

Комп'ютерне моделювання процесів деформації в полівінілових ацетатних липких з'єднаннях деревини

Б. Кшивецький, проф., С. Коширець, проф.

Український Національний Університет лісового Господарства, 11 -й Zaliznyak., Львів 79057, Україна

Abstract. The article describes the results of computer simulation of deformation processes in thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wood joints when exposed to varying temperature.

Key words: strength, durability, simulation, deformation processes, adhesive, wood, ambient temperature and humidity, adhesive joint, prediction, water resistance, heat resistance

Актуальність. Міцність і довговічність клейових з'єднань з деревини взаємозалежні один від одного показники, які визначатимуть якість і надійність будь-якого виробу. На їх числове значення впливатиме багато факторів, серед яких фізико-механічна характеристика клеїв і матеріалів, що склеюються, технологічні параметри процесу склеювання, фізичні навантаження, умови експлуатації, тощо.

Під час експлуатації на клейові з'єднання з деревини значний вплив матиме температура та вологість навколишнього середовища. Їх циклічна дія призводить до зміни пружно-деформаційного стану як деревини так і клейової плівки, що в кінцевому результаті визначатиме міцність і довговічність будь-якого виробу де є склеювання. Тому важливо знати, розуміти і прогнозувати деформаційні процеси, які будуть проходити у клейових з'єднаннях деревини під час експлуатації.

Великий інтерес на сьогоднішній день є до з'єднань деревини на основі термопластичних полівінілацетатних клеїв. Такі клеї мають хороші адгезійні властивості до деревини і деревинних матеріалів, формують еластичне клейове з'єднання із ступенем навантаження D3 і D4 відповідно до європейського стандарту EN 204 та є екологічно безпечними. Відсоток використання таких клеїв при виготовленні виробів з деревини з кожним роком збільшується і на сьогоднішній день становить близько 25%.

Деформаційні процеси у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини під час циклічної дії температури та вологості навколишнього середовища відрізнятимуться від деформаційних процесів, які будуть проходити у термореактивних клейових з'єднаннях деревини. Це пов'язано з механізмами формування таких клейових з'єднань. Тому вивчення та дослідження деформаційних процесів у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини мають велике як практичне так і наукове значення. Моделювання даних процесів є складною задачею, вирішення якої повинно базуватись як на експериментальних так і на теоретичних дослідженнях. Кінцевим метою моделювання деформаційних процесів є побудова математичної моделі прогнозування міцності та довговічності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини під час експлуатації.

Задачами досліджень були: Здійснити комп'ютерне моделювання деформаційних процесів у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини за циклічної дії температури навколишнього середовища.

Результати досліджень. На основі експериментальних досліджень вивчено вплив циклічної дії вологи та температури навколишнього середовища на міцність і довговічність термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини під час експлуатації [1,2,3].

Для теоретичних досліджень пружно-деформаційного стану – клейове з'єднання необхідно розглядати як конструкцію, що складається з деревини та клейової плівки. Термопластичні клейові з'єднання деревини, на відміну від термореактивних, завдяки еластичності клейового шва, можуть до певного моменту релаксувати пружно-деформаційний стан. Релаксаційні обмеження зумовлені фізико-механічними властивостями термопластичної клейової плівки

У клейовому з'єднанні з деревини значна об'ємна частка за масою припадає саме на деревину. Тому вологість і температура навколишнього середовища значно більше впливатиме на деревину, ніж на клейове з'єднання.

Теорій, які б достовірно описували процеси, що проходять під час взаємодії капілярно-пористих тіл з водою немає. Теорія сушіння, яка базується на законах Фіка, малоприматна для опису переносу зв'язаної вологи. До зв'язаної вологи в капілярно-пористих тілах непридатні закони капілярних явищ гідростатики і гідродинаміки. Більшість теорій взаємодії води з деревиною є феноменологічні, що не дозволяють глибоко зрозуміти суть і механізм процесів

Частково вплив вологості на деревину можна описати за допомогою феноменологічних методик або реологічних моделей, які на сьогодні використовуються. Пружно-деформаційні процеси для деревини можна описати за допомогою теплофізичних явищ, які відбуватимуться під час її сушіння.

