

де α і " a " кінетичні коефіцієнти, які визначаються із експериментальних даних: α [1/м]; " a " [1/с]. Коефіцієнт " a " залежить від природи і структури матеріалу, а величина α – від параметрів процесу.

Залежність коефіцієнта α від параметрів процесу може бути описана таким рівнянням.

$$\alpha = A \cdot T^m \cdot \Delta P^n. \quad (5)$$

Рівняння (4) з доповненням рівняння (5) можна представити у вигляді:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - A \cdot T^m \cdot \Delta P^n \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H} \quad (6)$$

На основі узагальнення результатів досліджень згідно з рівняннями (4) і (5) отримані конкретні значення коефіцієнтів пропорційності і показників степеней. Із врахуванням зазначеного рівняння (6) матиме вигляд: для $W \leq W_{кр.}$

$$\frac{W}{W_0} = 1 - 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot T^{1,2} \cdot \Delta P^{0,3} \cdot \tau \cdot e^{-760 \cdot H}. \quad (7)$$

Рівняння (7) дозволяє прогнозувати сушіння березового шпону при вказаних нами умовах в широкому діапазоні параметрів до досягнення $W_{кр.}$, яке для досліджуваного матеріалу дорівнює: $W_{кр.} = 16\%$. Сушіння у другому періоді описується рівнянням [4]:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-\chi \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр})} \quad (8)$$

Однак, N , виходячи з рівняння для першого умовного періоду, дорівнює:

$$N = \frac{W_0 - W_{кр}}{\tau_{кр}} = \frac{(W_0 - W_{кр}) \cdot \alpha \cdot e^{-a \cdot H}}{1 - W_{кр} / W_0} \quad (9)$$

Відносний коефіцієнт сушіння χ для досліджуваного матеріалу становить: $\chi = 3,09 \cdot 10^{-2} 1/\%$. Рівняння (8) з врахуванням рівняння (9) матиме вигляд:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = \text{Exp} \left(-3,09 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(W - W_{кр}) \cdot \alpha \cdot e^{-a \cdot H} \cdot (\tau - \tau_{кр})}{1 - W_{кр} / W_0} \right). \quad (10)$$

Рівняння (10) може бути представлене та у вигляді:

$$W = (W_{кр} - W_0) \cdot \text{Exp}(-3,09 \cdot 10^{-2} \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр})) + W_p. \quad (11)$$

Залежності (7) і (10) добре узгоджуються з експериментальними даними. Отримані кінетичні рівняння (7) і (10) з врахуванням рівняння гідродинаміки процесу дозволяють прогнозувати сушіння шпону і лежать в основі розрахунку нових сушильних агрегатів, а також оптимальних умов сушіння.

Умовні позначення: μ – в'язкість повітря, Па·с; F – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ε – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔP – перепад

тисків, Па; H – товщина стінки матеріалу, м; W_0 – початкова вологість матеріалу, %; W – текуча вологість матеріалу, %; $W_{кр}$ – критична вологість матеріалу, %; W_p – рівноважна вологість, %; τ – поточний час, с; $\tau_{кр}$ – критичний час сушіння, с; T – температура, $^\circ\text{C}$; χ – відносний коефіцієнт сушіння, $1/\%$; N – швидкість сушіння у першому періоді, $\%/с$.

Література

1. Кречетов И.В. Сушка и защита древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 328 с.
2. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов.: Автореферат дис. д-р техн. наук – Львов, 1993. – 36 с.
3. Азров М.Э., Тодес О.М., Норинский Д.А. Аппараты со стационарным слоем. Л.: Химия, 1979. – 176 с.
4. Лыков. А.В. Теория сушки. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.

УДК 647.047

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОГО ТЕПЛО-І ВОЛОГОПЕРЕНОСЕННЯ У ПРОЦЕСІ КОНВЕКТИВНО-РАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розкривається специфіка комбінованого сушіння деревини. Наводяться рівняння, що описують даний процес сушіння.

Doc. I.M. Ozarkiv – USUFWT

Salient features of interior heat and moisture transfer during convective-radiative wood drying

Specific features of combined method of wood drying have been described. Equations describing wood drying, have been presented.

