

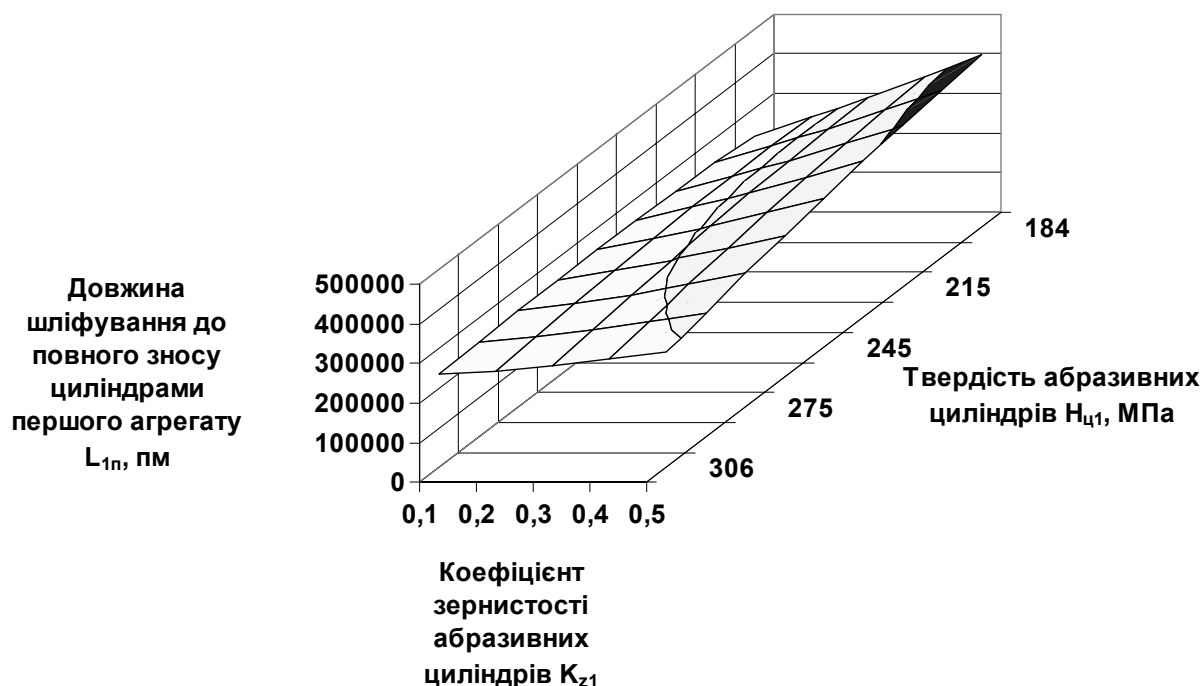


Рис. 5. Залежність довжини калібрування-шліфування ДСП абразивними циліндрами першого агрегату до повного зносу L_{1n} від коефіцієнту зернистості абразивних циліндрів K_{z1} і їх твердості $H_{ц1}$: швидкість різання $V = 24$ м/с; швидкість подачі $V_s = 20,5$ м/хв.; середня товщина плити після пресування $H = 17,1$ мм; налагоджувальна товщина першого агрегату $H_{Н1} = 16,45$ мм; середнє квадратичне відхилення товщини плити $S(H) = 0,3$ мм.

У результаті проведеної оптимізації знайдені такі величини параметрів процесу калібрування ДСП, при яких довжина шліфування до повного спрацювання абразивних циліндрів є максимальною ($L = 2009740$ п.м):

- товщина деревостружкових плит після пресування і технологічної витримки $H = 16,7$ мм;
- середнє квадратичне відхилення товщини плити $S(H) = 0,1$ мм;
- налагоджувальна товщина калібрування $H_1 = 16,7$ мм;
- твердість абразивних циліндрів $H_{ц1} = 240$ МПа;
- коефіцієнт зернистості абразивних циліндрів $K_{z1} = 0,5$;
- швидкість різання $V = 18$ м/с;
- швидкість подачі $V_s = 13$ м/хв.

УДК 674.047

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук,
доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук – УкрДЛТУ

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВИНИ У ПРОЦЕСІ СУШІННЯ

Розкрито фізичну суть основних характеристик деревини (вологівмісту матеріалу, потенціалу масоперенесення, хімічного потенціалу), що відіграють важливу роль в процесах нагрівання і сушіння.

