

Корозійна стійкість покриттів істотно зростає із збільшенням їх товщини за рахунок зменшення кількості наскрізних пор. Однак таке збільшення для деяких композицій (типу TiC і TiN) обмежують великі залишкові напруження, що викликають інтенсивне розширення осередків корозії або відшарування ділянок покриттів під дією активного середовища.

Добрими захисними властивостями володіють двошарові покриття Ti-TiN і Ti-N-Ni-TiN, що забезпечують високий захисний ефект практично у всіх досліджених середовищах. Ці покриття мають широку область пасивності, високу механічну міцність і поряд з цим не обмежуються товщиною, оскільки мають значно менші залишкові напруження на границі розділу покриття – основа.

Література

1. Гасій О.Б., Голубець В.М. Корозійна стійкість йонно-плазмових вакуумних покриттів в середовищі 5 %-го розчину сірчаної кислоти// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.1. – С. 292-298.
2. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 452 с.
3. Гасій О.Б., Голубець В.М. Стійкість до корозії йонно-плазмових вакуумних покриттів в умовах дії кислих і нейтрального середовищ// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2005, вип. 15.3. – С. 85-92.

УДК 674.047

*Проф. Я.І. Соколовський, д-р техн. наук;
аспір. І.Я. Сало – НЛТУ України*

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ ВИСУШУВАНОЇ ДЕРЕВИНИ З ВРАХУВАННЯМ МЕХАНІКО- СОРБЦІЙНОЇ ПОВЗУЧОСТІ

Розглянуто фізико-математичну модель визначення напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння з врахуванням реологічної поведінки матеріалу. Деформаційні процеси зумовлюються наявністю вологісного поля у деревині, а також швидкістю зміни вологості. Проведено чисельний експеримент розрахунку в'язкопружних напружень із врахуванням механіко-сорбційної повзучості, пов'язаної зі швидкістю зміни вологісного поля.

Prof. Ya.I. Sokolowsky; doctorate I. Ya. Salo – NUFWT of Ukraine

Determining of stressed-strained state in during wood has been derived in view mechano-sovptve creeping

We have considered physical-mathematical model of determining of stressed-strained state in drying wood process has been derived reological properties of material.

Актуальність досліджень. Процес сушіння деревини супроводжується наявністю залишкового напружено-деформівного стану матеріалу, зміною більшості фізико-механічних властивостей, які визначають якість готової продукції. Виникаючі напруження є основним стримуючим фактором для інтенсифікації процесу сушіння. Тому дослідження напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння з врахуванням особливостей реологічної поведінки матеріалу має важливе значення для раціонального ведення технологічного процесу.

Аналіз відомих результатів. Аналіз досліджень напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння вказує на наявність різних підходів щодо вирішення даної проблеми [1-5]. Зазначимо, що в [6, 7] на основі використання методу скінчених елементів встановлено закономірності розвитку двомірного напружено-деформівного стану деревини в умовах неізо-термічного тепломасоперенесення з врахуванням реологічної поведінки матеріалу, анізотропії фізико-механічних властивостей. Встановлено та кількісно описані закономірності впливу гігроскопічної вологи, її градієнта, форм зв'язку вологи з матеріалом, структурної анізотропії, геометричних розмірів та густини на розвиток в'язкопружних і залишкових напружень для періодів падаючої і сталої швидкостей сушіння деревини. У цій роботі вивчається вплив механіко-сорбційної повзучості на напружено-деформівний стан деревини у процесі сушіння.

Постановка задачі та фізико-математична модель. Закономірності механіко-сорбційної повзучості експериментальним шляхом вивчали різні автори [4, 5, 8]. Для аналітичного опису запропоновано залежність

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = E^{-1} \frac{\partial \sigma}{\partial \tau} + (\alpha + m\sigma) \frac{\partial W}{\partial \tau}, \quad (1)$$

де: ε , σ – відповідно деформації та напруження; E – модуль пружності; W – вологість деревини; α і m – механічні властивості деревини, остання з яких характеризує механіко-сорбційну повзучість.