Проникнення інфрачервоних променів на певну глибину для деревини зумовлює специфічні особливості внутрішнього тепло-і масообміну у процесі конвективно-радіаційного сушіння деревини. Зокрема, перенесення променевої енергії у середині твердого тіла, у першу чергу, буде визначатися спектральними терморадіаційними характеристиками: коефіцієнтами відбивання, пропускання і поглинання.

Аналіз температурних кривих при інфрачервоному (ІЧ) опроміненні показав, що у деревині відбувається глибинне прогрівання шарів її за рахунок проникнення ІЧ-променів в матеріал.

Для тонких матеріалів, що мають більш розвинену питому зовнішню поверхню, точка максимуму кривої розподілення температури буде більш повною і точніше відповідати глибині проникнення променів. Необхідно зазначити, що в міру зростання глибини проникнення у середину тіла буде збільшуватися й товщина шару матеріалу, де буде розподілятися променева енергія. Тому питання про величину глибини проникнення ІЧ-випромінювання в об'єкт сушіння і про форми внутрішніх джерел тепловиділення є ключо-

вим при розв'язанні проблеми інтенсифікації процесів нагрівання і сушіння за рахунок проникнення ІЧ-променів у деревину.

У випадку сушіння необмеженої пластини диференціальне рівняння теплопровідності із врахуванням позитивних і негативних джерел теплоти записується:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{q_{\lambda, v}}{\rho C} - \frac{r \cdot \varepsilon}{C} \frac{\partial U}{\partial \tau}, \quad (1)$$

де $q_{\lambda, v}$ – питома об'ємна густина поглинутого потоку випромінювання, яка залежить від часу і глибини проникнення, тобто $q_{\lambda, v} = f(\tau, h_{\lambda})$.

Очевидно, що в міру збільшення h_{λ} у середину матеріалу, величина $q_{\lambda, v}$ буде зменшуватися і при повному поглинанні променевої енергії поверхнею об'єкта сушіння величина $q_{\lambda, v}/(\rho C)$ в рівнянні (1) буде дорівнювати нулю.

За умови, коли процес випаровування вологи частково проходить у середині деревини ($\varepsilon \neq 0$) і коли є симетричне розподілення полів вологості і температури, інтегрування рівняння (1) дозволяє отримати вираз для визначення локальної температури об'єкта сушіння, тобто

$$t_x = t_c + \frac{q_{\text{ВИПР}}}{\alpha_K} - \frac{rq'_m}{\alpha_K} - \frac{req'_m}{2\lambda_M R} (R^2 - x^2), \quad (2)$$

де: $q_{\text{ВИПР}}$ – густина променевого потоку; r – питома теплота пароутворення; α_K – коефіцієнт теплообміну; q'_m – інтенсивність випаровування вологи; ε – коефіцієнт фазового перетворення ($\varepsilon = 1$ – випаровування води проходить всередині матеріалу у вигляді пари, $\varepsilon = 0$ – на поверхні тіла у вигляді води); λ_M – теплопровідність вологої деревини; R – визначальний розмір ($R = S_1/2$, S_1 – товщина матеріалу); x – глибина залягання точки або зони шару матеріалу від центра тіла ($x = R$ – поверхня матеріалу; $x = 0$ – центр матеріалу).

Для умови $x = 0$ і $C_1 = 0$ температура центральних шарів деревини визначиться за формулою:

$$t_{II} = t_c + \frac{q_{\text{ВИПР}}}{\alpha_K} - \frac{rq'_m}{\alpha_K} - \frac{req'_m R}{2\lambda_M}, \quad (3)$$

а для поверхневих шарів, коли $x = R$, $C_2 = t_c + \frac{q_{\text{ВИПР}}}{\alpha_K} - \frac{rq'_m}{\alpha_K} + \frac{req'_m R}{2\lambda_M}$, величина температури виразиться:

$$t_{\text{ПОВ}} = t_c + \frac{q_{\text{ВИПР}}}{\alpha_K} - \frac{rq'_m}{\alpha_K}. \quad (4)$$

Тоді, перепад температур (основна рушійна сила процесу сушіння) для конвективно-радіаційного сушіння з врахуванням рівнянь (3) і (4) визначиться за такою формулою:

$$\Delta t = t_{\text{ПОВ}} - t_{II} = \frac{req'_m R}{2\lambda_M} \quad (5)$$

Останнє рівняння дозволяє визначити величину критерію фазового переходу ε , тобто:

$$\varepsilon = \frac{2\lambda_M \Delta t}{req'_m R} = \frac{2\lambda_M (t_{\text{ПОВ}} - t_{II})}{req'_m R}. \quad (6)$$

У свою чергу, диференціальне рівняння масоперенесення у процесі конвективно-терморадіаційного сушіння матеріалу можна записати так:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a'_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \delta_t a'_m \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \delta_p a'_m \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}. \quad (7)$$

де: a'_m – коефіцієнт вологопровідності (потенціалопровідності); δ_t – термоградієнтний коефіцієнт; δ_p – коефіцієнт молярного перенесення вологи.

