

Також можна стверджувати, що основний вплив на хвилястість пропилу здійснюють ріжучий інструмент та властивості і структура деревини. Причому, вплив факторів інструмента є постійним і змінюється по мірі його затуплення, що дає змогу прогнозувати показники хвилястості пропилу. Вплив деревини залежить від її властивостей, структури, розмірів та розміщення пропилу у колоді у кожен конкретний момент часу. На точність оброблення впливає також режим різання, геометрична точність та конструкція самого верстата. Одним з важливих факторів впливу на точність є людський, зокрема рівень кваліфікації робітників, які працюють на верстаті. Однією з причин отримання неякісної продукції може бути відсутність якісного контролю точності розпилювання, оскільки часто на виробництві практикується візуальна оцінка хвилястості пропилу. Як показали дослідження, хвилястість 1...2 мм візуально виявити практично неможливо.

## 5. Висновки

1. Основним показником точності розпилювання колод на горизонтальних стрічкопилкових верстатах є хвилястість пропилу.
2. Режим різання та період стійкості інструмента на горизонтальних стрічкопилкових верстатах має визначатися залежно від величини хвилястості пропилу.
3. Встановлено, що загальні втрати деревини визначаються шириною пропилу та величиною максимальної його хвилястості, які можуть перевищувати втрати від ширини пропилу у декілька разів.

## Література

1. Пилипчук М.І., Климаш Р.Р. Підвищення точності розпилювання колод на горизонтальному стрічкопилковому верстаті// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.2 – С. 108-113.
2. Пилипчук М.І. Основні напрямки розвитку теорії точності механічного розроблення деревини та деревних матеріалів// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.1. – С. 165-170.
3. ГОСТ 8486-86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия.
4. ГОСТ 24454-80. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры.
5. ГОСТ 6564-84. Пиломатериалы и заготовки. Правила приемки, методы контроля, маркировка и транспортирование.
6. Стрічкопилковий верстат з консольно-телескопічним супортом СКТП 505-2. Паспорт і керівництво з монтажу та експлуатації. – Львів: УкрДЛТУ. – 2000. – 25 с.

УДК 634.0.812

Доц. Б.П. Поберейко, канд. техн. наук – НЛТУ України

## АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ ТА АНІЗОТРОПНИХ КАПЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Проаналізовано критерії короткочасної та довгочасної міцності. Виявлено, що на сьогодні вирішено задачі міцності деревини в основному у пружній області деформування. У в'язкопружній знайдено їх рішення лише для часткових випадків деформування, зокрема, для одновісного стиску, розтягу вздовж та впоперек волокон.

## Analysis critical of strength conditions wood and anisotropic capillary-porous materials

The criteria of durability brief and of long duration are analysed. It is discovered that for today the tasks of durability of wood are decided mainly in the resilient region of deformation. In viscidly resilient – their decisions are found only for the special cases of deformation, for the monoaxial compression and tension trough the length and breadth fibres.

**Актуальність.** Для корекції відомих та розробки нових технологічних режимів, а також вдосконалення існуючих та створення сучасних систем контролю і регулювання процесів гідротермічної обробки пиломатеріалів важливими є задачі визначення міцності деревини. На сьогодні вони вирішені в основному для матеріалів з однорідним напружено-деформівним станом у пружній постановці [1-3]. Для в'язкопружної області деформування закономірності впливу реономних<sup>1</sup> властивостей на її міцність встановлено лише для часткових випадків одновісного стиску та розтягу вздовж основних напрямків анізотропії [4, 5]. Звичайно, що такий стан досліджень у даній області є не достатнім для розробки методик та методів своєчасного виявлення небезпечних, щодо тріщиноутворення та короблення, у висушуваних пиломатеріалах напружень, хоча б тому що їх розподіл в об'ємі матеріалу, насправді, є нерівномірним (неоднорідним) [6]. У зв'язку з цим актуальним є аналіз сучасних експериментальних та теоретичних робіт, присвячених вивченню необхідних і достатніх умов (критеріїв) за яких відбуваються небезпечні процеси в об'ємах анізотропних капілярно-пористих тілах, результатом розвитку яких є руйнування.