Разом з тим, під час сушіння, з підвищенням температури, видаляється лише вільна вологість з деревини. Водночас, під час експлуатації у клейових з'єднань деревини буде проходити як видалення вологості, так і її поглинання. Тому деформаційні процеси у клейових з'єднаннях деревини під час експлуатації будуть залежати від середньозваженої добової, тижневої або місячної вологості і температури навколишнього середовища. Дана проблема була досліджена за допомогою математичного моделювання, а саме рішенням нестационарних задач вологопоглинання. [4,5].

Деформаційні та релаксаційні процеси у полівінілацетатній структурованій і неструктурованій клейовій плівці досліджували за циклічної дії вологості і

температури шляхом вимірювання релаксації напруження за постійної деформації одноосного розтягнення і кімнатної температури. З цією метою записували релаксаційні криві, з яких за рівнянням Кольрауша розраховували параметри релаксаційної поведінки:

$$\sigma(t) = \sigma_{\infty} + \sigma_0^{-}(t/\tau)^k = \varepsilon E_{\infty} + \varepsilon E_0^{-}(t/\tau)^k \quad (1)$$

де $\sigma(t)$ – напруження в момент часу t ; σ_{∞} (або E_{∞}) – рівноважна частина напруження (модуля пружності); σ_0 (або E_0) – частина напруження (модуля пружності), що релаксує; τ – час релаксації; ε – відносне подовження; k – константа матеріалу.

Для структурованої і неструктурованої термопластичної полівінілацетатної клейової плівки розраховано модуль Юнга E , роботу руйнування A , час релаксації T_p , рівноважну частину напружень σ_{pn} та частину напружень, що релаксується σ_p . [6,7].

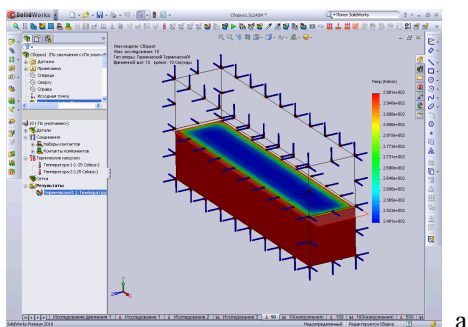
Деформаційні процеси, що відбуватимуться у термопластичному клейовому з'єднанні деревини під час дії температури модельовано за допомогою тепломасоперенесення однорідної системи.

На основі математичних розрахунків вологоперенесення, теплоперенесення та напружень, з використанням програмного забезпечення інтегральних CAD/CAE систем здійснено комп'ютерне імітаційне моделювання деформаційного стану у термопластичних клейових з'єднаннях деревини.

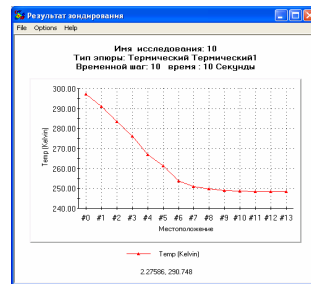
Зміну температури та напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини визначали на границі розподілу деревина-клей, на відстані 0,5 мм від клейового шва по деревині та по середині клейового шва. Такі площини вибрані на основі аналізу фізико-хімічних та фізико-механічних процесів, оскільки вони визначатимуть пружно-деформаційний стан клейового з'єднання.

Результати імітаційного моделювання розподілу температури та напружень у середині термопластичних клейових з'єднань деревини можна розрахувати для будь-якої тривалості дії температури на клейове з'єднання.

Для прикладу, на рис. 1-3 наведено розподіл температури і напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини за дії температури протягом 10 с у різних площинах, а саме: на границі деревина-клей; на відстані 0,5 мм від клейового шару, по середині клейового шару.

