

Параметри ножів	Тип картону	Мінімальна сила різання F_{p0} , Н	Максимальна сила різання F_{pm} , Н	Максимальне погонне навантаження q_m , Н/мм
D=50 мм, $\alpha=10^\circ$, $\beta=0^\circ$	1	41,2	295,1	14,9
	2	41,1	254,5	13,7
	3	33,0	219,3	13,2
D=50 мм, $\alpha=10^\circ$, $\beta=30^\circ$	1	31,8	224,1	11,3
	2	29,3	219,7	11,8
	3	25,6	209,5	12,6

Отримані результати уможливають обґрунтування конструкторських рішень стосовно проектування прорізного інструмента і механізму.

УДК 539. 37/38. 674.047

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН КРУГЛИХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ СУШІННЯ*

Я.І. Соколовський

На основі в'язкопружної моделі механіки суцільних середовищ досліджено напружено-деформівний стан деревини в процесі сушіння. Наведено розв'язок рівняння вологопровідності для регулярного режиму і функцію реологічної поведінки деревини із змінним вологовмістом.

На основании вязкоупругой модели механики сплошных сред исследовано напряженно-деформируемое состояние древесины при сушке. Приведено решение уравнения влагопроводимости для регулярного режима и функцию реологической характеристики древесины со сменным влагосодержанием.

Зменшення запасів лісових промислових порід обумовлює розширення сфери застосування і переробки низькоякісної деревинної сировини, зокрема круглих пиломатеріалів, отримуваних у процесі рубок і лісосічних робіт. Тонкомірна деревина круглого перерізу використовується для виготовлення торцевих підставок для щитового паркету, втулок для підшипників, деяких столярно-будівельних виробів. Стримуючим фактором використання круглих пиломатеріалів є складність технологічного процесу сушіння, оскільки анізотропія фізико-механічних властивостей у даному випадку проявляється значніше, ніж для традиційних пиломатеріалів. Важливою проблемою в цьому аспекті є розрахунок та аналіз напружено-деформівного стану матеріалу, дослідження реологічних властивостей у різних температурно-вологісних умовах. Зазначимо, що для пиломатеріалів як пружного та ізотропного матеріалу (без врахування в'язко-пружних властивостей) аналогічні задачі розглядалися у розробках [3,5].

Для розрахунку напружено-деформівного стану круглих пиломатеріалів у змінних температурно-вологісних полях скористаємося в'язкопружною моделлю у вигляді рівняння Больцмана-Вольтера, що якісно вірно описує в'язкопружні властивості деревини:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left(\sigma(t) + \int_0^t \sigma(\tau) K(t-\tau) d\tau \right), \quad (1)$$

* Робота виконана згідно з Міжнародною науково-освітньою програмою ISSEP (грант № YSU 082051).

де $\varepsilon(t)$, $\sigma(t)$ – відповідно, деформації і напруження; E – модуль пружності; t – час; $K(t-\tau)$ – функція реологічної повірки деревини (функція повзучості).

Узагальнення моделі (1) на двомірний випадок (тіло циліндричної форми) запишемо наступним чином:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \left(\sigma_r - \nu \sigma_\theta + \int_0^t (\sigma_r - \sigma_\theta) K(t-\tau) d\tau \right); \quad (2)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left(\sigma_\theta - \nu \sigma_r + \int_0^t (\sigma_r - \sigma_\theta) K(t-\tau) d\tau \right), \quad (3)$$

де ε_r , ε_θ – радіальна та кругова в'язкопружні компоненти деформацій; σ_r , σ_θ – відповідні компоненти напружень; ν – коефіцієнт Пуассона; r – радіус деревини.

Для повного описання напружено-деформівного стану круглих пиломатеріалів у процесі конвективного сушіння скористаємось рівняннями рівноваги

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r} \quad (4)$$

та умовами сумісності деформацій

$$\frac{\partial \varepsilon_\theta}{\partial r} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\theta}{r} \quad (5)$$

Із співвідношень (2)–(5) отримаємо рівняння для визначення компонент напружень σ_r і σ_θ :

$$\varphi(r, t) = \int_0^t \varphi(r, \tau) K(t-\tau) d\tau = -E \frac{\partial \beta W}{\partial r}, \quad (6)$$

$$\varphi(r, t) = \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial r} + \frac{\sigma_\theta}{r}, \quad (7)$$

де β – коефіцієнт всихання; W – зміна гігроскопічної вологи.

Граничні і початкові умови мають вигляд:

$$\sigma_r(r) = 0, \sigma_\theta(r) = 0 \text{ для } t = 0 \quad \sigma_r|_{r=k} = 0 \quad (8)$$

Для низькотемпературних процесів сушіння характерні відсутність градієнта загального тиску і наявність невеликих перепадів температури (0,5 – 3°C) за перерізом пиломатеріалів [2]. У зв'язку з тим процес вологоперенесення в деревині для циліндричної системи координат описується не стаціонарним рівнянням вологопровідності [4], розв'язок якого для регулярного режиму можна записати в такій критеріальній формі:

$$\frac{U_0 - U}{U_0} = Kim \left(2LuF_0 - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{R^2} \right) (1 + \varepsilon K_0 PnLu) \right), \quad (9)$$

де U_0 – початковий вологовміст; ε – критерій фазового переходу; Kim , Lu , F_0 , K_0 – відповідні критерії масообміну (Кірпічова, Ликова, Фур'є, Косовича).

