

тектичної, хоча трапляються ділянки як заевтектичної, так і доевтектичної структури. Продукти розпаду аустеніту в більшості випадків – це перліто-бейніто-мартенситна суміш. Варто зазначити, що відбіл тут не має чітких обрисів, що пов'язано з особливістю розплавлення чавуну при його наплавленні. Мікроструктура основного металу, зокрема кількість, форма і розміри включень графіту, певним чином впливають на конфігурацію ділянок відбілювання та їхню структуру. Цей вплив помітніший при низьких погонних енергіях, коли ступінь розчинення графіту у розплаві істотно залежить від розмірів і форми його включень. Ділянки "віблювання" переважно розміщуються навколо частково розчинених включень графіту[5]. У випадку грубих включень графіту у зоні сплавлення часто виникають гарячі тріщини, особливо коли розмір ділянки "відбілу" перевищує 500...6000 мкм.

Проведені дослідження показали, що на розмір колошовної зони, основною частиною якої є зона сплавлення з ділянкою відбілу та високотемпературна ділянка зони термічного впливу, де, як правило, присутні тверді структури гартування, зокрема мартенсит, найбільш істотно впливає величина погонної енергії. За мінімальних її значень розмір цієї зони при наплавленні одиночних валиків не перевищує 70... 100 мкм, тоді як при погонних енергіях, вищих за 1400 КДж/м, ця небезпечна з точки зору утворення технологічних тріщин зона перевищує 1000 мкм. Збільшення величини електродного вильоту також впливає на зменшення розмірів колошовної зони. Такий вплив стає помітним вже при електродних вильотах, більших за 40 мм. При наплавленні шарів з достатнім перекриттям валиків (не меншим за 1/2) має місце істотне зменшення розмірів ділянки "відбілу", а в окремих місцях вона стає незначною – меншою за 10 мкм.

Висновки. Виконані дослідження показали, що при дуговому наплавленні сірих чавунів сталним низьковуглецевим дротом без підігрівання у газовому захисному середовищі 70 % CO₂ + 30 % O₂ у зоні сплавлення завжди утворюється ділянка "відбілу". Впливати на розмір і властивості колошовної зони і, зокрема найбільш небезпечної її частини – ділянки "віблювання" в зоні сплавлення, можна різними способами – вибором чавуну відповідного складу з урахуванням кількості, форми і розмірів графітових включень, режимом наплавлення. Обмежувати розміри її можна зменшенням погонної енергії та збільшенням електродного вильоту. При наплавленні шарів кращі результати отримуються при перекритті окремих валиків не меншому за 1/2. Чавуни із меншими кількістю та розмірами графітових включень, при рівних інших умовах, мають кращу зварність.

Література

1. Грецкий Ю.Я. Влияние состава сварочной ванны на условия кристаллизации металла у границы сплавления при дуговой сварке чугуна / Ю.Я. Грецкий // Автоматическая сварка. – 1980. – № 12. – С. 18-23.
2. Грабин В.Ф. Металлография сварных соединений чугуна / В.Ф. Грабин, Ю.Я. Грецкий, Г.М. Крошина, В.А. Метлицкий. – К.: Вид-во "Наук. думка", 1987. – 192 с.
3. Палаш В.М. Металознавчі аспекти зварності залізвуглецевих сплавів: навч. посібн. – Львів: Вид-во КІНПАТРИ, ЛТД, 2003. – 236 с.
4. Елистратов П.С. Сварка чугуна сталью / П.С. Елистратов, А.П. Елистратов. – Минск: Изд-во "Наука и техника", 1984. – 208 с.

5. Палаш В.М. Дослідження впливу режиму електродугового зварювання на будову зони сплавлення сірих чавунів / В.М. Палаш, А.Р. Дзюбик, Т.Р. Ступницький // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 613. – С. 178-182.

Палаш В.Н., Дзюбик А.Р., Палаш Р.В. Исследование свариваемости чугунов при их дуговой наплавке сталью в газовой смеси CO₂ + O₂

Рассмотрены возможности повышения технологической прочности чугунных элементов, наплавленных стальной проволокой в защитной газовой среде кислорода и углекислого газа без использования дополнительного подогрева. Исследованы возможные варианты влияния на свойства, размеры и химический состав участка "выбеливания" зоны термического влияния. Рассмотрен эффект от изменения диаметра электродной проволоки, количества и формы графитовых включений и пр. Подбор способа наплавки, размера отдельных валиков и их перекрытия, моделирование содержания основного металла в швах и регулирование погонной энергии помогли развить пути снижения содержания углерода в наплавленном шаре.

