

УДК 691.116

О.М. Чередніков, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

М.Є. Юрченко, канд. фіз.-мат. наук

Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

С.В. Федоренко, ген. директор

ЧП «Укрінекс-Паркет», м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СКЛЕЮВАННЯ ШПОНА

Перспективний розвиток фанерного виробництва передбачає різке підвищення технічного рівня устаткування з видання нових видів фанери і фанероволокнистих плит, розширення сфери застосування шпону і виробів з неї. Показано можливість використання методу аналізу розмірностей і теорії подібності для визначення залежності часу склеювання від товщини пакета шпона.

Вступ

Науково-дослідні роботи щодо оптимізації режимів при впровадженні нових прогресивних технологій виробництва фанери і виробів з неї актуальні, несуть комплексний характер та опираються на методи математичного моделювання процесів системи високопродуктивних машин для склеювання фанери холодним способом, комплекс пристроїв по автоматизації і механізації технології виробництва струганого шпона, впровадження нових технологій склеювання шпона і листових матеріалів на його основі, впровадження автоматизованих ліній по виробництву великоформатної фанери із захисними властивостями, малотоксичної фанери та ін.

Постановка проблеми

При розробці оптимальних режимів склеювання шпона варіювати товщиною пакета з ряду причин досить складно. Тому необхідно знайти й обґрунтувати метод, що дозволяє визначити залежність часу склеювання від товщини пакета шпона. Показано можливість використання для рішення цього завдання методу аналізу розмірностей і теорії подібності.

Склеювання шпону в процесі гарячого пресування відноситься до складних фізико-хімічних процесів з великою кількістю факторів впливу.

Як правило, така задача полягає у відшуванні такої області просторових факторів $(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$, де обраний параметр оптимізації $Y_i = f(X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0)$ приймає екстремальне значення при сукупності певних обмежень. У результаті рішення даної оптимізаційної задачі для одержання фанери певної товщини одержують оптимальні режими склеювання шпона. Слід зазначити, що поширити знайдені режими автоматично на фанеру іншої товщини не можна, тому що товщина пакета шпона приймається в якості постійного фактора і не входить у знайдені рівняння зв'язку. Змінювати товщину пакета шпона можна або за рахунок зміни кількості аркушів у пакеті, або за рахунок зміни товщини шпона. При цьому при зміні кількості шарів у пакеті змінюється ступінь анізотропії матеріалу, що істотно позначається на його міцності. Варіювання товщиною пакета за рахунок зміни товщини шпона так само веде до зміни міцності одержуваної фанери.

Отже, якщо прийняти товщину пакета шпона як постійний фактор, можна виявити умови, які забезпечують одержання фанери максимальної міцності.

Важливим фактором під час розв'язку даної задачі є також тривалість часу склеювання.

В опрацьованих роботах було отримано рівняння міцності фанери в загальному виді, що відбиває вплив технологічних факторів на міцність [1, 2]:

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\gamma_P} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{\gamma_v} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\gamma_T} \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^{\gamma_Q} \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^{\gamma_\tau} \left(\frac{K}{K_0} \right)^{\gamma_K} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\gamma_\rho} \left(\frac{\delta l}{\delta l_0} \right)^{\gamma_{\delta l}} \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\gamma_D} \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^{\gamma_\delta} \quad (1)$$

де P – тиск пресування;

T – температура плит преса;

τ – час пресування фанери;

v – кінематична в'язкість смоли;

Q – витрата смоли на 1 м² поверхні аркуша шпона;

δ – товщина фанери;

K – умовний коефіцієнт якості шпона;

ρ – щільність фанери;

δl – глибина просочення смолою шпона;

D – коефіцієнт проникності шпона.

Припустимо, що функція міцності фанери τ є функцією незалежних технологічних факторів:

$$\sigma = \sigma_0(P, T, \tau, v, Q, \delta, K), \quad (2)$$

то інші фактори в рівнянні (1) є залежними від зазначених в (2).