**Критерії короткочасної міцності.** Відповідно до аналізу літературних джерел [7-9], на сьогодні відомими є два класи (типи) критеріїв міцності. До одного з них належать критерії, в основі яких покладено припущення: в умовах однократного навантаження напружено-деформівний стан матеріалу не перевищує межі міцності, якщо значення деяких універсальних функцій компонентів тензорів напружень і деформацій  $F_m(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij})$ ,  $m = 1, 2, \dots$  є меншими за їх граничні значення  $F_m^*$ . Якщо хоча б одна із цих функцій отримує значення, яке дорівнює  $F_m^*$ , то напружено-деформівний стан матеріалу досягає межі міцності, тобто

$$F_m(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}) \leq F_m^*. \quad (1)$$

Порівняльний аналіз подібних нерівностей [1,10,11] з відомими результатами експериментальних досліджень [1,2] показав, що вони є дійсно критеріями міцності для зразків випробовуваних в умовах короткочасного навантаження. Але, оскільки у випадку такого навантаження поведінка матеріалу є пружною [4, 5, 9], то умови типу (1) описують безпечну область деформування анізотропних твердих тіл зі склерономними пружними властивостями. До таких критеріїв відносяться, зокрема, узагальнений критерій Гольденבלата-Копнова [10]

<sup>1</sup> Матеріали з реономними властивостями – це матеріали, об'єм і форма яких після розвантаження не відновлюється або відновлюється через певний проміжок часу

$$\left( \sum_{i,k} P_{ik} \sigma_{ik} \right)^{\alpha} + \left( \sum_{i,k,n,m} P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm} \right)^{\beta} + \left( \sum_{i,k,n,m,p,q} P_{iknmpq} \sigma_{ik} \sigma_{nm} \sigma_{pq} \right)^{\gamma} + \dots \leq 1, \quad (2)$$

де  $P_{ik}$ ,  $P_{iknm}$ ,  $P_{iknmpq}$  – компоненти тензора міцності, які задовольняють умовам симетрії [9]:

$$\begin{aligned} P_{ik} &= P_{ki}; \\ P_{iknm} &= P_{kinm} = P_{ikmn} = P_{iknm}; \\ P_{iknmpq} &= P_{kinmpq} = P_{iknmpq} = P_{kinmpq} = P_{iknmpq} = P_{kinmpq} = P_{iknmpq} = P_{kinmpq}. \end{aligned} \quad (3)$$

Нерівність (2) дає змогу оцінити граничний напружений стан анізотропних матеріалів з різними межами міцності для будь-яких типів навантажень (розтяг, стиск, зсув), незалежно від напрямку їх прикладення [9-11]. В її структурі закладено досить широкі можливості адаптації до дослідних даних за рахунок не лише належного вибору компонентів тензора міцності, але й зміни показників степеня  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ . Дійсно, якщо знехтувати всіма доданками суми правої частини нерівності (2), окрім другого, та поклавши  $\beta = 1$ , отримаємо критерій Мізеса-Хілла [9, 11]

$$\sum_{i,k,n,m} P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm} \leq 1. \quad (4)$$

За даними досліджень О.К. Ашкеназі [1] нерівність (4) задовільно узгоджуються з дослідними даними для матеріалів, числові значення меж міцності яких не залежать від способу навантаження. До таких матеріалів належать матеріали для яких абсолютне значення відношень меж міцності на розтяг та стиск близьке за значенням до одиниці [1, 3, 9]. Стосовно деревини – це деякі листяні породи, наприклад, тополя, бук, вільха чорна тощо. Для тополі, наприклад, значення меж міцності впоперек волокон у випадку стиску є приблизно у 0,96-1,1 раза більшим, ніж у випадку розтягу. Для матеріалів, абсолютне значення відношення меж міцностей яких на стиск та розтяг істотно відрізняється від одиниці умова (4) не виконується. До них відносяться в основному деревні матеріали хвойних порід, зокрема сосна, ялина, тощо. Порівняльний аналіз значень їх меж міцності на стиск та розтяг впоперек волокон показав, що вони відрізняються у 2,96-3,5 рази. У зв'язку з цим, автором згаданих робіт, на основі обробки результатів експериментальних вимірювань поверхні короткочасної міцності та аналізу умови (5) запропоновано критерій [1]:

$$\begin{aligned} & \left( P_{1111} \sigma_{11}^2 + P_{2222} \sigma_{22}^2 + P_{3333} \sigma_{33}^2 + 2P_{1122} \sigma_{11} \sigma_{22} + 2P_{2233} \sigma_{22} \sigma_{33} + \right. \\ & \left. + 2P_{1133} \sigma_{11} \sigma_{33} + 4P_{1313} \sigma_{13}^2 + 4P_{2323} \sigma_{23}^2 + 4P_{1212} \sigma_{12}^2 \right)^2 \leq \sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 + \\ & + \sigma_{11} \sigma_{22} + \sigma_{22} \sigma_{33} + \sigma_{11} \sigma_{33} + \sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{12}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Аналіз його структури показав, що ліва частина нерівності (5) є квадратом лівої частини нерівності (4), а права – сумою інваріантів  $I_1^2$  та  $I_2$ , де  $I_1 = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$ ,  $I_2 = \sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 + 2\sigma_{12}^2 + 2\sigma_{13}^2 + 2\sigma_{23}^2$ . Зазначимо, також, що в умові (5) на відміну від (4), дійсно, враховано вплив зміни напрямку дії прикладених до матеріалу механічних зусиль на характеристики його міцності.

