

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ДИЗАЙНУ
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до диплому/роботи магістра

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ
ФАКТОРІВ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЕКОЛОГІЧНО-
БЕЗПЕЧНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ.»

Виконав: студент II курсу, групи ТВД-62м
Спеціальності 187 «Деревообробні та
меблеві технології»

Соловей А.Р. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник

проф. Кшивецький Б.Я. _____
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Львів 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 187 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД

проф. Кшивецький Б. Я. _____

“ _____ ” _____ 2024року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Соловей Андрій Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження впливу природніх факторів на адгезійну міцність екологічно-безпечних клейових з'єднань.»

керівник роботи Кшивецький Богдан Ярославович, доктор техн. наук, професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ _____ ” _____ 2023року №..._____.

2. Строк подання студентом роботи _____ до 10 січня 2024

3. Вихідні дані до роботи Вихідними даними для роботи є Вихідними даними для роботи є деревина, клеї та з'єднання на їх основі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний огляд.

2. Методика досліджень.

3. Теоретичний розділ.

3. Результати досліджень.

4. Розділ з охорони праці.

5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Соколовський І.А.		

7. Дата видачі завдання _____ 16 червня 2023 року
Керівник проекту _____ проф. Кшивецький Б.Я.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	до 01.10.23	
2.	Методика досліджень	до 15.10.23	
3.	Теоретичний розділ.	до 01.11.23	
4.	Результати досліджень.	до 20.11.23	
5.	Розділ з охорони праці.	до 15.12.23	
	Висновки.	до 01.01.24	
	Оформлення роботи	до 15.01.24	

Студент _____ Соловей А.Р.

Керівник проекту _____ проф. Кшивецький Б.Я.

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота: пояснювальна записка: 61 стор., 28 рисунки, 1 таблиць, 21 джерел. В даній роботі досліджено вплив природніх факторів на адгезійну міцність екологічно-безпечних клейових з'єднань. Ключові слова: клеї, клейові з'єднання, деревина, склеювання, полівінілацетатні клеї, природні фактори.

ABSTRACT

Master's thesis: explanatory note: 61 pages, 28 figures, 1 tables, 21 sources. In this work, the influence of natural factors on the adhesive strength of environmentally friendly adhesive joints is investigated.

Key words: adhesives, adhesive joints, wood, bonding, polyvinyl acetate adhesives, natural factors.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Дослідити вплив природніх факторів на адгезійну міцність екологічно-безпечних клейових з'єднань. Для цього необхідно:

➤ Проаналізувати клеї для склеювання, властивості деревини, режимні параметри склеювання та вплив природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час її експлуатації.

➤ Теоретично описати вплив вологості, температури та сонячного опромінення на зміну міцності клейових з'єднань деревини склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями.

➤ Описати методику проведення експериментальних досліджень клейових з'єднань деревини у природніх і лабораторних умовах та послідовність статистичної обробки результатів отриманих експериментальних досліджень.

➤ Проаналізувати результати експериментальних досліджень щодо впливу вологості і температури навколишнього середовища на зміну міцності клейових з'єднань деревини склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями.

➤ Зробити висновки по проведеній роботі.

Зміст

Вступ.....	6
1. Аналіз літературних джерел.....	8
1.1. Загальні відомості про клеї для склеювання деревини.....	8
1.2. Вимоги до деревини при формуванні клейового з'єднання.....	11
1.3. Вплив природніх факторів на адгезійну міцність.....	14
1.4. Висновки по розділу і завдання роботи.....	17
2. Теоретичний розділ.....	20
2.1. Основи формування та руйнування клейових з'єднань деревини..	20
2.2. Вплив природніх факторів на зміну міцності полівінілацетатних клеювих з'єднань деревини	25
2.3. Висновки з розділу.....	28
3. Методика досліджень.....	29
3.1. Методика вибору клейових матеріалів.....	29
3.2 Методика проведення тривалих досліджень.....	30
3.4 Методика обробки результатів досліджень.....	32
4. Експериментальні дослідження.....	36
4.1. Результати досліджень міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни.....	36
4.2 Механізм руйнування клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями.....	42
4.3 Висновки з розділу.....	44
5. Охорона праці.....	46
5.1. Екологічна безпечність полівінілацетатних клеїв та з'єднань на їх основі	46
5.2. Протипожежні заходи безпеки при використанні ПВА клеїв.....	49
5.3. Робота з полівінілацетатними клеям у лабораторних умовах	51
Висновки по роботі	53
Список використаної літератури	55