Ключевые слова: чугуны, сварка, стальная проволока, участок выбеливания, параметры режима сварки, газовая смесь.

Palash V.N., Dzyubik A.R., Palash R.V. The Weldability Research of Cast Irons during Their Arc Welding with Steel in the Gas Mixture CO₂ + O₂

The possibilities of increasing technological strength cast iron elements, by deposition with low carbon steel wire in protective gas mixture of oxygen and carbon dioxide without the use of additional heating is considered. The possible variants of impact on the properties, size and chemical composition of the 'whitening' area in the heat affected zone are investigated. The effect of changing the electrode wire diameter, the amount and form of graphite inclusions and others are examined. Selection of surfacing method, size of individual platens and their overlap degree, modeling base metal proportion in joints and regulation of energy per unit length allowed developing approaches to reduce the carbon content in the deposited layer.

Keywords: cast iron, welding, steel wire, whitening section, the parameters of welding, gas mixture.

УДК 629.114.3

Доц. Р.В. Зінько, канд. техн. наук; доц. О.Р. Серкіз, канд. техн. наук; студ. А.Ю. Варфоломій – НУ "Львівська політехніка"

РОЗРАХУНОК УСАДКИ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ ПРИ КАЛАНДРУВАННІ

Під час каландрування полімерної плівки характер умов перебігу процесу, швидкість і глибина його перебігу можуть значно змінюватися. Отримані формули розподілу швидкостей руху матеріалу і тиску в міжвалковому зазорі каландра, а також питомої сили тертя на поверхні валка. Розрахункові формули дали змогу побудувати графічні залежності взаємозв'язку розподілу швидкостей руху матеріалу, тиску в міжвалковому зазорі каландра, питомої сили тертя на поверхні валка від різних конструктивних параметрів каландра. Ці залежності мають нелінійний характер, що важливо враховувати при розрахунку елементів каландра.

Ключові слова: каландр, конструктивні параметри.

Вступ. На цей час процес виробництва полімерних плівок на каландро-вих лініях – це багатоасортиментне гнучке виробництво, що стрімко розвивається. З появою нових рецептур каландровані плівки отримують застосування в нових галузях, таких як харчова, медична, легка промисловості. У зв'язку з цим вимоги до якості полімерної плівки стають більш жорсткішими. Тому на

цей момент важливим стає завдання створення на каландровому виробництві такої системи управління якістю продукції, яка відповідатиме дедалі зростаючим сучасним вимогам.

Аналіз стану проблеми. Достатньо широке коло завдань: нагрівання і охолодження, структурні і фазові зміни в матеріалах, процеси орієнтації та релаксації, формування і надання певної форми, і, нарешті, виникнення різного роду напруги, що приводить до усадкових явищ і спотворення форми готового виробу розглянуто в роботах [1-6].

Аналіз комплексу фізико-хімічних процесів дає змогу отримати вироби не тільки певної форми, але і відповідних характеристик [3-5]. Для отримання таких характеристик важливими є процеси власне деформації (формозміни) у широкому діапазоні температур [6], виникнення різного роду напруги і пов'язаних з ними усадкових явищ [7].

Проте при процесі каландрування характер умов перебігу, їх швидкість і глибина перебігу можуть значно змінюватися. Тому є потреба їх поглибленого розгляду та аналізу під час проектування нового устаткування. Аналізуючи типи полімерних плівок, можна зробити висновок щодо низької ефективності тонких полімерних плівок, оскільки постає проблема міцності плівок. Одним з можливих шляхів вирішення проблеми є виведення рівнянь розрахунку тиску в міжвалковому зазорі каландра для створення максимально можливої мінімальної товщини полімерної плівки [8].

Мета роботи. При створенні нових конструкцій каландрів необхідно знати характеристики перебігу процесів у міжвалковому зазорі валків каландра, зокрема тиску і формування товщини тонкої полімерної плівки.