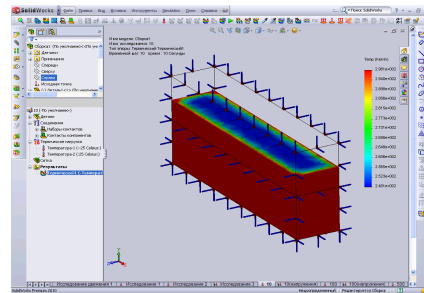


а

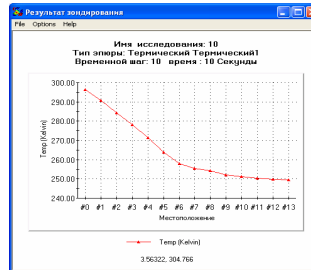


б

Рис. 1. Розподіл температури у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на границі деревина-клей за нагрівання протягом 10 с. а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

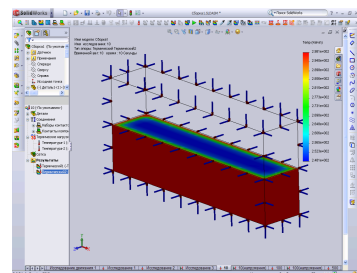


а

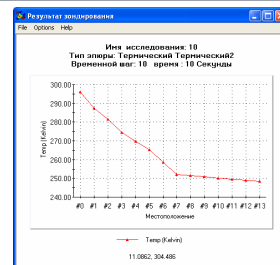


б

Рис. 2. Розподіл температури у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на відстані 0,5 мм від клейового шару за нагрівання протягом 10 с. а) у клейовому з'єднанні; б) графічний



а



б

Рис. 3. Розподіл температури у термопластичних клейових з'єднаннях деревини по середині клейового шару за нагрівання протягом 10 с а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

Як видно з наведених графіків, нетривала дія температур на клейове з'єднання деревини призводить до незначної зміни температури як в деревині,

так і в клейовому шві. Різниця між температурою в трьох площинах клейового з'єднання становить 48 К.

На рис. 4-6 наведено розподіл напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини в трьох площинах за 10-секундного нагрівання.

Як видно з рис. 4 та 6, напруження у середині клейового з'єднання на границі деревина-клей змінюється від 42000 до 190000 Н/м² залежно від їх місця їх знаходження у геометричному розмірі зразка. Найменше напруження у площині деревина-клей буде на зовні зразка як впоперек, так і вздовж волокон.

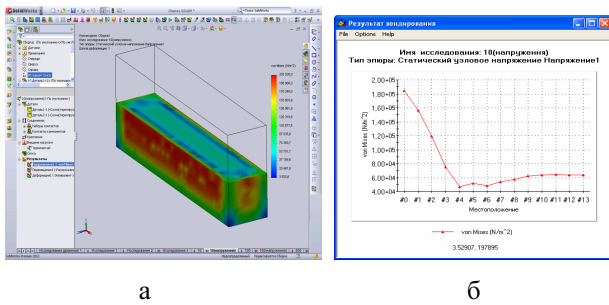


Рис. 4. Розподіл напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на границі деревина-клей за нагрівання протягом 10 с. а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

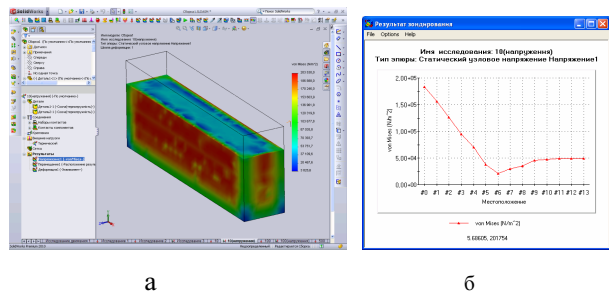


Рис. 5. Розподіл напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на відстані 0,5 мм від клейового шару за нагрівання на протягом 10 с. а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