Вступ

Склеювання є тим з'єднанням деревини, яке широко використовується при виготовленні різних конструкцій, включаючи і деревинні. Клейові з'єднання забезпечують деревинним конструкціям переваги у порівнянні з іншими з'єднаннями. Це відбувається за рахунок рівномірного розподілу деформацій і напружень під час експлуатації, можливістю отримати міцні з'єднання, тощо. Окрім того, клейові з'єднання деревини зменшують витрати матеріалів та дозволяють формувати конструкції різних форм. Тому склеювання деревини є перспективним, оскільки такі процеси відповідають експлуатаційним характеристикам виробів, а сам процес їх виготовлення можна автоматизувати.

Для склеювання деревини, на сьогоднішній день, використовують синтетичні клеї, які забезпечують клейовим з'єднанням належні експлуатаційні властивості, такі як водостійкість, вологостійкість, теплостійкість та біологічна стійкість. Забезпечуються дані властивості клейовим з'єднанням за рахунок основи з якої складаються клейові матеріали. Поєднати в одній клейовій композиції властивості, які забезпечували б одночасно технологічні, експлуатаційні, економічні та екологічні вимоги клейовим з'єднання - практично неможливо. Тобто, універсальних клеїв для склеювання деревини не має. Тому, для склеювання деревини, необхідно вибирати такі клеї, які максимально могли б забезпечити зазначені вище вимоги для виробів.

Під час експлуатації виробів на клейові деревинні конструкції впливає велика кількість природніх факторів, починаючи від зміни вологості та температури, до фізичних навантажень та дії різного роду хімічних речовин. Важливе значення для клейових деревинних конструкцій під час експлуатації відіграє дія зовнішніх факторів, таких як вологість, температура, сонячне опромінення, дія кисню, озону, тощо. Синтетичні клеї забезпечують клейовим з'єднання належну водостійкість, вогнестійкість, біологічну та хімічну стійкості. Разом з тим, синтетичні клеї повинні забезпечувати

деревинним конструкціям еластичність клейового шва та певний клас екологічної безпеки. Такі властивості у деревообробній промисловості можуть надати водоемульсійні термопластичні клеї. До таких клеїв відносяться клеї на основі полівінілацетатної дисперсії.

Полівінілацетатні клеї широко використовують деревообробній галузі та у будівництві. У деревообробці для склеювання масивної деревини, а у будівництві для виготовлення будівельних конструкцій, кріплення оздоблювальних матеріалів, тощо. Широке застосування полівінілацетатних клеїв відбувається через належні експлуатаційні властивості, а саме: адгезію до матеріалів, середньою водо- та вологостійкістю, морозостійкістю, атмосферостійкістю, просту формуванням клейового шва, безпечість для організму людини та відсутність токсичних випаровувань під час експлуатації виробів.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Загальні відомості про клеї для склеювання деревини

Клеї це адгезиви, які здатні склеювати різні матеріали, включаючи і деревину. Це відбувається за рахунок прилипання клейових матеріалів до деревини та утворення між ними адгезійних та когезійних в'язків.

До двадцятого століття для склеювання деревини використовували клеї природнього походження, які забезпечували надійні адгезійні властивості для деревини та були екологічно безпечними, оскільки основа таких клеїв була природнього походження. У той час використання синтетичних клеїв було незначним. Більшість таких клеїв природнього походження не забезпечували належної атмосферо стійкості, водостійкості, вологостійкості та теплостійкості. Серед основних недоліків таких клеїв було те, що вони формують біологічно нестійкі клейові з'єднання. Враховуючи недоліки клеїв природнього походження, необхідно було шукати інші клейові матеріали, які забезпечували б вимоги для формування клейового з'єднання з деревини. Тому, появились синтетичні клеї, які на початковому етапі розроблялись для виготовлення фанери, а потім широко використовувались для склеювання масивної деревини. Серед перших клеїв синтетичного походження були фенол-формальдегідні клеї. Винайшов їх Бекеленд у 1907 році. Такими клеями можна було склеювати різні породи деревину та матеріали на її основі. Після винаходу цих клеїв появилася великий асортимент і інших синтетичних клеїв, таких як: фенол-формальдегідні карбамідо-формальдегідні, карбінольні, та інші.