The thermodynamic of wood in drying process

The article deals with the physical essence of the main wood characteristics (hygroscopic of material, transfer mass potential, chemical potential). Its are play an important part in the heating and drying processes

При розрахунку процесів нагрівання і сушіння важливу роль відіграють термодинамічні параметри, фізичну суть яких слід мати для встановлення зв'язку із властивостями деревини.

Відомо, що основними потенціалами перенесення тепла (енергії) і маси (вологи) є відповідно температура і хімічний потенціал. Основною рушійною термодинамічною силою перенесення маси є добуток абсолютної температури (T) на градієнт відношення хімічного потенціалу (μ) до температури, тобто:

$$X_U = -T \nabla \frac{\mu}{T}. \quad (1)$$

Враховуючи те, що хімічний потенціал в загальному випадку є функцією температури, тиску і вологовмісту тіла, тобто $\mu = f(T, \rho, U)$, то термодинамічна сила ($\nabla \mu / T$) містить в собі частку, яка також залежить від температури. Інакше кажучи, вплив градієнта температури проявляє себе через обидві сили, що для дослідження процесу сушіння є недопустимим.

Основною рушійною силою масоперенесення в ізотермічній, але однорідній за складом, капілярно-пористій системі є градієнт хімічного потенціалу ($T = \text{const}$), тобто:

$$\nabla \Theta = \left(\frac{\partial \mu}{\partial U} \right)_{T, p} \nabla U. \quad (2)$$

Дане співвідношення, як видно, встановлює зв'язок між вологовмістом матеріалу U і потенціалом масоперенесення ($\Theta = \mu_T$), тобто з ізотермічним хімічним потенціалом.

Основою для визначення хімічного потенціалу служать такі рівняння, які пов'язують між собою п'ять змінних величин: температуру, ентропію, внутрішню енергію, тиск і приведений питомий об'єм, що визначають стан системи [1].

Слід зазначити, що на відміну від вказаних вище величин, хімічний потенціал виміряти неможливо, його можна визначити тільки за допомогою термодинамічних потенціалів.

Під хімічним потенціалом розуміють приріст внутрішньої енергії певного компоненту системи при одночасному зростанні його на одиницю, коли об'єм, ентропія і маса решти компонентів системи залишаються постійними (аналогічно визначення поняття хімічного потенціалу можна зробити на основі рівнянь ентропії, вільної енергії і т. п.).

Аналіз, проведений Л.М. Нікітіною [2, 3], показав, що в межах зміни температур від 0 до 100 °C хімічний потенціал для гігроскопічної вологості визначається рівнянням такого виду:

$$\mu = RT \ln \varphi. \quad (3)$$

Г.С. Шубін [4,5], використавши рівняння І.В. Кречетова [6], які встановлюють зв'язок між відносною вологістю середовища (агента сушіння) φ і рівноважним вологовмістом деревини U_p , отримав формули для визначення відносної вологості повітря:

- коли $\varphi=0\ldots 0,50$, то:

$$\varphi = \frac{U_p - 0,0036[13,9 - (0,01T)^2]}{0,0072[29,5 - (0,01T)^2]} \quad (4)$$

- коли $\varphi=0,50\ldots 1,00$, то:

$$\varphi = 1,21 - \frac{0,512[21,7 - (0,01T)^2]}{100U_p} \quad (5)$$

Підставивши значення із формул (4) і (5) в рівняння (3), отримаємо вирази для визначення значень хімічного потенціалу для двох областей зміни φ , тобто

$$\mu_1 = RT \ln \left\{ \frac{U_p - 0,0036[13,9 - (0,01T)^2]}{0,0072[29,5 - (0,01T)^2]} \right\}, \quad (6)$$

$$\mu_2 = RT \ln \left\{ 1,21 - \frac{0,512[21,7 - (0,01T)^2]}{100U_p} \right\}. \quad (7)$$

Таким чином, для перенесення вологи в області гігроскопічного стану деревини її хімічний потенціал вологи може бути виражений через вологовміст і температуру деревини, тобто $\mu=f(U, T)$. В основу математичного опису закону перенесення тепла в деревині, як відомо [7], покладений закон Фур'є:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (8)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

Враховуючи, що $\lambda = a\rho c$ (a – коефіцієнт температуропроводності, ρ – густина тіла і c – його питома теплоємність), то можна записати:

$$q = -a\rho c \frac{dt}{dx} = -a\rho \frac{dH}{dx}, \quad (9)$$

де H ($H=c \cdot t$) – ентальпія тіла.