Врахування такої складової у механізмі деформування деревини пов'язано з циклічною зміною вологості навантаженої деревини. Він відображає процес деформування деревини не лише від зміни (градієнту) вологості, але і від швидкості зміни вологості. Необхідно зазначити, що у дослідженнях [9,10] зроблена спроба обґрунтувати механіко-сорбційну повзучість деревини гігровтомю матеріалу. Аналіз наведених вище експериментальних досліджень показує, що у достатньому наближенні відношення механіко-сорбційної деформації ε_{mc} до пружної ε_n є пропорційним величині $EU(\tau)s$, де s визначається співвідношенням

$$S = \int_0^{\tau} m(W) \frac{\partial W}{\partial \tau} d\tau. \quad (1)$$

Окрім цього, величина ε_{mc} є найбільшою у деревині на початку зменшення гігроскопічної вологості і поступово зменшується протягом процесу сушіння. З іншого боку, всихання приповерхневих зон висушуваної деревини обумовлює збільшення механіко-сорбційних деформацій всередині матеріалу. Тобто, ε_{mc} визначаються одночасно взаємодією механічного навантаження і швидкості зміни вологості. А також, ε_{mc} , на відміну від інших складових деформацій, не є інваріантним для механічного навантаження деревини, зокрема для стискання і розтягу у тангентальному та радіальному напрямках деформування. Такі висліди вказують на складність механіко-сорбційної деформації висушуваної деревини та її впливу на загальний напружено-деформівний стан матеріалу.

Для визначення напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння приймемо, що загальна деформація $\varepsilon(x, \tau)$ складається з деформацій пружних $\varepsilon_n(x, t)$ і в'язкопружних $\varepsilon_{en}(x, t)$, деформацій, зумовлених всиханням $\varepsilon_{en}(x, \tau)$, а також $\varepsilon_{mc}(x, \tau)$.

Враховуючи [5, 8], а також складову механіко-сорбційної повзучості $\varepsilon_{mc}(x, \tau)$, фізико-математичну модель для визначення напружено-деформівного стану деревної пластини лінійного розміру h в умовах неізотермічного тепломасоперенесення можна подати у такому вигляді:

$$\sigma(x, t) = E\varepsilon(x, t) + E\beta U(x, t) + E \int_0^t \frac{dR(t-\tau)}{d\tau} \sigma(x, \tau) d\tau - \beta_m E \int_0^t \sigma(x, \tau) \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} K(t-\tau) d\tau, \quad (2)$$

де: E – модуль Юнга; β – коефіцієнт всихання; β_m , $K(t-\tau)$ – характеризують механіко-сорбційну повзучість деревини; $R(t-\tau)$ – описує реологічні властивості матеріалу.

Розглянемо процес сушіння пластини товщиною h , яка є вільною від зовнішніх навантажень. Площину yz декартової системи координат сумістимо із серединою поверхні деревини. Граничні умови масоперенесення вважатимемо незалежними від осей x , y . Тобто розподіл вологості буде залежати лише від поперечної координати. Тоді, з умови сумісності деформацій [11] залишається лише умова $\partial^2 \varepsilon / \partial x^2 = 0$. Враховуючи симетричність граничних умов, отримаємо, що $\varepsilon(x, t) = \varepsilon_0(t)$. Цю величину визначаємо з умови

$$\int_{-h/2}^{h/2} \sigma(x, t) dx = 0. \quad (3)$$

Через $V(x, t)$ позначено функцію зміни гігроскопічного вологовмісту $U(x, t) = X(U^* - W(x, t))(U^* - W(x, t))$. Оскільки, зміна жорсткості деревини починається з 25...30 %, то $U^* = 0,25$. Функція Хевісайда $X(x) = \{1, x \geq 0 \text{ і } 0, x < 0\}$.

Враховуючи результати експериментальних досліджень [3, 12], а також (1), функцію механіко-сорбційної повзучості запишемо у вигляді $K(t-\tau) = \exp E_{ms}(U(x, t) - U(x, \tau))$. Результат досліджень деформацій повзучості та оберненої повзучості [3, 12] деревини поперек волокон дала змогу побудувати необхідну для розрахунку напружено-деформівного стану функцію $R(t-\tau) = \psi_0 + \sum_{k=1}^N a_k \exp(-a_k \cdot (\tau - \tau'))$. Алгоритми для визначення параметрів ψ_0 , a_k , E_{ms} розроблено в [3] та обґрунтовано вибір їх кількості з умови мінімуму квадратичного відхилення експериментальних кривих $\varepsilon(x, U, \tau)$.