Наочним обґрунтуванням цього твердження є застосування критерію (5) для опису міцності деревного зразка в умовах одновісного стиску та розтягу, наприклад, вздовж волокон. Для таких випадків (5) запишеться у вигляді

$$P_{1111} = 1/\sigma_{ex}, \quad (6)$$

де  $\sigma_{ex}$  – механічні зусилля підведені до зразка. Звідси, якщо  $\sigma_{ex}$  є розтягуючими (додатними за знаком), то значення величини  $P_{1111}$  є додатними. У протилежному випадку  $P_{1111}$  – від'ємні, що і необхідно було довести.

Проаналізований критерій має також і деякі недоліки, зокрема, він не виконується для ізотропних матеріалів, а визначена з рівняння (5) поверхня міцності для деяких порід деревини не завжди є випуклою, що суперечить класичним вимогам міцності [11].

Частковим випадком критерія (2) є також критерій [10], заданий математичною моделлю:

$$\sum_{i,k} P_{ik} \sigma_{ik} + \sqrt{\sum_{i,k,n,m} P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm}} \leq 1, \quad (7)$$

де:

$$P_{ii} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sigma_{iP}} - \frac{1}{\sigma_{iC}} \right); \quad P_{iii} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{\sigma_{iP}} + \frac{1}{\sigma_{iC}} \right)^2; \quad P_{ikik} = \frac{1}{4\tau_{ik}^2};$$

$$P_{iikk} = \frac{1}{8} \left[ \left( \frac{1}{\sigma_{iP}} + \frac{1}{\sigma_{iC}} \right)^2 + \left( \frac{1}{\sigma_{kP}} + \frac{1}{\sigma_{kC}} \right)^2 - \left( \frac{1}{\tau_{ik,45}} + \frac{1}{\tau_{ik,45}} \right)^2 \right];$$

$\sigma_{iP}$ ,  $\sigma_{iC}$  – межі міцностей матеріалу випробовуваного на розтяг та стиск вздовж осей анізотропії (i);  $\tau_{ik}$ ,  $\tau_{ik,45}$ ,  $\tau_{ik,45}$  – межі міцностей матеріалу за відповідних зсувів.

Аналіз співвідношень (8) свідчить, що для анізотропних матеріалів, межі міцності яких не залежать від знаку напружень (типів навантаження), значення компонентів тензорів міцності другого рангу дорівнюють нулеві ( $P_{ii} = 0$ ), і, відповідно, критерій (7) переходить в умову критерію Мізеса-Хілла. Зазначимо також, що для деревини нерівність (7) не виконується, оскільки за даними експериментальних досліджень значення величин  $\sigma_{iP}$ ,  $\sigma_{iC}$ ,  $\tau_{ik,45}$ ,  $\tau_{ik,45}$  не задовольняє умов сумісності

$$\frac{1}{\sigma_{iP}} - \frac{1}{\sigma_{iC}} - \frac{1}{\sigma_{kP}} + \frac{1}{\sigma_{kC}} = \frac{1}{\tau_{ik,45}} - \frac{1}{\tau_{ik,45}}, \quad i \neq k, \quad (9)$$

які визначають межі використання критерію короткочасної міцності Гольден-блата-Копнова (7) – (8). Однак, не зважаючи на зазначені недоліки, проаналізований критерій має важливе практичне значення, хоча б тому, що він вперше був успішно узагальнений на випадок довгочасної міцності ортотропних матеріалів шляхом заміни доданків  $P_{ik} \sigma_{ik}$ ,  $P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm}$ , тощо на відповідні оператори за правилом [10]

$$P_{ik}\sigma_{ik} \rightarrow \int_0^{t^*} \Omega_{ik}(\tau^* - \tau) \sigma_{ik}(\tau) d\tau; \quad (9)$$

$$P_{iknm}\sigma_{ik}\sigma_{nm} \rightarrow \int_0^{t^*} \Omega_{iknm}(\tau^* - \tau) \sigma_{ik}(\tau) \sigma_{nm}(\tau) d\tau, \quad (10)$$

і т.д. Тензори тривалої міцності  $\Omega_{ik}, \Omega_{iknm}$  у (9) та (10) визначаються функціями, залежними від часу  $\tau^*$  перебування тіла під дією сталого навантаження, чисельні значення параметрів якого дорівнюють  $\sigma_{ik}(\tau^*), \sigma_{nm}(\tau^*)$ .