Значення кожного технологічного фактора визначені на деякій скінченній області їхньої зміни, а їхня сукупність визначає область визначення функції σ .

Область обмеження зазначених факторів можна задати у вигляді:

$$\begin{aligned} P_{\min} &\leq P \leq P_{\max} \\ \tau_{\min} &\leq \tau \leq \tau_{\max} \\ Q_{\min} &\leq Q \leq Q_{\max} \\ T_{\min} &\leq T \leq T_{\max} \\ v_{\min} &\leq v \leq v_{\max} \\ \delta_{\min} &\leq \delta \leq \delta_{\max} \\ K_{\min} &\leq K \leq K_{\max} \end{aligned} \quad (3)$$

Варто відзначити, що між факторами існують і більш складні заздалегідь невідомі нелінійні залежності:

$$\begin{aligned} P &\geq f_1(K, Q, v); v \geq f_2(T, \tau); \\ Q &\geq f_3(K, P) \end{aligned} \quad \text{і т.д.} \quad (4)$$

Сукупність лінійних факторів (3) і нелінійних залежностей (4) являє собою результуючу область зміни факторів Ω .

Таким чином, задача визначення максимальної міцності фанери на області Ω зводиться до досить загальної задачі математичного програмування, для рішення якої необхідно, щоб була відома функція $\sigma_0(P, T, \dots, K)$ і область Ω , яка найчастіше невідома.

Отже, знаходження залежності міцності від технологічних факторів на області Ω є досить складною математичною задачею.

Питання визначення часу склеювання шпона залежно від ряду технологічних факторів розглянуті у низці робіт [1; 2; 3; 4]. Слід зазначити, що в цей час теоретично вирішене тільки завдання визначення часу нагрівання пакета, який склеюється, до бажаної температури в будь-якій точці його поперечного перерізу. Зокрема, Кирилов Н.М. виділяє три способи визначення часу склеювання пакета шпона: експериментальний, заснований на проведенні декількох пробних запресувань при різному часі склеюван-

ня з наступним визначенням міцності склеювання; розрахунково-графічний, заснований на використанні кривої прогріву пакета даної товщини $t=f_1(\tau)$ і кривої затвердіння клею даної марки $t=f_2(\tau)$; визначення часу склеювання за допомогою спеціального приладу [3].

Достатньо широке поширення одержав також графоаналітичний метод Ковальчука Л.М., в основі якого лежить формула [5]:

$$\tau = 39 \cdot 10^{-4} \frac{\delta^2}{\alpha} \lg \left(1.273 \frac{T_{II} - T_0}{T_{II} - T_K} \cos \frac{\pi x}{\delta} \right), \quad (5)$$

де T_{II} – температура плит преса;

T_0 – початкова температура пакета;

T_K – кінцева температура нагрівання даної точки пакета;

α – коефіцієнт теплопровідності пакета шпона;

x – відстань від площини симетрії пакета до крапок, у яких визначають температуру під час прогріву;

δ – товщина пакета шпона.

Під час розрахунку по формулі (5) основні труднощі полягають у визначенні оптимальної кінцевої різниці температур $\Delta T = T_{II} - T_K$, що визначається дослідним шляхом і тільки для деяких видів смол.

Заслуговує на увагу спосіб, запропонований Кириловим Н.М., відповідно до якого [3]:

$$\tau = \frac{\delta^2}{\lambda \pi^2} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{3.66}{f(T_{II} - T_K) \cdot \sin \frac{\pi x l}{\delta}}} \right], \quad (6)$$

де xl – відстань до найбільш віддаленого від джерела тепла клейового прошарку;

f – коефіцієнт затвердіння смоли.

Однак для розрахунків по формулі (6) необхідні додаткові дані щодо встановлення залежності величини f від відносної дальності клейового шару від джерела тепла, причому кожна смола має свій коефіцієнт f .

Структура наведених формул (5) і (6) показує, що вони враховують вплив технологічних факторів, що характеризують процес із погляду його інтенсифікації.