Числовий розв'язок задачі визначення напружено-деформівного стану круглих пиломатеріалів у процесі сушіння отримано на персональному комп'ютері в середовищі MatCad 8.0. Для розв'язання системи рівнянь (6)–(9) використано метод скінченно-різницевої апроксимації рівнянь рівномірно-просторовою сіткою з реалізацією явної схеми [1]. При розв'язанні задачі використовувались теплофізичні і реологічні характеристики деревини, що є

залежними від вологості. Наведемо деякі з них. Порода деревини – сосна, умовна густина якої $\rho_{ум} = 450 \text{ кг/м}^3$, $R = 10 \text{ см}$; температура сухого термометра $t_c = 90^\circ \text{C}$; ступінь насичення вологого повітря $\varphi = 0,75$; $W_0 = 25\%$; рівноважна вологість $W_p = 9,5\%$; коефіцієнт вологовмісту $\alpha' = 20 \cdot 10^{-5} \text{ см/с}$; коефіцієнт вологопровідності $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$; $\varepsilon = 0,15$; теплота пароутворення $r = 2500 \text{ кДж/кг}$; $\beta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/\%}$. Функція реологічної поведінки деревини $K(t - \tau)$ вибиралась такого вигляду [6]:

$$R(\tau - \tau') = \frac{E_m(W, T) - E_T(W, T)}{E_T(W, T) \tau_{\text{рел}}(W, T)} \exp\left(-\frac{\tau - \tau'}{\tau_{\text{рел}}(W, T)}\right), \quad (10)$$

де $E_m, E_T, \tau_{\text{рел}}$ – відповідно, миттєвий і тривалий модулі пружності, час релаксації.

Залежність зміни E_m у тангенціальному напрямі деформування [8]

$$E_m = 20 + 4(25 - W) + T + 0,44(25 - W)T. \quad (11)$$

Для деревини сосни $E_T = 0,58 E_m$, а час релаксації $\tau_{\text{рел}} = 153 \exp(-0,058W)$.

Результати обчислень для даних умов радіальних σ_r окружних напружень наведено у таблиці. Аналіз їх свідчить про те, що радіальні напруження мають розтягуючий характер у приповерхневих зонах круглих пиломатеріалів. Для $0,53 \leq Y/R < 1$ розподіл напружень σ_r має стискаючий характер. Максимальних значень окружні напруження досягають у центральній зоні пиломатеріалів. Збільшення абсолютного рівня радіальних та окружних напружень обумовлено зміною вологісного режиму і всиханням матеріалу, що свідчить про нестійкість формування внутрішніх напружень відносно кінетики даних процесів.

Y/R	W,%; σ , МПа							
	10%		15%		20%		25%	
	σ_r	σ_θ	σ_r	σ_θ	σ_r	σ_θ	σ_r	σ_θ
0,2	0,21951	0,19708	0,38415	0,34489	0,58537	0,52556	0,82317	0,73905
0,4	0,01064	0,08929	0,01861	0,15625	0,02836	0,2381	0,03989	0,33483
0,6	-0,0112	0,07968	-0,0197	0,13943	-0,03	0,21247	-0,0421	0,29878
0,8	-0,0081	0,08316	-0,0142	0,14552	-0,0217	0,22175	0,0305	0,31183
1		0,0891	0	0,15593	0	0,2376	0	0,33413

Таким чином, в умовах зміни вологісного стану можна регулювати напружено-деформівний стан висушуваного матеріалу, а тим самим цілеспрямовано впливати на формування його експлуатаційних властивостей.

1. Бабенко К.И. Основы численного анализа. М., 1986.
2. Билей П.В. Сушка древесины твёрдых лиственных пород. М., 1992.
3. Лапшин Ю.Г. Некоторые задачи деформирования материалов при переменной температуре и влажности // Лесной журнал. 1970. №1.
4. Лыков А.В. Теплообмен. М., 1972.
5. Огарков Б.И. Температурно-влажностные напряжения в анизотропном кольце с учётом зависимости модулей упругости материала от температуры и влажности // Изв. вузов. Машиностроение. 1966. №5.
6. Поберейко Б.П. Методика визначення параметрів кривих повзучості деревини // Наук. вісник УкрДЛТУ. 1998. Вип.8.1.
7. Соколовский Я.И. Взаимосвязь деформационно-релаксационных и теплообменных процессов при сушке капиллярно-пористых тел // Прикладная механика. 1998-34, №9.
8. Уголев Б. Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.Г. Контроль напряжений при сушке древесины. М., 1980.