Аналогічно, рівняння, що описує перенесення маси в ізотермічних умовах, буде мати вигляд:

$$q'_m = -\lambda_\Theta \frac{d\Theta}{dx} = -a'_m \rho_0 c'_\Theta \frac{d\Theta}{dx} = -a'_m \rho_0 \frac{dU}{dx}, \quad (10)$$

де: q'_m – густина потоку маси (вологи), що переноситься, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; λ_Θ – коефіцієнт вологопровідності, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{В})$; a'_m – коефіцієнт потенціалопровідності (вологопровідності), $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_0 – густина об'єкта сушіння в абсолютно сухому стані, $\text{кг}/\text{м}^3$; Θ – потенціал перенесення маси (аналог температури), $^\circ\text{В}$; C'_Θ – істинна ізотермічна вологоємність, $\text{кг вологи}/(\text{кг сух. м.} \cdot ^\circ\text{В})$.

В загальному випадку:

$$C'_{\Theta} = \left(\frac{dU}{d\Theta} \right)_T. \quad (11)$$

Із рівняння (11) виходить, що істинна питома ізотермічна вологості визначає кількість вологи, яку поглинає 1 кг сухого матеріалу при збільшенні його потенціалу на одиницю при сталій температурі.

Хоча рівняння (9) і (10) показують, що вологовміст U є аналогом на температури, а більшою мірою ентальпії тіла. Аналогом температури є потенціал перенесення маси (води) [7].

Як відомо [1,8], розрізняють середню і локальну (істинну) вологості (масовість). Середня питома масовість характеризує зміну вологовмісту ΔU відповідно до зміни масоперенесення $\Delta \Theta$ на одиницю вимірювання цього потенціалу, тобто:

$$C'_m = \left(\frac{\Delta U}{\Delta \Theta} \right)_T = \left(\frac{dU}{d\Theta} \right)_T \frac{\text{кг}_\text{вологи}}{\text{кг}_\text{сх.речовини} \cdot ^\circ B}. \quad (12)$$

У зв'язку з тим, що залежно від умов контакту об'єкта сушіння з навколишнім середовищем (агентом сушіння) масовість може бути ізотермічною, ізохорно-ізотермічною і т.п., а також, що для деревини залежність $\Theta=f(U)_{\Theta}$ є нелінійною, то величина C'_m буде змінюватись одночасно зі зміною вологи вмісту тіла. У зв'язку з чим й вводиться параметр істинної питомої ізотермічної масовості C'_m .

Істинна (локальна) питома ізотермічна вологості визначається графічним диференціюванням кривих вигляду $U=f(\Theta)$. Але враховуючи те, що на сьогодні поки що в технічній спеціальній літературі із сушіння відсутня шкала перенесення вологи, тобто не встановлена залежність $U=f(\Theta)$, то визначення C'_{Θ} є неможливим.

В межах гігроскопічного вологи вмісту можна записати:

$$C'_{\mu} = \left(\frac{\partial U}{\partial \mu} \right)_T, \quad (13)$$

тобто C'_{μ} може бути знайдена шляхом графічного диференціювання залежності $U_p=f(\mu)$ [4,5]. Г.С. Шубін [4,5] на основі рівнянь рівноважної вологості І.В. Кречетова [6] із рівнянь (4) і (5) отримав вирази для визначення C'_{μ} , тобто:

- коли $\varphi=0 \dots 0,50$, то:

$$C'_{\mu} = \left(\frac{\partial U}{\partial \mu} \right)_T = \frac{U_P - 0,0036[13,9 - (0,01T)^2]}{R_n T}, \quad (14)$$

- коли $\varphi=0,50 \dots 1,00$, то:

$$C'_{\mu} = \frac{U_P}{R_n T} \left[\frac{236 U_P}{21,7 - (0,01T)^2} \right]. \quad (15)$$

Аналіз формул (14) і (15) показує, що істинна ізотермічна вологосмність дуже мало залежить від температури (вплив температури буде проявлятися при відносно великих значеннях вологовмісту U_p). Таким чином, основний вплив на C'_μ має U_p .