Тому користуватись формулами (5) і (6) для вирішення задачі (2), що складається в знаходженні:

$$\sigma_{\max} = \max(P, T, Q, \tau, v, H), P, T, \dots, K \in \Omega \quad (7)$$

не можна, тому що вони потребують додаткових відомостей про процес і властивості смоли, яка використовується. Отже, становить певний інтерес знайти спосіб, що дозволяє одержати досить надійні результати і, у той же час, дає можливість визначити τ залежно від товщини пакета шпона.

Визначення оптимального часу склеювання фанери

У роботах Кирилова Н.М. та Ковальчука Л.М. отримано загальне рівняння процесу склеювання фанери на основі методу аналізу розмірностей [3,5]:

$$\Pi_1 = C_0 \Pi_2^{x_2} \Pi_3^{x_3} \Pi_4^{x_4} \Pi_5^{x_5} \Pi_6^{x_6} \Pi_7^{x_7} \Pi_8^{x_8} \Pi_9^{x_9} \Pi_{10}^{x_{10}} \Pi_{11}^{x_{11}} \quad (8)$$

або:

$$\Pi_1 = C_0 \left(\frac{\alpha \tau}{\delta^2} \right)^{x_2} \left(\frac{Q}{\rho \delta l} \right)^{x_3} \left(\frac{\rho \tau^2}{Q \delta \delta} \right)^{x_4} \left(\frac{c \tau l}{P} \right)^{x_5} \left(\frac{\delta l}{V} \right)^{x_6} \left(\frac{P}{\tau} \right)^{x_7} \left(\frac{\delta l}{\delta} \right)^{x_8} \left(\frac{\rho \theta}{\rho l} \right)^{x_9} \left(\frac{V l}{V} \right)^{x_{10}} \left(\frac{V}{\alpha} \right)^{x_{11}}. \quad (9)$$

Зі співвідношення (1) видно, що аналіз міцності фанери можна робити як по кожному фактору окремо, так і при зміні їхнього будь-якого числа. При постійних значеннях усіх факторів, крім τ і δ , одержуємо:

$$\sigma = A\tau^{\gamma_{\tau}}\delta^{\gamma_{\delta}}, \quad (10)$$

звідки

$$\tau = c\delta \frac{\gamma_{\delta}}{\gamma_{\tau}}, \quad (11)$$

де A і c – деякі константи.

Для знаходження показників γ_{τ} і γ_{δ} необхідно скласти систему рівнянь.

Логарифмуючи рівняння (10), і беручи його для двох станів, одержуємо:

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_0} = \gamma_{\tau} \lg \frac{\tau}{\tau_0} + \gamma_{\delta} \lg \frac{\delta}{\delta_0} \quad (12)$$

Змінюючи в (12) кожен параметр окремо, одержуємо шукану систему рівнянь:

$$\lambda_{\tau} = \frac{\lg \frac{\delta}{\delta_0}}{\lg \frac{\tau}{\tau_0}}; \lambda_{\delta} = \frac{\lg \frac{\sigma}{\sigma_0}}{\lg \frac{\delta}{\delta_0}} \quad (13)$$

За нульовий рівень комбінації факторів приймемо експериментальні значення, отримані під час оптимізації процесу.

На підставі теореми Кирпичева-Гухмана подібні ті явища або системи, які описуються однаковими рівняннями зв'язку й умови однозначності яких подібні.

Подібність умов однозначності забезпечується рівністю визначальних критеріїв у випадку, якщо явища або процеси якісно однакові.

Дотримання цих двох вимог для даних явищ дозволяє по характеристиках одного процесу робити висновок про інше і, крім того, переносити основні параметри пресування, отримані для однієї товщини пакету шпону, на іншу товщину. Оскільки процеси склеювання фанери різної товщини якісно однакові і описуються одним рівнянням зв'язку (9), і умови однозначності їх подібні, то мають бути рівні і визначальні критерії. Виходячи з фізичних міркувань, а також аналізу загального рівняння процесу (9), перемножимо найбільш істотні критерії даного завдання Π_2 , Π_4 , Π_{11} – визначальний критерій теплообміну Фур'є, тобто час, необхідний для перебудови температурного поля усередині тіла.