Узагальнення критеріїв короточасної міцності на довгочасну міцність. Критерії довгочасної міцності відображають реономність механічних властивостей твердих тіл [7, 10], тому, оскільки деревина відноситься до таких матеріалів [1, 2, 4, 5], то вони мають важливе значення для визначення її міцності у в'язкопружній області деформування. До них відносяться, зокрема, критерії отримані з критеріїв короточасної міцності на основі, зазначених вище, заміни (9)-(10) з урахуванням умови, згідно з якою результати визначені за критерієм довгочасної міцності та відповідним критерієм короточасної міцності повинні збігатися у випадку деформування матеріалу під дією сталих навантажень, якщо тривалість їх дії не перевищує деякого значення  $\tau^*$ . Одним із таких критеріїв є операторний критерій Гольденבלата-Копнова [10]:

$$\int_0^{t^*} \Omega_{ik}(\tau^* - \tau) \sigma_{ik}(\tau) d\tau + \sqrt{\int_0^{t^*} \Omega_{iknm}(\tau^* - \tau) \sigma_{ik}(\tau) \sigma_{nm}(\tau) d\tau} \leq 1. \quad (11)$$

Для матеріалів, компоненти  $\Omega_{ik}, \Omega_{iknm}$  тензора міцності яких визначаються експоненціальними залежностями:

$$\Omega_{ik} = P_{ik} A \exp(\alpha[\tau^* - \tau]); \quad (12)$$

$$\Omega_{iknm} = P_{iknm} 2\alpha B \{\exp(2\alpha[\tau^* - \tau]) - \exp(\alpha[\tau^* - \tau])\}, \quad (13)$$

де  $\alpha, A, B$  – сталі величини, які визначаються з кривих довгочасного опору, нерівність (11) має вигляд [10]:

$$\sum_{i,k} P_{ik} \sigma_{ik} + \sqrt{\sum_{i,k,n,m} P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm}} \leq \frac{1}{\exp(\alpha\tau^*) - 1}. \quad (14)$$

Її аналіз показав, вона збігається з нерівністю (7) у випадку, коли  $\tau^* = \ln 2/\alpha$ . Отримане співвідношення для визначення часу  $\tau^*$  є підтвердженням того, що задачі визначення міцності у пружній постановці є частинним випадком аналогічних задач у в'язкопружній постановці, а межі застосування їх розв'язків є залежними від реологічних властивостей матеріалу.

Цінними для побудови критеріїв довгочасної міцності деревини є критерії, які отримуються з вище проаналізованих критеріїв короточасної міцності, на основі заміни їх правої частини на деяку спадну функцію часу  $\tau^*$  перебування тіла під дією сталого навантаження, які, з огляду на умови (1), можна подати у вигляді [10]:

$$F_m(\sigma_{ij}, \epsilon_{ij}) \leq f(\tau^*). \quad (15)$$

Вони задовільно узгоджуються з результатами експериментальних досліджень матеріалів для яких критерії довгочасної міцності у випадках одновісного стиску, розтягу та зсуву можна вважати подібними. За даними робіт [4, 5, 12] до таких матеріалів належить також і деревина, криві довгочасного опору якої у різних напрямках анізотропії є різними у числовому відношенні, але подібними за характером зміни залежно від часу деформування. Дійсно, у загальному випадку вони описуються залежностями [2, 4, 5, 12]:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{мм}}} = \frac{\sigma_{\text{мдо}}}{\sigma_{\text{мм}}} + \left[ 1 - \frac{\sigma_{\text{мдо}}}{\sigma_{\text{мм}}} \right] \exp(-c\tau), \quad (16)$$

де  $\sigma_{\text{мм}}, \sigma_{\text{мдо}}$  – відповідно межі міцності та довгочасного опору,  $c$  – параметр, залежний від фізико-механічних властивостей матеріалу. До критеріїв типу (15) належить, зокрема, критерій [10]:

$$\sum_{i,k} P_{ik} \sigma_{ik} + \sqrt{\sum_{i,k,n,m} P_{iknm} \sigma_{ik} \sigma_{nm}} \leq \alpha + \beta \exp(-\lambda \tau_*), \quad (17)$$

де  $\alpha, \beta, \lambda$  – параметри довгочасної міцності матеріалу, які визначаються з відповідних випробовувань. Однак, цей критерій та йому подібні [11] з тих же причин, що й критерій (7) не узгоджується з дослідними даними для деревини, хоча не виключено, що він може бути використаний для наближеної оцінки її міцності за певних умов.

Проаналізовані критерії довгочасної міцності, ґрунтуються на уявленнях про існування деякого граничного значення міцності, після досягнення якого відбувається руйнування матеріалу. Однак, є й інші підходи опису визначення міцності, зокрема, у роботах [13-16] міцність вважається нерівноважним процесом, який здебільшого є нестационарним, це – кінетичний підхід.

Кінетичні критерії довгочасної міцності. Більшість кінетичних критеріїв довгочасної міцності ґрунтуються на емпірично встановленому принципі лінійного сумування пошкоджень. Вперше цей принцип був запропонований автором роботи [15], де рівняння для визначення часу руйнування матеріалу  $\tau_*$  подано у вигляді

$$\int_0^{\tau_*} \frac{d\tau}{\tau_r[\sigma(\tau)]} = 1, \quad (18)$$

де  $\tau_r(\sigma)$  – тривалість часу необхідна для руйнування матеріалу в умовах повзучості (у випадку сталого напруженого стану  $\sigma$ ). Наведене співвідношення не залежить від типу руйнування (в'язкого, крихкого), воно не описує локальної міцності та не може бути використане для оцінки міцності матеріалів, випробовуваних на зсув та матеріалів зі складними напружено-деформівними станами [13, 14]. Однак, за певних обмежень співвідношення (18) задовільно описує кінетику міцності у кожному із зазначених випадків. За даними робіт [13, 16] воно успішно використовується для визначення кінетики руйнування в'язкопружних матеріалів, залежності швидкостей деформацій повзучості, котрі від напружень є лінійними, а миттєві, пружні деформації – незначними. Окрім цього, зазначимо, що у проаналізованому критерії не враховано анізо-

тропії міцності капілярно-пористих матеріалів, оскільки пошкодженість

$$P(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\tau_r[\sigma(\tau)]} \text{ є скалярною величиною.}$$

До критеріїв в яких пошкодженість є скалярною величиною належить критерій Качанова Л.М. [16, 17]:

$$\frac{d\psi}{d\tau} = -A(n+1)\sigma_{\max}^n, \quad (19)$$

де:  $0 \leq \psi \leq 1$  – параметр суцільності середовища;  $\sigma_{\max}$  – істинне максимальне напруження розтягу у заданій точці середовища матеріалу;  $A > 0$ ,  $n \geq 0$  – деякі сталі. У випадку відсутності пошкодженості  $\psi = 1$ , а за умови їх наявності  $\psi = 0$ . Порівняно із співвідношенням (18) цей критерій у межах моделі крихкого руйнування можна використовувати для оцінки локальної міцності твердих тіл зі складним напружено-деформівним станом [13], що має важливе значення у випадку його застосування для деревини. Дійсно, за даними робіт [1, 12], в умовах стиску деревини вздовж волокон виникають тріщини, кінцевим результатом росту яких є крихке руйнування. Вперек волокон тріщиноутворення не спостерігається, і, відповідно, рівняння (19) не виконується. Доцільно також зауважити, що (18) є частковим випадком проаналізованого кінетичного рівняння (19). Для обґрунтування цього достатньо праву частину (19) записати у вигляді  $1/\tau_r(\tau)$ , тоді (19) матимемо

$$\frac{d\psi}{d\tau} = -\frac{1}{\tau_r(\tau)}. \quad (20)$$

Звідси, проінтегрувавши отримане рівняння для  $\psi = 0$  одержимо критерій (18), який вперше було використано для визначення межі міцності в умовах повзучості Робінсоном [15].

Оригінальним для досліджень міцності деревини в умовах гідротермічної обробки є критерій Ю.Н. Работнова [18]:

$$\begin{cases} \frac{d\epsilon_n}{d\tau} h(\epsilon_n) = f(\sigma, \omega), \\ \frac{d\omega}{d\tau} = \phi(\sigma, \omega) \end{cases} \quad (21)$$

де:  $\epsilon_n$  – в'язка складова деформацій повзучості;  $\omega$  – функція пошкодженості матеріалу, яка дорівнює нулеві у випадку відсутності пошкоджень і  $\omega = 1$  у випадку наявності тріщин, тобто можна вважати, що  $\omega = 1 - \psi$ . Його складовими частинами є рівняння повзучості (перше рівняння системи) та кінетичне рівняння крихкого руйнування, об'єднання яких у систему дало змогу авторові врахувати вплив процесів повзучості на тріщиноутворення. Цей вплив визначається фізико-механічними властивостями матеріалу і є залежним від вигляду функцій  $f(\sigma, \omega)$  та  $\phi(\sigma, \omega)$ . Він є значним для деревини, значення відносної вологості, якої дорівнюють або є більшими за межу гігроскопічності, оскільки у цьому випадку її реологічні властивості є найбільше вираженими [4]. Для абсолютно сухої деревини взаємодія процесів повзучості та тріщиноутворення не є істотною.

З огляду на існуючу, на сьогодні, класифікацію видів руйнування, зазначимо, що проаналізований критерій відноситься до критеріїв оцінки процесів змішаного руйнування. Однак, це не означає що його не можна використовувати для опису в'язкого та крихкого руйнування, які є частинними випадками змішаного руйнування матеріалу.

У розглянутих вище критеріях значення характеристик міцності матеріалу на даний момент часу  $\tau_1$  є не залежними від значень величини навантажень для моментів часу  $\tau < \tau_1$ , тобто від "історії" розвитку навантажень. Для реологічних матеріалів, а отже і для деревини ця залежність є очевидною [6]. У зв'язку з цим автором зазначеної роботи було запропоновано критерій

$$\int_0^{\tau_*} (\tau_* - \tau)^m \phi[\sigma_e(\tau)] d\tau = 1, \quad (22)$$

де:  $\phi[\sigma_e(\tau)]$ ,  $m$  – невідома функція та сталий параметр відповідно, які визначаються з результатів експериментальних вимірювань довгочасного опору матеріалу;  $\sigma_e(\tau)$  – еквівалентне напруження, за яке приймається або інтенсивність напружень, або максимальне напруження.

Деревина відноситься до анізотропних матеріалів, тому для дослідження її міцності важливим є критерії в яких пошкодження  $P(\tau)$  є не скалярною, а тензорною величиною. До таких критеріїв відносяться критерії, отримані на основі теорії накопичень та мір пошкоджень [7]. Дійсно, згідно з основними постулатами та положеннями цієї теорії, міцнісний стан будь-якої точки суцільного середовища твердого тіла однозначно визначається симетричним тензором пошкоджень  $P_{ij}(\tau)$  та мірами пошкоджень  $M_m(P_{ij}(\tau))$ , де  $m=1,2,\dots,m_f \leq n$ ;  $n$  – кількість компонентів  $P_{ij}(\tau)$  від яких залежною є функція  $M_m(P_{ij}(\tau))$ . Загалом величина  $P_{ij}(\tau)$  є функцією температури  $T(\tau)$ , компонентів тензорів напружень  $\sigma_{ij}(\tau)$  та моментів  $\mu_{ij}(\tau)$ , тобто

$$P_{ij} = P_{ij}(\sigma_{ij}(\tau), \mu_{ij}(\tau), T(\tau)). \quad (23)$$

Залежність (23) може бути як нелінійною так і лінійною. У тензорній лінійній теорії накопичень:

$$P_{ij}(\tau) = \int_0^{\tau} \phi_{ijkl}(\tau - \xi) d\sigma_{kl}(\xi) + \int_0^{\tau} \psi_{ijkl}(\tau - \xi) d\mu_{kl}(\xi), \quad (24)$$

де  $\phi_{ijkl}$  і  $\psi_{ijkl}$  – функції, які визначаються за результатами випробовувань на довгочасну міцність в умовах чистого зсуву та одновісного розтягу. За критерій міцності приймається момент часу  $\tau_*$ , для якого хоча б одна із мір пошкоджень  $M_m(P_{ij})$  дорівнювала б деякій сталій матеріалу  $C_m$  відповідно. Деякі узагальнення залежності (24) на нелінійний випадок наведено у роботах А.А. Ільюшина [7] і В.В. Москвітін [8, 14].

Ентропійний критерій довгочасної міцності. Надзвичайно важливим для моделювання міцності реологічних тіл зі змінними потенціалами теплоперенесення є ентропійний конструктивний критерій міцності [19], згідно з якою однією з основних причин руйнування матеріалу є зростання значень

густини ентропії  $S(\tau)$  у процесі деформування. Початком руйнування вважається момент часу  $\tau_*$ , коли величина  $S(\tau)$  досягне деякого граничного значення  $S_* = S(\tau_*)$ , тобто, якщо на початку деформування  $S = S_0$ , то

$$S_0 + \Delta S = S_*, \quad (25)$$

де  $\Delta S$  – приріст ентропії одиниці об'єму (або одиниці маси) матеріалу за час  $\tau_*$ .

Для умов адіабатичного деформування, коли швидкість зростання густини ентропії зумовлена лише дисипацією енергії, критеріальне співвідношення (25) має вигляд

$$S_0 + \int_0^{\tau_*} \frac{W(\tau)}{T(\tau)} d\tau = S_*, \quad (26)$$

де:  $W(\tau)$  – швидкість дисипації енергії, або функція розсіювання;  $T(\tau)$  – абсолютна температура матеріалу.

Для релаксаційно-деформаційних процесів, що протікають в умовах теплового (ентропійного) обміну з навколишнім середовищем критеріальне співвідношення (26) не виконується. У цьому випадку на приріст густини ентропії, окрім дисипативних сил, впливають ще й інші чинники, зокрема, теплопровідність та потік ентропії через поверхню матеріалу. Звичайно, що у такій постановці задача міцності дещо ускладнюється, але, згідно з [10], вона вирішуються на основі ентропійного критерію. Для цього достатньо подати швидкість приросту ентропії  $\Delta S$  у вигляді суми швидкостей приростів ентропій, обумовлених кожним із зазначених чинників. На основі такого підходу, авторами вище зазначених робіт, для процесів неадіабатного деформування (точніше, ентропійного) отримано рівняння

$$\rho T \left( \frac{\partial S}{\partial \tau} + \vec{v} \nabla S \right) = W + \text{div}(\lambda T), \quad (27)$$

де:  $\rho$ ,  $\lambda$  – густина та коефіцієнт теплопровідності матеріалу;  $\vec{v} \nabla S$  – скалярний добуток векторів швидкості теплового потоку через одиничну поверхню та градієнта ентропії.

Отже, ентропійний критерій дає змогу дослідити довгочасну міцність матеріалу не лише у випадках механічного навантаження, але і в умовах теплообміну, що, безумовно має важливе значення для розробки технологічних критеріїв, зокрема, для критеріїв міцності гідротермічної обробки деревини. Окрім цього, зазначимо, що ентропійні критерії (23) та (24), на сьогодні, успішно апробовані для в'язкопружних матеріалів характер руйнування яких є в'язким, а закон повзучості відомим. У випадку крихкого руйнування його застосування можливе лише за умови, коли є відомими кінетичні рівняння визначення тріщин та інших дефектів у матеріалі [10].

Термодинамічні критерії міцності [20, 21]. В основі термодинамічних критеріїв міцності покладено припущення: початком руйнування матеріалу вважається момент часу, коли хоча б одна із адитивних складових будь-якого термодинамічного потенціалу  $\Phi$  (внутрішня енергія  $U_\beta(S, \varepsilon_{ij})$ , вільна енергія

Гельмгольца  $\psi(T, \varepsilon'_{ij})$ , потенціал Гіббса  $G(T, \sigma'_{ij})$ , ентальпія  $H(S, \sigma'_{ij})$ ) досягне граничного значення  $\Phi_*$ :

$$\Phi = \Phi_*. \quad (28)$$

На відміну від ентропійного, термодинамічний критерій не вимагає введення додаткового кінетичного рівняння у випадку визначення міцності матеріалів, характер руйнування яких є крихким, оскільки еволюція міцнісних характеристик, згідно з його вихідними положень, визначається законом збереження енергії. Це означає, що за його допомогою можна врахувати вплив не лише теплообмінних, але і масообмінних процесів на кінетику руйнування в'язкопружних матеріалів, характерними для яких є різні види руйнування.

**Висновки.** Аналіз літературних джерел показав:

1) На сьогодні досліджено конструктивну міцність деревини в основному у пружній області деформування. У в'язкопружній області вона вивчена лише для випадків одновісного стиску та розтягу відповідно вздовж та впоперек волокон.

2) Існуючі критерії короткочасної та довгочасної міцності виконуються для матеріалів з рівномірно розподіленими полями температур та вологи.

3) Характер розвитку міцності у деформівних капілярно-пористих матеріалах визначається закономірностями розвитку взаємозв'язних термодинамічно незворотніх процесів повзучості та накопичення пошкоджень. У зв'язку з цим, для розробки технологічних критеріїв міцності деревини зі змінними потенціалами тепломасоперенесення доцільно використати ентропійний та термодинамічний критерії конструктивної міцності.

## Література

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 224 с.
2. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства. – К.: ММКВО, 1992. – 320 с.
3. Соколовський Я.І., Гірник М.Л., Шикеринець І.М., Поберейко Б.П. Механічні властивості деревинних композитних матеріалів// Препр. № 95.8 – УкрДЛТУ, 1996. – 53 с.
4. Белянкін Ф.П., Яценко В.Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела. – К.: Изд-во АН УССР, 1957. – 86 с.
5. Леонтьев Н.Л. Длительное сопротивление древесины. – М.: Гослес-бумиздат, 1957. – 132 с.
6. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. Дослідження вологісних і залишкових напружень у процесі сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1998, вип. 8.1 – С. 196-207.
7. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. – М.: Наука, 1970. – 278 с.
8. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов. – М.: Наука, 1972. – 327 с.
9. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Элементы теории пластичности та міцності. – Львів: Світ, 1999: т.1, 532 с.; т.2, 418 с.
10. Гольденблат И.И., Бажанов В.Л., Копнов В.А. Длительная прочность в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1977. – 248 с.
11. Яценко В.Ф. Прочность композиционных материалов. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 191 с.
12. Хухрянский П.Н. Прочность древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 152 с.
13. Кишкин Б.П. Конструкционная прочность материалов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 184 с.

14. Москвитин В.В. Некоторые вопросы длительной прочности вязкоупругих сред// Проблемы прочности, № 2, 1971.
15. Robinson E.L. Effect of temperature variation on the long time rupture strength of steels// Trans. ASME. – 1952, vol.74, № 5 – P. 83-89.
16. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 308 с.
17. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 264 с..
18. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 752 с.
19. Киялбаев Д.А., Чебанов В.М., Чудновский А.И. Вязкое разрушение при переменных температурах и напряжениях// В сб.: Проблемы механики твердого деформируемого тела. – Л.: Судостроение, 1970. – С. 217-222.
20. Победра Б.Е. Термодинамический критерий прочности композитов// Механика композитных материалов. – 1993, т.29, № 3. – С. 302-310.
21. Росадо Р.М. Термодинамический критерий разрушения вязкоупругого материала: Автореф.... канд. физ.-мат. наук. – М., 1992. – 74 с.

УДК 674.053:621.935

Докторант І.Т. Ребезнюк, канд. техн. наук –  
НЛТУ України

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМИ ТА КУТА НАХИЛУ ГОЛОВНОЇ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ЗУБІВ ВУЗЬКОЇ СТІЧКОВОЇ ПИЛКИ

Одержано залежності для визначення радіуса заокруглення дуги кола головної різальної кромки та кута її нахилу у вершинах лез зубів вузької стрічкової пилки.

*Doctorant I.T. Rebeznjuk – NUFWTU*

### Research of the form and corner of the inclination of main cutting edge tooth's of the narrow tape saw

Dependences for definition of radius rounds arches of a circle of the main cutting edge and a corner of its inclination at tops of edges tooth's a narrow tape saw are received.

Головна різальна кромка підготовленого зуба будь-яких дереворізальних пилок переважно розглядається прямолінійною, а її кут нахилу – лише у разі виконання косого загострення зуба [1].

Для загострення зубів вузьких колодопиляльних стрічкових пилок переважно використовують абразивні круги з початковим зовнішнім діаметром  $D = 127$  мм [2]. Кінцевий діаметр спрацьованого круга на практиці мінімально може становити 65...75 мм. Застосування загострювальних кругів малих діаметрів призводить до збільшення радіуса криволінійності шліфованої поверхні зубчастого вінця пилки, а відтак, впливатиме на форму та орієнтування головної різальної кромки леза зуба.

Ці особливості негативно позначатимуться на якості підготовки вузьких колодопиляльних стрічкових пилок до роботи. Тому доцільно дослідити форму головної різальної кромки, радіус її криволінійності та кут нахилу у вершинах леза зуба для параметрів абразивних кругів, які використовуються під час загострення.

Форма головної різальної кромки залежить від форми передньої та головної задньої поверхонь леза зуба, в результаті перетину яких одержується різальна кромка. Дослідивши криволінійність формоутворювальних поверхонь леза зуба можна визначити криволінійність головної різальної кромки зуба та кут її нахилу у вершинах леза зуба.