Саме даний період вважають початком виробництва різного роду синтетичних клеїв, асортимент яких на сьогодні становить більше трьох тисяч найменувань. Враховуючи такий великий асортимент, з часом, клеї почали класифікувати за певними ознаками, а саме: за видом вихідного матеріалу, за фізичним станом, за ступенем розчинності, за характером твердіння, за ступенем придатності, за в'язкістю, за відношенням до

нагрівання, тощо. У виробничих умовах всі клеї в основному класифікують за відношенням до нагрівання, а саме на термореактивні та термопластичні.

Термореактивні це клеї, які після формування клейового з'єднання утворюють сітчасту будову. Така структура клейового шва забезпечує клейовим з'єднанням водостійкість, вологостійкість, морозостійкість і теплостійкість. До термореактивних клеїв відносять формальдегідні, епоксидні, поліефірні та інші клеї. Процес формування клейового з'єднання для таких клеїв відбувається за рахунок затвердіння вихідного полімеру. Такі клеї бувають одно- і багатокomпонентними. Багатокomпонентні клеї можуть складатися з полімеру і затверджувача.

Переваги термореактивних клеїв у високій адгезії до деревини. Окрім того, з'єднання на їх основі мають високу теплостійкість та водостійкість. Також конструкції таких клейових з'єднання можуть нести різного роду фізичні навантаження. До недоліків формальдегідних клеїв відносять крихкість клейового шва та токсичність, як клею так і клейових конструкцій на їх основі. Фото термореактивних клеїв наведено на рис. 1.1.



Рис. 1.1 Термореактивні клеї

Термопластичні клеї мають також хорошу адгезію до деревини, мають підвищену водостійкість та температуростійкість, окрім того формують еластичний клейовий шар та є екологічно безпечними. В основному такі клеї є вододисперсійними, тобто розчинені у воді.

Основою термопластичних полівінілацетатних клеїв є полівінілацетат, який являє собою полімер з високою молекулярною масою. На вигляд це

гранули світлого кольору, які зберігаються у поліетиленовій фасованій тарі. Додатковим компонентом є полівініловий спирт. Це також гранули білого кольору, які при підвищеній температурі добре розчиняються у воді. Окрім того, до складу клейової композиції можуть входити і інші компоненти, які забезпечують якість склеювання та надають клейовим з'єднанням відповідних властивостей. Дані компоненти можуть утворювати різного роду молекулярні та міжмолекулярні зв'язки, як між собою так і деревиною. Це відбувається за рахунок груп -ОН, як є присутні у цих двох компонентах.

Фото термопластичних клеїв наведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2 Термопластичні клеї

Цей клей є найбільш перспективним із термопластичних клеїв і широко використовуються для склеювання деревини. Даний клей був винайдений у 1915р., а промислово почав виготовлятися з 1944 р. у США, пізніше у Німеччині, а потім і в інших країнах світу. Даний клей має високу адгезією до деревини і не є токсичними. Дані клеї формують безколірний клейовий шов та мають тривалий термін зберігання. [1].

До основних недоліками полівінілацетатних клеїв відносять невисоку теплостійкість та повзучість клейового шва за дії підвищених температур.

Склеювання деревини відбувається через випаровування води та проникнення клею у матеріал. На міцність клейового з'єднання таких клеїв впливає ступінь пластифікації і температура склеювання. Температура при склеюванні повинна бути не нижчою за +20 °С. Склеювання при нижчих температурах погіршує міцність клейового з'єднання, хоча що дані клеї витримують

температури нижче нуля до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Марки полівінілацетатних клейових композицій: Д50Н, Д50С і Д50В, ДФ49/2,5Н, ДФ48/5С, ДФ47/7С, ДФ47/7В, ДФ40/20В та інші.

Серед клеїв закордонного походження є також широкий асортимент термопластичних полівінілацетатних клейових композицій на основі ПВА, які використовуються для склеювання деревини та деревних матеріалів. Серед них ряд відомих фірм („Клебхеми”, „Хенкель Дорус”, „Акзо Нобел”, „Йоват” та ін.) [2].