Основний матеріал. При створенні нових видів плівок доцільно користуватися комп'ютерними розрахунками, що дає змогу ощадливо використовувати власні ресурси і час. Разом з тим, для проведення комп'ютерних експериментів потрібні математичні моделі роботи каландра, необхідного та достатнього рівня якості, на якому проводимуться розрахунки. Широке застосування знаходить каландрування, наприклад, для отримання лінолеуму з високонаповнених композицій на основі полівінілхлориду.

Для аналізу процесу течії полімеру в зазорі між валками приймемо такі припущення [7, 9]:

- 1) перероблюваний матеріал не стискуємо;
- 2) розміри і колові швидкості валків однакові (коефіцієнт фрикції дорівнює 1);
- 3) величина зазору значно менша від радіуса валків;
- 4) тепловиділенням у процесі каландрування нехтуємо.

Схему процесу каландрування представлено на рис. 1.

Розплав полімеру, що знаходиться біля входу в зазор, прилипає до обертаючих поверхні валків і захоплюється ними в зазор. Поперечний перетин міжвалкового зазору (по координаті x) змінно і може бути описано такою залежністю [9, 10]:

$$h(x) = h_0 + R - R\sqrt{1 - (x/R)^2} \quad (1)$$

де: R – радіус валка, м; h_0 – міжвалковий зазор, м; x – поточне значення поперечної координати.

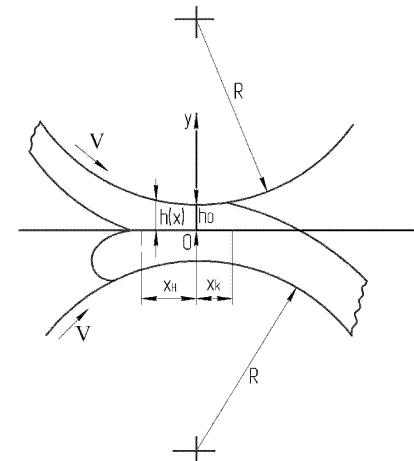


Рис. 1. Схема процесу каландрування

Для дослідження розподілу швидкостей і тиску в зазорі скористаємося диференціальним рівнянням руху в'язкої нестисливої рідини [10]:

$$\frac{dP}{dx} = \eta \frac{d^2\theta}{dy^2}, \quad (2)$$

де: P – тиск у матеріалі, МПа; θ – швидкість руху матеріалу в шарах, м/с; η – ефективна в'язкість розплаву, Пас; x, y – координати.

З умови прилипання матеріалу до поверхні валків швидкість руху матеріалу в шарі, який прилягає до поверхні валка, дорівнює швидкості руху поверхні валків V (м/с). На підставі цього граничні умови по координаті у будуть мати такий вигляд:

$$\vartheta_{y=\pm h} = V \quad (3)$$

Тиск у матеріалі біля входу в зазор (координата x_n) і на виході з зазору (координата x_k) дорівнює атмосферному, тобто граничні умови по координаті x будуть мати вигляд:

$$P|_{x=x_n} = 0 \text{ і } P|_{x=x_k} = 0 \quad (4)$$

Симетричність процесу по координаті y враховує умова:

$$d\vartheta / dy|_{y=0} = 0 \quad (5)$$

Запишемо рівняння (2) у вигляді:

$$\frac{d^2\theta}{dy^2} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx}, \quad (6)$$

і проінтегруємо його по y :

$$\frac{d\theta}{dy} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} y + C_1. \quad (7)$$

Постійну інтегрування C_1 знайдемо, скориставшись умовою симетричності (5), з якого випливає, що $C_1 = 0$.

Подальше інтегрування призводить рівняння (7) до такого вигляду:

$$\vartheta = \frac{y^2}{2\eta} \frac{dP}{dx} y + C_2. \quad (8)$$

Беручи до уваги граничні умови (3), знайдемо постійну інтегрування 2:

$$C_2 = V - \frac{h^2}{2\eta} \frac{dP}{dx}. \quad (9)$$

Підставляючи вираз (9) в рівняння (8), остаточно отримаємо рівняння, що описує розподіл швидкості потоку розплаву матеріалу в поперечному перерізі зазору:

$$\vartheta = V - \frac{y^2 - h^2}{2\eta} \frac{dP}{dx} \quad (10)$$

Рівняння (10) дає змогу знайти зміну градієнта тиску dP / dx і тиск P у міжвалковому зазорі. Для рішення рівняння (10) введемо безрозмірну координату ξ :