Інтегрування рівняння (7) за умови параболоподібного розподілення вологовмісту (вологості) деревини дозволяє отримати рівняння для визначення вологовмісту в будь-якій точці тіла, тобто:

$$U_x = U_{II} - \frac{q'_m \tau}{\rho_B R} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} - x^2 \right) \left(\frac{q'_m R}{a'_m \rho_B} + \frac{\varepsilon req'_m \delta_t R}{\lambda_M} \right) \quad (8)$$

Із рівняння (8) можна отримати вирази для визначення вологовмісту, як на поверхні тіла, так і в центрі матеріалу. Зокрема, для поверхні матеріалу ($x = R$) формула (8) набуде вигляду:

$$U_{\text{ПОВ}} = U_{II} - \frac{q'_m \tau}{\rho_B R} - \frac{1}{3} \frac{q'_m R}{a'_m \rho_B} - \frac{1}{3} \frac{\varepsilon req'_m \delta_t R}{\lambda_M}, \quad (9)$$

а для центральних шарів ($x = 0$)

$$U_{II} = U_{II} - \frac{q'_m \tau}{\rho_B R} + \frac{1}{6} \frac{q'_m R}{a'_m \rho_B} + \frac{1}{6} \frac{\varepsilon req'_m \delta_t R}{\lambda_M}. \quad (10)$$

Для середнього вологовмісту деревини розв'язання рівнянь (9) і (10) приводять, у кінцевому підсумку, до рівняння кривої сушіння у першому періоді, тобто

$$\Delta U = U_{II} - U_x = \frac{q'_m \tau}{\rho_B R} = \left(\frac{dU}{d\tau} \right)_{\text{ПОВ}} \tau \quad (11)$$

Розв'язуючи останнє рівняння відносно швидкості сушіння, отримаємо рівняння:

$$\frac{dU}{d\tau} = \frac{\alpha_K (t_c - \bar{t}) + q_{\text{ВИПР}}}{r \rho_B R \left(1 + \frac{\varepsilon \alpha_K R}{3\lambda_M} \right)}. \quad (12)$$

Для випадку, коли $\varepsilon = 0$, рівняння (12) значно спрощується і приймає вигляд:

$$\frac{dU}{d\tau} = \frac{\alpha_K (t_c - \bar{t}) + q_{\text{ВИПР}}}{r \rho_B R}. \quad (13)$$

Таким чином, ми бачимо, що розв'язання задачі сушіння у процесі конвективно-радіаційного сушіння зводиться до інтегрування відповідної системи рівнянь перенесення тепла і маси як у самому матеріалі, так і в навколишньому середовищі, що впливає на вологу деревину. Крім того, отримані нами вище рівняння дозволяють отримати ряд цікавих розв'язків. Так, наприклад, розв'язання рівняння (8) дає змогу отримати рівняння кривої сушіння для першого періоду. Якщо прийняти, що при $\tau_1 (\tau = \tau_{кр}), U = U_{кр}$, то

$$(U_{п} - U_{кр}) = \frac{q'_m \tau_{кр}}{\rho_B R} = N \tau_1, \quad (14)$$

звідки

$$\tau_1 = \frac{(U_{п} - U_{кр})}{q'_m} \rho_B R \quad (15)$$

Тоді, з врахуванням (15) і (9), отримаємо:

$$U_{кр} = U_{пов.кр} + \frac{q'_m R}{3a'_m \rho_B} = U_{п.кр} + \frac{NR^2}{3a'_m}. \quad (16)$$

УДК 674.02:621.923

Доц. О.А. Кійко, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЛІНІЇ З ДВОХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ-ШЛІФУВАННЯ ДЕРЕВОСТРУЖКОВИХ ПЛИТ ЖОРСТКИМИ АБРАЗИВНИМИ ЦИЛІНДРАМИ

Розроблена імітаційна модель калібрування деревостружкових плит жорсткими абразивними циліндрами на лінії з двох шліфувальних агрегатів. Здійснено порівняльний аналіз роботи інструментів першого і другого агрегатів. Проведено оптимізацію процесу.