Широке асортимент полівінілацетатних клеїв для склеювання деревини викликано їх високою адгезією до деревини та різних деревинних матеріалів та витривалістю до нетривалого впливу води та морозостійкістю. Недоліком є низька теплостійкість. За температури $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувається повзучість, а за температури $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ знижується міцність з'єднання. Зберігають такі клеї у щільно закритій тарі.

1.2. Вимоги до деревини при формуванні клейового з'єднання

Деревина – це конструкційний матеріал природнього походження, який складається з клітин та волокон і характеризується пористістю та гідрофільністю. Окрім того, це природньо відновлювальний матеріал, який поруч із великим асортиментом конструкційних матеріалів служить на охороні навколишнього середовища, оскільки продукують кисень під час росту дерева.

Основними компонентами деревини є целюлоза, геміцелюлоза та лігнін. Процентне співвідношення цих основних компонентів буде залежати від породи деревини і впливатиме на міцність клейового з'єднання та механізм його формування. Важливим значення для деревини при її склеюванні має щільність, яка буде впливати на механізм формування та міцністю клейового з'єднання. Тому, міцність клейових з'єднань з деревини буде залежати від щільності деревини та породи. Окрім того деревина як матеріал, який піддається склеюванню має і інші недоліки, які матимуть вплив на якість клейового з'єднання. Врахувати всі фактори впливу на міцність клейового

з'єднання важко. Тому необхідно враховувати тільки ті фактори, які найбільш суттєво впливають на міцність склеювання та експлуатацію клейового з'єднання. Важливе значення на формування міцності клейового з'єднання з деревини має рання і пізня зони, які формуються на поверхні деревини під час механічної обробки. Рання зона у деревині є менш щільнішою у порівнянні із пізньою. Тому, формування клейового з'єднання буде залежати від склеєної ділянки на поверхні деревини. Якщо на склеювання буде припадати ділянка із більшим вмістом ранньої зони деревини, то витрата клею буде більша. Якщо навпаки ділянка що склеюється, буде мати більше пізньої зони деревини, то витрата клею буде меншою а міцність склеювання буде дещо вищою. Згідно літературних джерел, міцність склеювання деревини по пізній зоні буде вищою ніж по ранній [2,3].

Будова щільної деревини дуба та менш щільної сосни наведено на рис. 1.3.

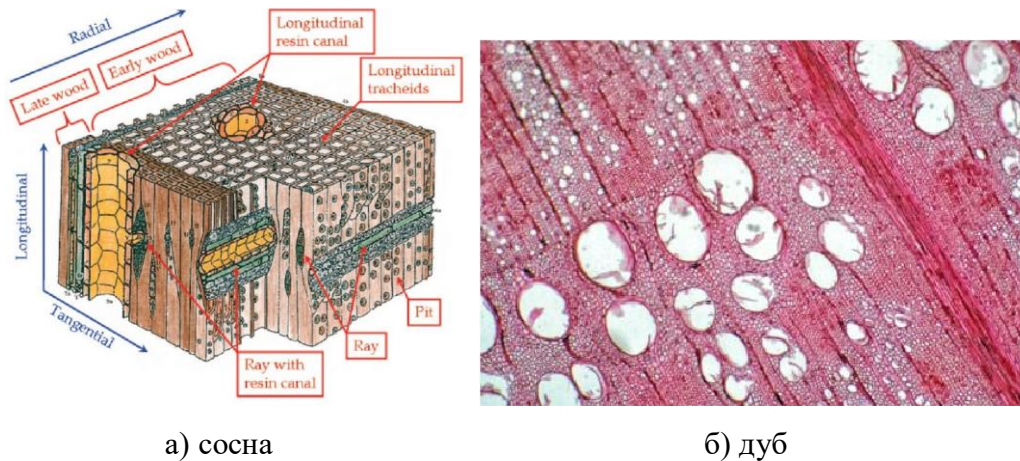


Рис. 1.3 Мікроскопічна будова деревини

Витрата клею при склеюванні деревини буде залежати від куту змочування. Клей повинен належно змочувати деревину, тобто добре розтікатися по її поверхні. Тому, в'язкість клею матиме важливе значення для формування адгезійної міцності клейового з'єднання. Занадто рідкий клей буде всмоктуватися у деревину швидко і у великій кількості, що

приводить до його перевитрати. Пористі матеріалам більш всмоктують клей, ніж щільні. Проте з практичного досвіду відомо, що товстий шар клею негативно впливатиме на внутрішні напруження та якість склеювання. Характеристика клею матиме вплив на якість з'єднання і умови експлуатації виробу. Тому, при склеювання необхідно знати основні характеристики клейових матеріалів та вимоги до з'єднань. Серед основних вимог, які ставляться до клейових з'єднань деревини є експлуатаційні та технологічні.