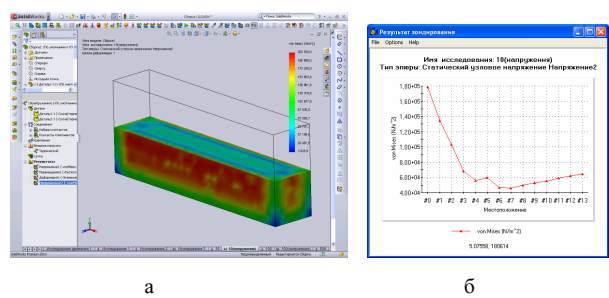


Рис. 6. Розподіл напружень у клейових з'єднаннях деревини у середині клейового шару за нагрівання протягом 10 с. а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

Напруження на відстані 0,5 мм від клейового шва (рис. 5) змінюється від 25000 до 180000 Н/м² залежно від їх місця знаходження у зразку. Найменше напруження буде назовні як впоперек, так і вздовж волокон.

Напруження у середині клейового з'єднання по середині клейового шва (рис. 6) змінюється від 42000 до 180000 Н/м² залежно від їх місця знаходження у зразку. Найменше напруження буде також назовні, як впоперек, так і вздовж волокон.

Більш тривале нагрівання клейового з'єднання деревини призводить до більш значної зміни температури як деревини, так і клею. В основному, різниця між температурою в середині зразка як у деревині, так і клею не перевищує 0,01 К і змінюється по периметру зразка від 298,14 до 298,15 К. Аналогічна зміна температури у середині зразка відбувається у трьох площинах клейового з'єднання.

Деформаційний стан термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднання деревини в разі тривалого нагрівання (більше 1000 с) буде змінюватись практично однаково незалежно від площини, що досліджується, і становитиме від 30000 до 140000 Н/м².

Висновок. Підсумовуючи, можна зазначити, що із збільшенням тривалості нагрівання термопластичних клейових з'єднань деревини збільшується зона нагрівання як деревини, так і клею. Разом з тим, змінюються і напруження, які виникають із висиханням деревини та пластичністю клейового шва.

[1]. Кшивецький Б. Я. Дослідження довговічності з'єднань шпилькових порід деревини клеями на основі ПВА / Б. Я. Кшивецький, О. П. Гупало, С. В. Кондратюк // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук-техн. праць. Львів: РВЦ УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.4. – С. 91-95.

[2]. Кшивецький Б. Я. Дослідження довговічності з'єднань твердолистяних порід деревини клеями на основі полівінілацетату / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук-техн. праць. Львів: РВЦ УкрДЛТУ України. – 2004. – Вип. 14.7. – С. 99-103.

[3]. Кшивецький Б. Я. Дослідження міцності з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетату за дії природних факторів / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.3. – С. 110-112.

[4]. Kshyvetskyu V. Ya. Modeling of the influence of atmospheric moisture cyclic action on the durability of thermoplastic adhesive wood joint / V. Ya. Kshyvetskyu // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2011. – Вип. 37.2. – С. 75-80.

[5]. Кшивецький Б. Я. Моделювання напружень у термопластичних клейових з'єднань деревини / Б. Я. Кшивецький, М. Г. Чаусов // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2012. – Вип. 38. – С. 65-69.

[6]. Kshyvetskyu V. Ya. Research on physical and mechanical properties of polyvinyl acetate-based (PVA) adhesive composition / V. Ya. Kshyvetskyu // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010. – Вип. 36. – С. 95-99.

[7]. Кшивецький Б. Я. Дослідження релаксаційних властивостей клейової плівки на основі полівінілацетату залежно від кількості циклів волого-температурних навантажень / Б. Я. Кшивецький // Вісник НУ «Львівська політехніка». «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – 2007. – С. 60-64.