Π_4 – технологічний критерій, що характеризує міру відносної ефективності між силами тиску фронту смоли в умовах нестационарного процесу.

Π_{11} – визначальний критерій Прандля:

$$\Pi_K = \Pi_2 \cdot \Pi_4 \cdot \Pi_{11} = \frac{\alpha \cdot \tau}{\delta^2} \cdot \frac{P \cdot \tau^2}{Q \cdot \delta_1} \cdot \frac{\nu}{\alpha} = \frac{P \cdot \tau^3 \cdot \nu}{Q \cdot \delta^2 \cdot \delta_1}, \quad (14)$$

звідси

$$\tau = \sqrt[3]{\Pi_K \cdot Q \cdot \delta^2 \cdot \delta_1 / P \cdot \nu}, \quad (15)$$

або за умови збереження значень чинників постійними

$$\tau = \sqrt[3]{M \cdot \delta^2},$$

де M – є складною фізичною величиною, що враховує властивості смоли, породи деревини, знаходиться із співвідношення τ^2/δ^2 . При цьому тривалість склеювання визначається експериментальним шляхом для однієї товщини фанери з використанням методів багатфакторного планування експерименту.

Результати розрахунків по формулі (14) наведені в табл. 1 для $M=1038,8 \cdot 10^9$.

Таблиця 1

Сума товщини шпону в $\delta \cdot 10^9$ пакеті, м

Сума товщини шпону, мм	9	10	11	12	13	14	15
Час склеювання, с	438	470	501	531	560	589	616

У таблиці 2 для порівняння приведені нормативи часу склеювання фанери, що діють, з деревини хвойних порід [5]:

Таблиця 2

Сума товщини шпону в $\delta \cdot 10^9$ пакеті, м

Сума товщини шпону, мм	9	10	11	12	13	14	15
Час склеювання, с	480	498	522	552	576	606	630

Порівняння цих даних показує, що розрахункові значення по формулі (14) для відповідної товщини в цілому менше, ніж нормативні.

Це пов'язано з тим, що використовуючи умову (7), час знаходився в позиції забезпечення максимальної міцності склеюваного матеріалу.

Невиправдане зменшення тривалості склеювання веде до міри затвердіння смоли, а внаслідок цього, до зниження міцностних характеристик склеюваного матеріалу. Тому критерієм для оцінки отриманих режимів повинна служити міцність матеріалу. Отже, діючі режими склеювання шпону мають деякі резерви часу.

Висновки

1. Використання рівняння міцності (1) дозволило вирішити завдання визначення часу склеювання шпону при забезпеченні:

$$\sigma_{max} = (P, T, \tau, v, Q, \delta, K)$$

2. Вживання теорем подібності дозволило:

- отримати просту по структурі формулу для визначення часу склеювання шпону;
- обґрунтувати можливість поширення отриманих оптимальних режимів склеювання пакета шпону для однієї товщини фанери на інші її товщини.

3. Результати досліджень дозволяють стверджувати, що діючі нормативи часу склеювання фанери можуть бути зменшені в межах $0 \leq \tau \leq 60$ с залежно від товщини пакета шпону.

Список використаних джерел

1. Кириллов Ю.В. Конструкционная фанера / Кириллов Ю.В. – М.: Наука, 1991. – 196с.
2. Справочник фанерщика / под ред. И. А. Шейдина. – М., 1986. – 638с.
3. Кириллов Н.М. Расчет процессов тепловой обработки древесины при интенсивном теплообмене / Кириллов Н.М. – М.-Я., 1959. – 564с.
4. Севастьянов К.Ф. Интенсификация процесса склеивания фанеры / Севастьянов К.Ф. – М., 1976. – 432с.
5. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций / Ковальчук Л.М. – М.: Наука, 1999. – 461с.