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{2Rh_0}} \quad (11)$$

Враховуючи, що товщина зазору мала, розкладемо в рівнянні (1) квадратний корінь у степеневий ряд і обмежимося двома його членами:

$$h \approx h_0 + 0,5 \frac{x^2}{R}. \quad (12)$$

Перейшовши до безрозмірною координаті ξ , використовуючи вираз (11), ($\xi^2 = \frac{x^2}{2Rh_0}$; $x^2 = \xi^2 2Rh_0$) і підставивши її в рівняння (12), отримаємо, що геометрія каналу описується залежністю

$$h = h_0 + 0,5 \frac{\xi^2 2Rh_0}{R} = h_0(1 + \xi^2). \quad (13)$$

Потік матеріалу q , що проходить через одиницю ширини зазору, може бути знайдений з рівняння:

$$q = \int_{-h}^{+h} \vartheta dy. \quad (14)$$

Підставимо (10) в (14) і з урахуванням (13), отримаємо:

$$q = \int_{-h}^{+h} \left(V - \frac{y^2 - h_0(1 + \xi^2)^2}{2\eta\sqrt{2Rh_0}} \frac{dP}{d\xi} \right) dy \quad (15)$$

Інтегруючи вираз (15) отримаємо

$$\frac{dP}{d\xi} = \sqrt{\frac{2R}{h_0}} \cdot \frac{3\eta V}{h_0} \cdot \frac{(1 + \xi^2 - q / (2Vh_0))}{(1 + \xi^2)^3} \quad (16)$$

Умова екстремуму тиску ($dP/d\xi = 0$) буде виконуватися при двох значеннях координат ξ , які знайдемо з рішення рівняння:

$$\sqrt{\frac{2R}{h_0}} \cdot \frac{3\eta V}{h_0} \cdot \frac{(1 + \xi^2 - q / (2Vh_0))}{(1 + \xi^2)^3} = 0 \quad (17)$$

з якого випливає, що виконання умови (17) можливе при

$$(1 + \xi^2 - q / (2Vh_0)) = 0$$

Звідси отримаємо, що

$$\xi_{\max} = \xi_1 = -\sqrt{\frac{q}{2Vh_0}} - 1; \quad \xi_K = \xi_2 = +\sqrt{\frac{q}{2Vh_0}} - 1. \quad (18)$$

При цьому координата ξ_{\max} відповідає максимальному тиску $P = P_{\max}$, а ξ_K збігається з точкою, де матеріал відривається від одного з валків.

Інтегруючи рівняння (16) з урахуванням (4) і (18), отримаємо залежність розподілу тиску в міжвалковому зазорі каландра:

$$P(\xi) = \frac{3\eta V}{4h_0} [g(\xi_K, \xi) + C(\xi_K)], \quad g(\xi_K, \xi) = \frac{\xi(\xi^2 - 5\xi_K^2 - 3\xi_K^2\xi^2 - 1)}{(1 + \xi^2)^2} + (1 - 3\xi_K^2) \arctg \xi; \quad (19)$$

$$C(\xi_K) = \frac{1 + 3\xi_K^2}{1 + \xi_K^2} \xi_K - (1 - 3\xi_K^2) \arctg \xi_K.$$

Розподіл питомої сили тертя на поверхні валка:

$$\tau_{i,j} = \eta \left(\frac{V}{h_{0i}} \right)^n \left(\frac{1 + 2n}{n} \right)^n \left[\frac{(\xi_j)^2 - \xi_1^2}{[(\xi_j)^2 + 1]^{2n}} \right]. \quad (20)$$

Розподіл швидкостей руху матеріалу (2) і тиску (1) в міжвалковому зазорі каландра наведено на рис. 3. На епюрі швидкостей потоку матеріалу в зазорі (рис. 2) Видно появу відповідно до рівняння (10) зони закінчення, спрямованої убік, протилежний напрямку обертання валків. При цьому виникає зона циркуляції або, як її називають, зона обертового запасу (рис. 3).

Незважаючи на те, що лінії потоку в зоні циркуляції замкнуті, матеріал у ній постійно оновлюється. Циркуляція дає змогу гомогенізувати матеріал і забезпечити його рівномірний прогрів.

Наявність зони обертового запасу забезпечує збільшення ширини полотна при проходженні його через зазор. На підставі виведених вище рівнянь можливий розрахунок енергетичних характеристик каландра, визначення розпірних зусиль і є важливою інформацією для проектування обладнання.

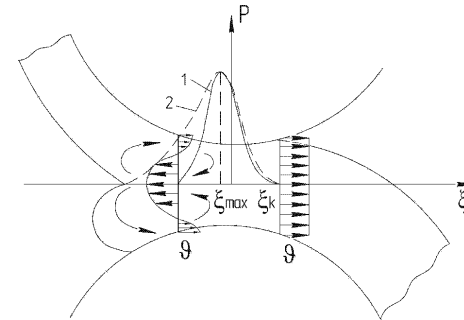


Рис. 2. Розподіл швидкостей руху матеріалу (2) і тиску (1) у міжвалковому зазорі каландра

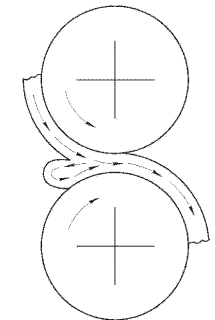


Рис. 3. Утворення зони обертового запасу

Розрахункові формули (19) і (20) дозволили побудувати графічні залежності різних конструктивних параметрів каландра (рис. 4-7). З побудованих графіків видно, що ці залежності мають нелінійний характер, що важливо враховувати при розрахунку елементів каландра.

Висновки. Отримані розрахункові формули дозволили побудувати графічні залежності різних конструктивних параметрів каландра. Це дасть змогу їх використовувати при конструюванні нових машин і вдосконаленні вже наявних.

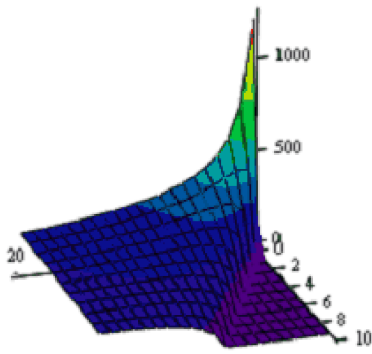


Рис. 4. Залежність розподілу тиску в міжвалковому зазорі каландра від величини робочого зазору h і товщини шару полімеру в сеченні завантаження h_1

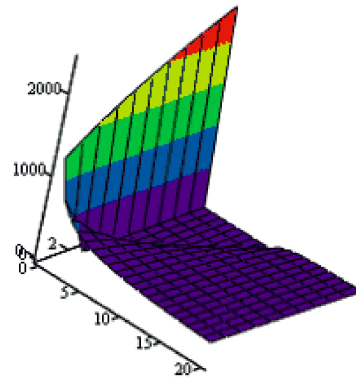


Рис. 5. Залежність розподілу тиску в міжвалковому зазорі каландра від величини робочого зазору h і радіусів валків R

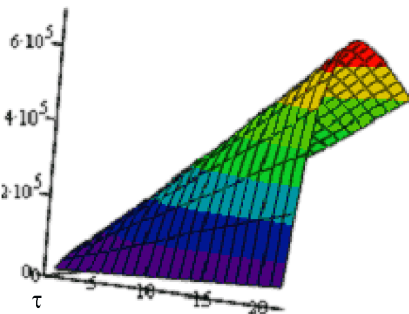


Рис. 6. Залежність розподілу питомої сили тертя на поверхні валка від величини робочого зазору h і безрозмірної координати ξ

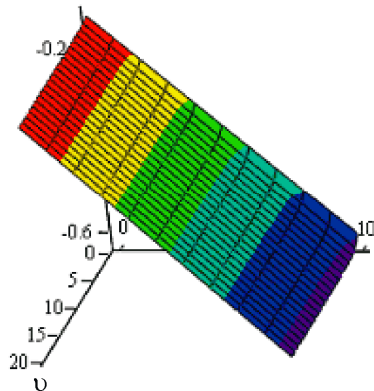


Рис. 7. Залежність розподілу швидкості потоку розплаву матеріалу в поперечному перерізі зазору від швидкості руху поверхні валків V і товщини шару полімеру в сеченні завантаження h_1