Термоградієнтний коефіцієнт δ_t , як термодинамічний параметр, представляє собою відношення перепаду вологовмісту ΔU до перепаду температури Δt в стаціонарному стані за відсутності вологоперенесення, тобто:

$$\delta_t = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T} \right)_U = \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_U. \quad (16)$$

Коефіцієнт δ_t показує, який перепад вологовмісту (вологості) створюється в деревині при перепаді температур в 1 °С.

Використавши питому ізотермічну вологосмність, величину термоградієнтного коефіцієнта можна представити рівнянням:

$$\delta_t = C'_\mu \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_U, \quad (17)$$

де $\left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_U$ – температурний коефіцієнт хімічного перенесення води (маси).

Таким чином, графічним диференціюванням залежності $\mu=f(U, T)$ можна отримати значення термоградієнтного коефіцієнта. Такі теоретичні розрахунки були зроблені Г.С. Шубіним на основі рівнянь І.В. Кречетова, в результаті чого була побудована діаграма $\delta_t=f(t, W)$.

Слід відзначити, що в області вологостану деревини, коли її вологовміст вищий за вологовміст гігроскопічності ($U > U_{г.г}$), то хімічний потенціал є величиною постійною; в цьому випадку тиск водяної пари над меніском макрокапіляра ($r_k > 10^5$ см) не залежить від його радіусу ($dp=0$). В цій області хімічний потенціал не може бути потенціалом перенесення води Θ для будь-якого вологовмісту матеріалу (об'єкта сушіння). Але для того, щоб скористатися наведеними вище нами формулами, необхідно мати експериментальну шкалу потенціалу вологоперенесення Θ . Слід наголосити, що на відміну від експериментальної термодинаміки, де потенціал перенесення тепла (температура) вимірюється безпосередньо, то в процесі сушіння вологих матеріалів безпосередньо вимірюється вологовміст (вологість) матеріалу. У зв'язку з чим потрібно прийняти постулат, який логічно випливає із зробленого нами вище термодинамічного аналізу: два вологих тіла, що знаходяться у вологісній рівновазі з третім вологим тілом, перебувають також у вологісній рівновазі й одне з одним. Це означає, що умова взаємної вологісної рівноваги полягає саме в рівності деякої однозначної функції стану води в цих тілах. Тому такою функцією може бути тільки потенціал масоперенесення Θ .

Із визначення потенціалу масоперенесення (вологоперенесення) випливає, що як вимірник потенціалу вологоперенесення можна вибрати вологе тіло. Крім того, існує також свобода й у виборі числових значень Θ , тобто його цифрової шкали. Тоді виміряний таким чином потенціал волого перене-

сення буде експериментальним потенціалом і на відміну від теоретичного останній визначається тільки за допомогою термодинамічних функцій.

Потенціал вологоперенесення можна виміряти шляхом визначення рівноважної вологості певного матеріалу. Проте, щоб виключити вплив виду матеріалу на результати дослідження, самі вимірювання потрібно порівнювати з еталоном (на сьогодні в більшості випадків за еталон приймають фільтрувальний папір, за допомогою якого зручно виміряти величину Θ будь-якого вологого тіла), з яким вологий матеріал знаходиться в стані термодинамічної рівноваги. Необхідною умовою термодинамічної рівноваги є не тільки постійність температур, але й постійність відносної вологості навколишнього середовища. Слід відзначити, що фільтрувальний папір (целюлоза) має велику гігроскопічність, добре намокає і має всі основні форми і види зв'язку вологи з матеріалами [2, 3].

Потенціал вологоперенесення Θ вимірюють в умовних масообмінних градусах ($^{\circ}B$). Очевидно, що абсолютно сухому фільтрувальному паперові відповідає $0^{\circ}B$, а максимально гігроскопічній вологості при еталонній температурі $20^{\circ}C$ - $100^{\circ}B$. Таким чином, один масообмінний градус ($1^{\circ}B$) відповідає $1/100$ максимально гігроскопічного вмісту, тобто:

$$(C'_{m,e})_T = 0,010U_G. \quad (18)$$

Інакше кажучи, вологовмісту еталону U_e відповідає потенціал в $100^{\circ}B$ масообмінних градусів.