Doc. O.A. Kyiko – USUFWT

Research activity of line from two aggregates for calibrating of particle board by rigid abrasive cylinders

Simulation model process of calibration particle board by rigid abrasive cylinders for line from two aggregates is designed. The comparative operational analysis of tools for the first and second aggregates is carried out. The researches on this model are conducted with purpose optimization of this process.

Проведені в УкрДЛТУ експериментальні дослідження із вивчення процесу калібрування-шліфування ДСП жорсткими абразивними інструментами носять частковий характер і не враховують випадкову природу багатьох змінних чинників, а тому не дають відповіді на наступні вкрай важливі питання:

- скільки абразивних інструментів і якої зернистості та твердості необхідно для забезпечення найбільш якісного і продуктивнішого абразивного оброблення партії плит, що відповідає конкретним умовам даного виробництва?;

- якими є оптимальні налагоджувальні розміри (лінійний розмір між твірними двох абразивних циліндрів за умови використання суміщеної схеми та між твірною циліндра і площиною оброблюваної поверхні за умови використання рознесеної схеми), що встановлюються на всіх шліфувальних агрегатах?;
- які необхідно використати конкретні шляхи підвищення ефективності процесу калібрування-шліфування деревних плитних матеріалів в умовах виробництва?

Задачею проведених досліджень було вивчення роботи лінії з двох агрегатів для здійснення процесу калібрування-шліфування жорсткими абразивними циліндрами (рис. 1) з метою підвищення ефективності абразивного оброблення.

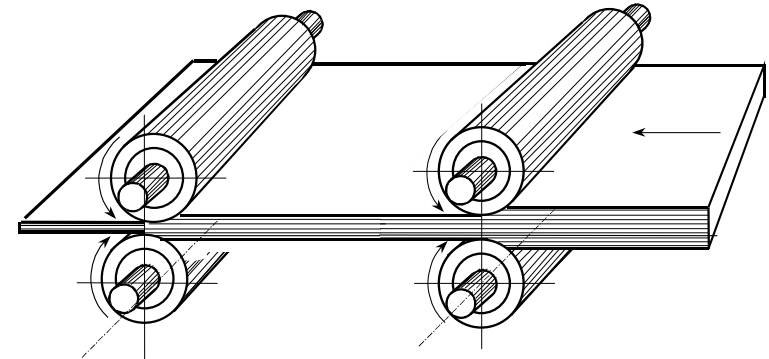


Рис. 1. Схема лінії з двох агрегатів для калібрування-шліфування ДСП жорсткими абразивними циліндрами

З метою вивчення роботи лінії розроблена імітаційна модель процесу, на якій проведені дослідження. Для цього реалізований уніформ-рототабельний план, в ортогональній частині якого використаний дробовий факторний план типу 2^{10-5} (1/32 частина репліки повного факторного плану типу 2^{10}).

Відмінною особливістю досліджень роботи лінії з двох агрегатів, порівняно із дослідженням процесу калібрування-шліфування ДСП одним агрегатом є те, що характеристики абразивного оброблення другого проходу є залежними від основних чинників першого.

Нами досліджувався вплив товщини деревостружкових плит після пресування і технологічної витримки, середнього квадратичного відхилення товщини плити, налагоджувальних товщин першого і другого шліфувальних агрегатів, твердості та зернистості абразивних циліндрів двох агрегатів, швидкості різання і швидкості подачі на довжину прокаліброваної ДСП до повного зносу абразивних циліндрів (рис. 2...11).

У випадку, коли величина середнього квадратичного відхилення мінімальна $S(H)=0,1$ мм, збільшення середньої товщини плити після пресування і технологічної витримки призводить до зменшення довжини шліфування як для першого, так і для другого шліфувальних агрегатів (рис. 2, 3). Для абразивних циліндрів першого проходу інтенсивність такого збільшення більш суттєва порівняно з другим проходом, оскільки загальна різнотовщинність