Література

1. Кербер М.Л. Физические и химические процессы при переработке полимеров / М.Л. Кербер, А.М. Буканов, С.И. Вольфсон и др. – М. : Изд-во "Научные основы и технологии", 2013. – 320 с.
2. Чанг Дей Хан. Реология в процессах переработки полимеров / Д.Х. Чанг. – Л. : Изд-во "Химия":1979. – 368 с.
3. Мэллой Р. Конструирование полимерных изделий для литья под давлением / Р. Мэллой. – М. : Изд-во "Профессия", 2006. – 450 с.
4. Торнер Р.В. Основные процессы переработки полимеров / Р.В. Торнер. – Л. : Изд-во "Химия", 1972. – 456 с.
5. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. – Л. : Изд-во "Химия", 1977. – 386 с.

6. Колерт К. Интенсификация процессов каландрования полимеров / К. Колерт, А.М. Воскресенский, В.Н. Красовский. – Л. : Изд-во "Химия", 1991. – 224 с.

7. Чистякова Т.Б. Математическое моделирование процессов усадки / растяжения полимерной пленки для управления каландровой линии / Т.Б. Чистякова, А.Б. Авербух, К. Колерт // Химическая промышленность. – 2006. – № 10. – С. 488-507.

8. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов. – М. : Изд-во "Профессия", 2004. – 464 с.

9. Барабанов Н.Н. Математическое моделирование процессов химической технологии : учебн. пособ. / Н.Н. Барабанов, Ю.В. Шариков. – Владимир : Изд-во ВПИ, 1987. – 95 с.

10. Клинков А.С. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов и др. – М. : Изд-во "Машиностроение", 2005. – 320 с.

Зинько Р.В., Серкиз О.Р., Варфоломий А.Ю. Расчет усадки полимерной пленки при каландровании

При каландровании полимерной пленки характер условий протекания процесса, скорость и глубина его протекания могут значительно изменяться. Получены формулы распределения скоростей движения материала и давления в междувалковом зазоре каландра, а также удельной силы трения на поверхности валка. Расчетные формулы позволили построить графические зависимости взаимосвязи распределения скоростей движения материала, давления в междувалковом зазоре каландра, удельной силы трения на поверхности валка от разных конструктивных параметров каландра. Эти зависимости имеют нелинейный характер, что важно учитывать при расчете элементов каландра.

Ключевые слова: каландр, конструктивные параметры.

Zin'ko R.V., Serkiz O.R., Varfolomiy A.Yu. The Calculation of Polymeric Tape Contraction at Mangling

At mangling of polymeric tape the character of terms of process flowing, speed and depth of its flowing can considerably change. The formulas of distributing of movement rate of material and pressure are got in the between rollers gap of mangling, and also specific force of friction on-the-spot of roller. Calculation formulas allowed to build graphic dependences of the interconnection distributing rates of material movement, pressure in the inner rollers gap of a colander, specific force of friction on-the-spot of roller from the different structural parameters of the colander. These dependences have nonlinear character that is important for consideration at the calculation of colander elements.

Keywords: colander, structural parameters, polymeric tape, mangling.

УДК 674.047

Доц. Я.Ф. Кулешник, канд. техн. наук – Львівський ДУВС;
проф. В.Й. Лабай, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка",

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГООБМІННИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Описано методику визначення вологообмінних коефіцієнтів, що визначають характеристики процесу сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів (на прикладі пилوماتеріалів) за результатами експериментальних дослідів, які представлені у вигляді кривих сушіння та кривих швидкості сушіння. Отримані значення швидкості сушіння, коефіцієнтів сушіння, вологопровідності і вологовіддачі можна використати для інженерних розрахунків тривалості сушіння та визначення масообмінних критеріїв, що описують фізичні явища процесів сушіння деревини.

Ключові слова: деревина, вологість, капілярно-пористі колоїдні матеріали, вологопровідність, вологовіддача, коефіцієнт сушіння, рівноважна вологість, швидкість сушіння.

Вступ. Проблема сушіння вологих капілярно-пористих колоїдних матеріалів включає питання щодо перенесення тепла і маси (вологи) як у середині