Щодо експлуатаційних вимог, то вони повинні забезпечувати належну адгезійну і когезійну міцність клейовим з'єднанням. Міцність клейового з'єднання деревини повинна бути рівною, або більшою за міцність деревини що склеюється. Окрім того ця міцність повинна забезпечуватися під час експлуатації клейового з'єднання у природніх умовах.

Серед природніх умов найбільший вплив матиме вода, висока вологість і температура навколишнього середовища. Разом з тим, для окремої категорії виробів, що експлуатуються у агресивних умовах, до клеїв ставитися більш жорсткі вимоги, такі як вогнестійкість та стійкість до дії хімічних речовин тощо.

Щодо технологічних вимог, то клей повинно добре наноситися на поверхні, мати певні властивості, довго зберігатися, затвердівати при певних низькій температурі, бути екологічно чистим, тощо. На сьогоднішній день не існує клеїв, які задовольняють всі виставлені до них вимоги.



Рис. 1.4 Технологічний процес склеювання деревини

Щодо технологічного процесу склеювання, то він буде характеризуватися параметрами режиму склеювання. А саме: температурою, вологістю кліматичними умовами приміщень, де буде проходити процес склеювання, якістю поверхні на яку наносять клей, температурим режимом склеювання, в'язкістю клейкого матеріалу, тиском пресування, витратою клею, тощо.

Найбільш важливими режимними параметрами склеювання є витрата клею. Витрати при склеюванні деревини буде залежати від породи деревини, температури склеювання, стану поверхні деревини, характеристики клейової композиції. Витрата клею для склеювання деревини може коливатися від 120 до 220 г/м².

Другим важливим параметром є тиск пресування, оскільки при склеювання він дозволяє рівномірно розподілити товщину клейового шару. Тиск пресування при склеюванні деревини може становити від 0,1 до 1,0 МПа, залежно від породи деревини та товщини деревини що склеюється.

Важливе значення при склеюванні має і температура склеювання, оскільки підвищена температури склеювання інтенсифікує технологічний процес склеювання. У більшості випадків склеювання деревини проходить при кімнатній температурі, тобто $20 \pm 0,5$ °С. Це дозволяє отримати якісне клейове з'єднання, але дещо тривале у часі. На рис. 1.5 наведено клейове з'єднання з деревини [6].

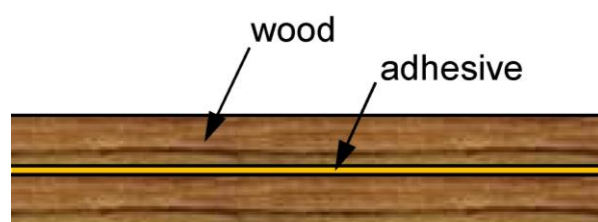


Рис. 1.5 Клейове з'єднання з деревини

1.3. Вплив природніх факторів на адгезійну міцність

Навколишнє середовище буде впливати та змінювати міцність клейових з'єднань деревини, тобто на термін експлуатації виробів. Тому, важливе

значення для клейових з'єднань деревини має збереження їх міцності при дії різного роду природніх факторів. Для цього, на першому етапі, необхідно правильно підібрати клейову композицію для склеювання та забезпечити дотримання рекомендованих режимних параметрів склеювання. Від правильно підібраних режимних параметрів склеювання та їх дотримання залежатиме початкова міцність клейового з'єднання деревини та довговічність виробів. Разом з тим, міцність клейового з'єднання під час експлуатації буде залежати і від умов експлуатації, тобто навколишнього середовища. До умов експлуатації відносять: знакозмінна дія температури, вплив атмосферної вологи і води; дія сонця, ультрафіолет тощо. Врахувати дію всіх факторів навколишнього середовища на клейові з'єднання деревини є надзвичайно складною задачею, як з технологічної точки зору, так і з пружно-деформаційних процесів і математичного та імітаційного моделювання. Разом з тим, за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення можна здійснювати імітаційне моделювання пружно-деформаційного стану під час експлуатації виробів. Тому, для вирішення даної задачі необхідно проводити додаткові експериментальні дослідження, які є тривалими у часі та трудозатратними.