Потенціал вологоперенесення визначають за вологовмістом еталону U_e , для якого питому вологоємність $C'_{m,e}$ приймають за величину постійну і рівну $0,010U_e$, тобто:

$$\Theta = \frac{U_e}{(C'_{m,e})_T} = \left(\frac{U_e}{U_G} \right)_T \cdot 100. \quad (19)$$

Наприклад, для фільтрувального паперу (при $t = 25^{\circ}C$) $U_e = 0,277$ кг/кг. Нехай в результаті досліджень було встановлено, що вологовміст фільтрувального паперу становить $U_e = 0,50$ кг/кг. Тоді, згідно з рівнянням (19) отримаємо, що:

$$\Theta = \frac{0,50}{0,277} \cdot 100 = 180^{\circ}B.$$

Якщо дослідне тіло в процесі експерименту набуло певного вологовмісту, наприклад $U_e = 0,30$ кг/кг, то цьому вологовмісту також відповідатиме потенціал перенесення вологи (маси) в $\Theta = 180^{\circ}C$.

Таким чином, потенціал вологоперенесення, як універсальний фізичний параметр вологих тіл, має велике теоретичне і практичне значення для подальшого розвитку теорії термомасоперенесення. Адже вологопотенціал є аналогом температури і, якщо температура є потенціалом перенесення тепла, то вологопотенціал – потенціалом масоперенесення.

Література

1. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. – М.: Машиностроение, 1975. – 265 с.
2. Никитина А.М. Таблицы равновесного идеального влагосодержания и энергии связи влаги с материалами. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 176 с.
3. Никитина А.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. – М.: Энергия, 1968. – 560 с.
4. Шубин Г.С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 248 с.
5. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
6. Кречетов И.В. Сушка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 440 с.
7. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 461 с.

УДК 674.053:621.935.002.54

Ст. викл. І.Т. Ребезнюк, канд. техн. наук –
УкрДЛТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЗУБІВ ПИЛОК ПРИ ПИЛЯННІ НА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СТРІЧКОПИЛКОВИХ ВЕРСТАТАХ З ПОВОРОТНИМ СУПОРТОМ

Установлено, що при пилянні на горизонтальних стрічкопилкових верстатах величина кута швидкості різання змінюється на 30 % з повертанням супорта на 45° в обидва боки від положення $\mu=90^\circ$, а кінематичні кутові параметри зубів стрічкової пилки змінюються на незначну величину (0,14 %...1,4 %), що дозволяє не коригувати величини кутів зубів пилки при повертанні супорта в межах $45^\circ \leq \mu \leq 135^\circ$.

Sen. lecturer I.T. Rebeznjuk – USUFWT

Research angular parameters of cogs saws at sawing on horizontal band headrig sawing machine tools with a rotary slide

Is established, that at sawing on horizontal band headrig sawing machine tools the magnitude of a corner of speed of cutting varies on 30 % at turn of a slide on 45° in both sides from a position $\mu=90^\circ$, and the kinematical angular parameters cogs of a tape saw vary on insignificant magnitude (0,14 %... 1,4 %), that allows to not adjust angular parameters cogs at turn slide in the boundaries $45^\circ \leq \mu \leq 135^\circ$.

Відомо, що при різанні деревини стрічковими пилками головні кути зубів пилки, такі як передній γ , задній α , кут загострення β та кут різання δ , суттєво впливають на процес стружкоутворення та енергосилові показники [1].

В процесі різання відбувається трансформація головних кутів зубів інструмента внаслідок впливу кута швидкості різання η , який утворюється між напрямками швидкостей результуючого V_e та головного рухів різання V (рис. 1).

Для кінематичних кутових параметрів зуба стрічкової пилки (див. рис. 1) можна записати:

$$\alpha_k = \alpha - \eta; \quad \gamma_k = \gamma + \eta; \quad \delta_k = \delta - \eta; \quad \beta_k = \beta. \quad (1)$$

Відомо [2], що на кут швидкості різання безпосередньо впливає кут подачі, за залежністю: