

ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.В. Анциферова, аспірант*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Висвітлено аналіз літературних джерел щодо проблеми прогнозування довговічності композиційних матеріалів, зокрема на основі деревини. Обґрунтовано застосування кінетичної теорії міцності з цією метою, розкрито фізичні основи довговічності та пропонується підхід до вивчення згаданого питання.

Ключові слова: довговічність, композиційні матеріали, кінетична теорія міцності.

Перспективним напрямком використання деревини на сьогодні є її комплексна переробка. До таких відносять виготовлення композиційних матеріалів на основі деревини – личковані, кашировані стружкові, деревноволокнисті плити тощо. Личковані стружкові плити найбільше використовуються меблевою промисловістю у виготовленні корпусних меблів. Також поряд із личкованими СП у виробництві меблів набули поширення деревноволокнисті плити середньої щільності або плити MDF, які застосовуються не тільки як фасадні поверхні, а й як складальні одиниці корпусного виробу. Однією з переваг плит MDF є їхня екологічність, яка зумовлена введенням при виготовленні згаданих плит до склеюючої композиції лише 5 % синтетичного в'язучого, тоді як інші складові – це парафін та лігнін. Враховуючи екологічність плит MDF природно, що споживачі надають останнім перевагу перед личкованими СП при замовленні корпусних меблів.

Розуміння процесу деформування та руйнування, а також прогнозування довговічності цих матеріалів, є одним з головних завдань матеріалознавства, а також частиною завдань проектування виробів з них. Створення не трудомісткої

* Науковий керівник – кандидат технічних наук Л.М. Бойко

методики прогнозування довговічності дозволить виробникам зменшити матеріалоємність виробів із MDF, а споживачів забезпечить якісними і недорогими меблями.

Мета дослідження – проаналізувати літературні джерела стосовно дослідження іншими авторами довговічності композиційних матеріалів на основі деревини.

Матеріали та результати дослідження. Питання довговічності деревини у 70-х роках минулого століття вивчав у США Б.Медсон. У його роботах [1], як і у працях Ю.М. Іванова [2], простежується підхід до довговічності деревини на основі кінетичної теорії міцності. Нині, враховуючи проведений пошук, зусилля західних вчених направлені на вивчення довговічності деревини у будівельних конструкціях або коли вона знаходиться в атмосферних умовах з метою подовження її працездатності. Більше ніж 60 різноманітних тестових методів були описані в літературі [3], але менш як 10 із них знайшли відображення у стандартах. У більшості з цих методів головним чином велися порівняння різних деревних порід, а також модифікування деревини різними речовинами або технологією обробки [3].

На даний час у США діє програма, яка передбачає розробку та поширення інформації про довговічність деревних матеріалів будівельних виробів для південного регіону. Перед науковцями стоять такі завдання: розробка методики для оцінки міцності будівельних виробів у довгостроковій перспективі, визначення параметрів виробів з деревини, які перебувають в певних умовах експлуатації; розроблення екологічно чистих методів обробки і довговічних виробів з деревини на основі біосировини, в тому числі деревних відходів і клітковини [4].

Питання довговічності плитних матеріалів досить ґрунтовно вивчалось на території Російської Федерації у будівельній галузі такими вченими, як В.П. Ярцев, [5], О.А. Кисельова [6], та П.М. Кольцов [7]. При цьому В.П. Ярцев обґрунтував фізико-технічні основи працездатності композиційних матеріалів, зокрема цементно-стружкових плит, і визначив, що процес руйнування

полімерів включає стадії: збудження і розрив хімічних зв'язків в основному ланцюгу з утворенням пар вільних радикалів, які потім руйнуються; утворення зародкових тріщин; їх накопичення і ріст; утворення магістральної тріщини; розвиток магістральної тріщини до критичної довжини, після чого тіло руйнується за короткий час зі швидкістю, яка наближається до швидкості звуку, тобто відбувається поширення поперечних пружних хвиль у твердому тілі.

У минулі роки розповсюдження набули моделі теорії довготривалої міцності, які враховують накопичення пошкоджень. Такий підхід був запропонований Л.М. Качановим [8] для руйнувань при повзучості. Ступінь пошкоджуваності характеризується параметром ϕ , який дорівнюватиме 1 для матеріалу, що є непошкодженим і $\phi = 0$ у момент руйнування. Під час розтягу кінетичне рівняння міцності конструкційного матеріалу набуває вигляду:

$$\frac{d\phi}{dt} = -A \cdot \left(\frac{\sigma_{\max}}{\phi} \right)^n, \quad (1)$$

де A – постійний коефіцієнт;

n – показник утворення тріщин.

Під дією постійного напруження σ для визначення довговічності матеріалу, з рівняння (1), отримано вираз:

$$\tau = \frac{1}{(n+1) \cdot A \cdot \sigma^n}. \quad (2)$$

Ю.М. Работнов [9] запропонував ввести у рівняння повзучості функцію пошкоджуваності $\omega = 1 - \phi$, де ϕ – має той же самий зміст, що й у рівнянні (1). Але в наведених роботах пошкоджуваність пояснюється як абстрактна величина з незрозумілим фізичним змістом. А.Р. Ржаніцин [10] також вважає, що доцільніше розглядати не пошкоджуваність, а об'єктивну міцність r та її вимірювання у часі:

$$r = f(\eta, \sigma), \quad (3)$$

де σ – навантаження, МПа;

r – міцність у момент руйнування, МПа;

η – рівень навантаження.

За таких підходів стає зрозуміло, що всі попередні процеси, на які витрачається час, є ніби вторинними, а саморуйнування настає під час досягнення критичного навантаження чи граничної деформації. Однак, якщо руйнування настає під час досягнення якоїсь критичної величини, то стає не досить зрозуміло як час зв'язаний з процесом руйнування. Якщо ж навпаки розглядати руйнування як процес, що розвивається у часі, то втрачається сенс критичного навантаження. У рівнянні, яке запропонував проф. С.М. Журков [11], чітко простежується, що процес руйнування є результатом неперервного процесу, який розвивається у часі. Інтенсивність залежить від навантаження та температури, а середня швидкість руйнування експоненціально зростає зі збільшенням навантаження і температури. Розгляд цього процесу у кінетиці привів до створення відомої залежності [11]:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{V_0 - \gamma \sigma}{kT}}, \quad (4)$$

де τ_0 – постійна, близька за значенням до періоду коливання атомів ($\approx 10^{-12}$ с);

V_0 – енергія активації елементарного акту процесу руйнування за відсутності навантаження;

k – постійна Больцмана;

γ – коефіцієнт, який залежить від природи та структури матеріалу;

T – абсолютна температура;

σ – навантаження.

Фізичний сенс цієї формули заснований на термоактиваційній теорії міцності, яка доводить, що руйнування являє собою кінетичний, термоактиваційний процес поступового накопичення пошкоджень, що розвивається на всьому проміжку дії навантаження. Теплові флуктуації не тільки забезпечують розрив зв'язків, й перебіг елементарних міжатомних і міжмолекулярних перегрупувань, а механічні напруження знижують енергетичний бар'єр для цього процесу.

Висунута С.М. Журковим та Г.М. Бартеневим [11] концепція температурно-часової залежності тривалої міцності по суті дозволила зв'язати довготривалу міцність твердого тіла з характеристиками молекулярної будови.

Це положення підтверджено на полімерних волокнах і похідних целюлози, що забезпечує принципову основу для застосування її до деревинних композиційних матеріалів. Оскільки плита MDF складається з деревних волокон, а волокна з целюлози та її похідних, це робить можливим використання кінетичної теорії для визначення довговічності деревинних композиційних матеріалів.

Із відомих методів найбільш достовірні значення довговічності матеріалів можливо отримати за допомогою кінетичної теорії міцності твердих тіл, що заснована на термоактиваційному механізмі руйнування [12]. В Україні над дослідженням довговічності композиційних матеріалів на основі деревини, а саме СП, працюють І.Г. Грабар [13], С.М. Кульман [14], Л.М. Бойко [15]. Як результат цих досліджень був розроблений метод визначення термоактиваційних параметрів та за його застосування – методика прискореного випробування композиційних плитних матеріалів на основі деревини на довговічність [16]. Цілком логічне продовження досліджень та розвиток розробленої методики випробувань на довговічність під час використання плит MDF як конструктивного матеріалу.

На базі кінетичної теорії міцності проф. В.В. Стояновим був розроблений метод консервації тріщин для будівельних матеріалів [17]. Ідея полягає у використанні конструктивних заходів, які забезпечують незмінні габарити тріщини у найбільш відповідальному місці конструкції при проектному навантаженню і заданому періоді її роботи.

Висновки. Як показав проведений аналіз літературних джерел, на даний момент не існує чітких методів дослідження на довговічність личкованих СП у конструкціях меблів. За кордоном розроблені стандарти, які регламентують визначення міцності та довговічності. За британським стандартом [18], випробування на міцність виконується циклічно і полягає в повільному піднятті одного з кутів корпусу до відриву від основи будь-якої нижньої частини виробу. Потім виріб опускають. Вважається, що виріб пройшов випробування, якщо між 8-м і 60-м циклами величина підйому, який необхідний для відриву нижньої

частини від основи, не перевищує 25 %. Крім того, у виробі не повинно бути видимих пошкоджень. Так, у стандарті Німеччини [19] працює методика, згідно з якою сторони виробу по черзі піднімаються на висоту 150 мм, після чого відбувається вільне падіння. При цьому виріб не має експлуатаційного навантаження. За критерій якості також вважають відсутність пошкоджень деталей і вузлів виробу. А ось відповідно до методу шведського промислового стандарту горизонтальні поверхні виробів навантажують сталевими плитами вздовж передньої окрайки з розрахунку 200-500 Н на 1 м. Після витримки протягом 28 днів заміряють найбільший прогин всередині передньої окрайки горизонтальних стінок, а потім виміри порівнюють із визначеними допустимими значеннями. З аналізу цих стандартів встановлено, що вимоги міцності і довговічності виконані у разі відсутності під час та після випробувань переломів будь-якої деталі, ослаблення з'єднань, які призначені бути жорсткими. Меблі для сидіння та лежання вважаються довговічними, якщо частина, яка призначення для сидіння, придатна для використання після видалення тестових навантажень та для неї виконуються умови стабільності.

Список літератури

1. Madsen B. Duration of load tests for dry lumber subjected to shear / B.Madsen // Forest Products Journal. – Peachtree Corners, GA. – 1975. – V.25. – №10. – P. 49–52.
2. Иванов Ю.М. Оценка длительной прочности древесины при изгибе по результатам кратковременных испытаний / Ю.М Иванов, Ю.Ю. Славик // Лесной журнал. – 1981. – №2. – С. 6–15.
3. Meyer L. Moisture performance based wood durability testing / L. Meyer, C.Brischke, A. Pilgard. – Stockholm, 2012. – 26 p.
4. Durability of wood-based products. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/0202243-durability-of-wood-based-products.html>.

5. Ярцев В. П. Физико-технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Ярцев Виктор Петрович. – Воронеж, 1998. – 363 с.

6. Киселева О. А. Прогнозирование работоспособности древесностружечных и древесноволокнистых композитов в строительных изделиях : дис. ... к-та техн. наук : 05.23.05 / Киселева Олеся Анатольевна. – Воронеж, 2003. – 208 с.

7. Кольцов П. М. Прогнозирование долговечности ламинированных древесноволокнистых композитов строительного назначения : дис. ... к-та техн. наук : 05.23.05 / Кольцов Павел Михайлович. – Тамбов, 2010. – 179 с.

8. Качанов Л.М. Основы механики разрушения / Качанов Л.М. – М.: Наука, 1974. – 207 с.

9. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций / Работнов Ю.Н. – М. : Наука, 1966. – 752 с.

10. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / Ржаницын А.Р. – М. : Стройиздат, 1978. – 240 с.

11. Физика полимеров / Бартенев Г.М., Френкель С.Я.; под ред. д-ра физ.-мат. наук А.М. Ельяшевича. – Л. : Химия, 1990. – 731 с.

12. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозировать работоспособность? / С.Б.Ратнер, В.П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.

13. Грабар І.Г. Дизайн і методика прогнозування ресурсу та граничної міцності корпусних меблів / І.Г. Грабар, Л.М. Бойко, С.М. Кульман // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів; 2008. – Вип. 18.10. – С. 81–89.

14. Кульман С.М. Кінетика тривалої міцності композиційних матеріалів на основі деревини / С.М. Кульман // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спеціальний випуск до VI науково-практичної конференції [«Сучасні проблеми збалансованого природокористування»]. – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. – С. 196–206.

15. Бойко Л.М. Кінетика процесу втрати ресурсу довговічності личкованих стружкових плит / Л. М. Бойко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип. 164, ч. 3. – С. 233–237.

16. Пат. на корисну модель № 46493 Україна, МПК G01D 3/00. Спосіб випробовування довговічності кутових з'єднань корпусних меблів / С.М. Кульман, Л.М. Бойко ; заявл. 30.06.2009 ; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.

17. Стоянов В.В. Новые подходы к продления срока работоспособности конструкции / В.В. Стоянов // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. науч. трудов. – Одесса : ВРС, 2008. – Ч.2. – С. 41–47.

18. Furniture. Seating. Test methods for the determination of strength and durability. BS EN 1728:2012. – London : BSI, 2012 – 62 p.

19. Möbel. Sitzmöbel. Prüfverfahren zur Bestimmung der Festigkeit und Dauerhaltbarkeit. DIN EN 1728:2012-10. –Berlin : Boit, 2010. – 15 p.

Освещен анализ литературных источников по проблеме прогнозирования долговечности композиционных материалов, в том числе на основе древесины. Обосновано применение кинетической теории прочности для прогнозирования долговечности композиционных материалов, раскрыто физические основы долговечности и предлагается подход к изучению долговечности композиционных материалов на основе древесины.

Ключевые слова: долговечность, композиционные материалы, кинетическая теория прочности.