sorino* model produced by JSC MK *Striy*, under worst conditions of static load with human mass has been carried out. The summary contains practical suggestions.

Міцність цієї чи іншої конструкції можна визначати такими шляхами – методом складання розрахунків на міцність, руйнуванням конструкції або шляхом стендових випробувань тривалими або прискореними методами. В конструюванні меблів прогнозувати необхідну міцність виробу чи окремого вузла можна шляхом розрахунків на міцність, або, маючи реальний об'єкт, провести стендові випробування на спеціальних пристроях. Як правило, ди-