Для знаходження локального $U(x, t)$ і середнього $U(t)$ вологовмістів для періодів сталої і падаючої швидкості сушіння скористаємось результатами робіт [3, 12]. Згідно з ними, період сталої швидкості сушіння описується співвідношенням

$$U(x, t) - V(t) = Nu \frac{D_p h}{2a_m S_0 L} \left\{ \frac{1}{3} - \left[\frac{x}{h} \right]^2 \right\} \times \left\{ \exp \left[\left(\frac{-1785 \Delta t(t)}{(238 + t_c(t))^2} \right) \right] - \varphi(t) \right\}. \quad (4)$$

Для нерегулярного і регулярного режимів періоду падаючої швидкості сушіння отримаємо:

$$V(x,t) - U(t) = \left[(u_{nc} - u_p) - \frac{2}{Bi} (u_{yc} - u_{nc}) \right] \left\{ [x(Fo) - x(Fo - 0,1)] S(t, x, Bi) + A_1 x(Fo - 0,1) \times \right. \\ \times \cos \left[\mu_1 \frac{x}{h} \right] \exp(-\mu_1^2 Fo) \left. \right\} + \left\{ 2(u_{yc} - u_{nc}) \cos \left[\mu_1 \frac{x}{h} \right] - Bi [(u_{nc} - u_p) - Bi (u_{nc} - u_p) - 2 \left(\frac{1}{Bi} + \frac{1}{\mu_1^2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (u_{yc} - u_{nc}) \right] \frac{A_1}{\mu_1^2} \cos \mu_1 \right\} \exp(-\mu_1^2 Fo), \quad (5)$$

де

$$s(t, x, Bi) = 1 - 1,3\sqrt{Fo} \exp \left(-\frac{(1 - x/h)^2}{4Fo} \right) \times \left[\frac{1}{1,3\sqrt{Fo} + 1 - x/h} - \frac{1}{1,3\sqrt{Fo} + 1 - x/h + 2BiFo} \right],$$

де: ρ_0 – умовна густина деревини; a_m – коефіцієнт вологопровідності деревини; D_p – коефіцієнт вологопровідності деревини, віднесений до різниці тисків; u_{nc} , u_{yc} – вологовмісти на початку періоду нерегулярного режиму зміни вологості (на поверхні та у центральній площині дошки); u_p – рівноважний вологовміст; $P_{н.с.}$ – тиск насиченої пари; $\varphi(t)$, $t_c(t)$, $\Delta t(t)$ – параметри агента сушіння (відносна вологість, температура, психрометрична різниця температур); $Fo = a_m t / h^2$, $Bi = \alpha h / a_m$; $Nu = 0,6 [vL/\nu]^{0,653}$ – критерії Фур'є, Біо і Нусельта відповідно; v – швидкість руху агента сушіння; ν – коефіцієнт в'язкості агента сушіння; L – характерний лінійний розмір матеріалу; $x(Fo)$ – функція Хевісайда. Коефіцієнти μ_1 , A_1 визначаються наведеними в роботі [13] рівняннями

$$\operatorname{ctg} \mu_1 = \mu_1; A_1 = 2 \sin \mu_1 / \mu_1 (+2 \sin \mu_1 \cos \mu_1); 0 < \mu_1 < \pi/2.$$

Формула (5) виконується для випадку, коли $Bi > 10$.

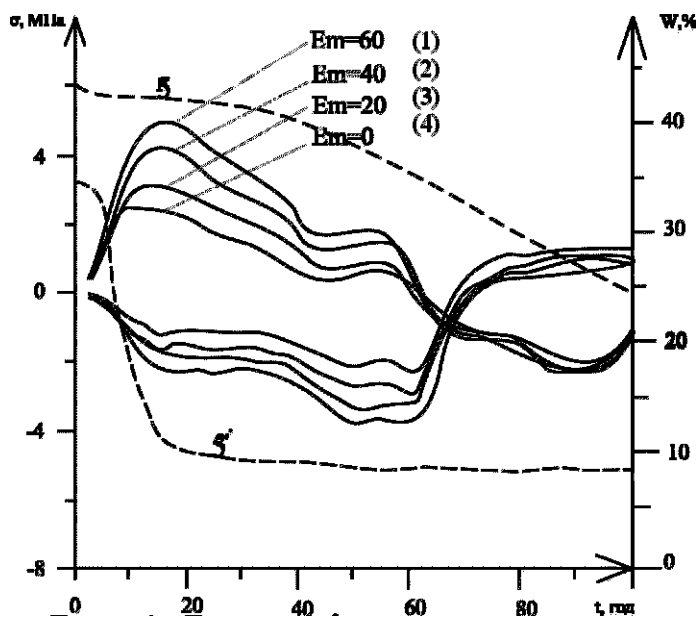


Рис. 1. Розподіл напружень у деревній пластині для різних значень параметра E_m

Чисельна реалізація моделі та результати досліджень. На основі викладеної вище методики розрахунку напружено-деформівного стану деревини з урахуванням механіко-сорбційної повзучості в умовах тепломасообміну позначено $\sigma(x, t)$ у пиломатеріалах із сосни ($E = 280$ МПа; $E_m = 167$ МПа;

$\beta = 0,0023$; $\rho_0 = 480 \text{ кг/м}^3$; $t_0 = 20^\circ\text{C}$; $W = 25 \%$) різної товщини, в умовах сталого технологічного режиму ($t_c = 88^\circ\text{C}$; $\Delta t = 14^\circ\text{C}$; $\varphi = 55 \%$; швидкість руху агента сушіння $V = 2 \text{ м/с}$). Величина β_m приймалася рівною $0,20 \text{ МПа}^{-1}$ [4].

На рис. 1 зображено розподіл нормальних напружень у середині та на поверхні деревної пластини товщиною h залежно від різних значень параметра E_m . Криві 1-4 на графічних залежностях відповідають відповідно значенням $E_m = 0$; 20; 40; 60. На рисунку компоненти напружень відповідають різним розподілам вологовмісту у деревині, а саме криві 1-4 – пластини для вологісного поля (5) на поверхні. Нижні графічні залежності характеризують розподіл нормальних напружень для аналогічних значень E_m у випадку розподілу вологості (5') у середній пластині.

Література

1. Уголев Б.И., Лапшин Ю.Г., Крошнов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. – М: Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
2. Соколовський Я.І. Взаємозв'язок деформаційно-релаксаційних і тепломасообмінних процесів у капілярно-пористих тілах// Доповіді НАН України. – 1989, № 9. – С. 35-40.
3. Соколовський Я.І. Деформативність деревини й деревинностружкових плит зі змінними потенціалами тепломасоперенесення: Автореф. дис. д-р техн. наук. – Львів. – 2001, 34 с.
4. Ranta-Maunus A., Kortesmaa M. An analysis of the state of stress of timber caused by moisture gradient// JUFRO Timber Engineering Meeting, 1988, P. 113-116.
5. Salon J.-G. Numerical prediction of checking during timber drying and a new mechano-sorptive creep model// Holz als Roh-und-Werkstoff, 1992, vol. 50, P. 195-200.
6. Соколовський Я.І., Дендюк М.В., Поберейко Б.П. Моделювання деформаційно-релаксаційних процесів у деревині під час сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.1. – С. 134-140.
7. Соколовський Я.І., Бакалець А.В. Розрахунок анізотропних нестационарних температурно-вологісних полів у висушуваній деревині методом скінченного елемента// Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 29. – С. 230-235.
8. Ranta-Maunus A. Impact of mechano-sorptive creep to the long-term strength of timber// Holz als Roh-und-Werkstoff, vol. 48, P. 67-71.
9. Общие закономерности режима развития напряжений в древесине в процессах тепломасопереноса// Актуальные направления развития сушки древесины. – Архангельск, 1980. – С. 63-72.
10. Ugolev B.N. Wood deformability and drying stresses in Understanding the Wood Drying process: A Synthesis of Theory and practice// Proc. 3rd Int. Wood Drying Conference, Vienna, Austria, P. 11-17.
11. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М: Лесн. пром-сть, 1978. – 224 с.
12. Поберейко Б.П. Ідентифікація напружено-деформівного стану деревини із змінним вологовмістом: Автореф. дис. канд. техн. наук, Львів, 2000, 18 с.
13. Лыков А.В. Теория сушки. – М: Энергия, 1968. – С. 471.

УДК 674.02:621.923

Доц. О.А. Кійко, канд. техн. наук – НЛТУ України

ПЕРЕМІЩЕННЯ ЖОРСТКОГО АБРАЗИВНОГО ЦИЛІНДРА У ПРОЦЕСІ ОДНОБІЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ-ШЛІФУВАННЯ ПЛИТНИХ ДЕРЕВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Визначено переміщення інструмента та заготовки у процесі однобічного калібрування-шліфування плитних деревних матеріалів жорсткими абразивним циліндром. Окреслені шляхи зменшення хвилястості оброблюваної поверхні.