Вивчення впливу природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини можна дослідити експериментальними методом у природніх умовах. Дані дослідження є тривалими у часі. Вони можуть тривати роками, доки клейове з'єднання деревини не буде зруйнуватися. Але такі дослідження дають реальну картину впливу природніх факторів на клейові з'єднання з деревини. Окрім того, отримані результати досліджень необхідно піддавати статистичній обробці та аналізувати. Разом з тим, під час проведення досліджень необхідно постійно здійснювати контроль за склеєною деревиною. Отримані результати досліджень можуть використовуватися тільки для певного регіону, тобто місцевості де проводились дані дослідження.

Тепер проаналізуємо, які саме природні фактори впливають на міцність клейового з'єднання під час експлуатації, та які фактори мають визначальний вплив на міцність та довговічність конструкції. До таких факторів відносять вологість, температури та ультрафіолет [6].



Рис. 1.6. Вплив факторів навколишнього середовища на клейове з'єднання деревини.

Вологість це той фактор, який має суттєвий вплив на зміну міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань з деревини, оскільки за рахунок будови деревини, волога може попадати у клейовий шов саме через деревину. Це відбувається із-за того, що деревина це гігроскопічний анізотропний матеріал (див. розд. 1.2), який сорбуючи вологу або воду з навколишнього середовища, змінює свої геометричні розміри, і тим самим створює внутрішні напруження між деревиною та клейовим швом. Такі напруження призводять до зміни формостійкості клейового з'єднання та до його руйнування. Тому, клеї для склеювання деревини за водостійкістю діляться на три групи, а саме клей високої водостійкості, водостійкі та неводостійкі.

Вплив води на неводостійкі клейові з'єднання призводить до їх руйнування, а на водостійкі клеї і клеї високої водостійкості до зменшення міцність клейового з'єднання.

Висока вологості повітря також впливає на клейові з'єднання. Клейове з'єднання за допомогою сорбційної здатності можуть поглинати вологу з повітря, що призводить до зміни міцності клейового з'єднання. Коливання

вологи у деревинні клейовій конструкції призводить до формування напружень і зменшення міцності.

Наступним фактором впливу є температура навколишнього середовища. Підвищена температура на клейові з'єднання деревини призводить до структурних змін як у клейовому шві так і в деревині. Особливу небезпеку підвищена температура несе на термопластичні клейові з'єднання деревини. Дія підвищеної температури на такі призводить до того, що клейовий шов стає м'яким, а клейове з'єднання повзучим. Це несе небезпеку для деревинної клейової конструкції. Окрім того на деревинні клейові конструкції склеєні такими клеями не можна давати фізичних навантажень. Особливо це стосується несучих балок, підпор тощо.

Підвищена температура неоднаково впливає клейовий шар і деревину. А саме, міцність деревини зменшується лінійно з підвищенням температури і залежить від породи деревини. А міцність клейового шва буде залежати від полімеру, з якого виготовлений клей. Полівінілацетатні клеї при температурі +60 °C і вище стають повзучими і м'якими. Тому, полівінілацетатної клеї за температури вище 70 °C зменшують міцність у клейових з'єднаннях. При понижених температурах, такі клейові з'єднання навпаки підвищують міцність клейового з'єднання.

Необхідно відзначити, що небезпечним для таких з'єднань є коливання температури. Особливо у літньо-осінній період Це призводить до термічних напружень. Критичні значення при таких напруженнях призводять до формування різного роду тріщин, де проникатиме вода із своїми негативними наслідками для клейового з'єднання.

Сонячне опромінення призводить до старіння клейового з'єднання та його деструкції, тобто до зменшення еластичності та підвищення крихкості клейового з'єднання.

Підсумовуючи можна відзначити, що на початкову міцність клейового з'єднання впливають характеристика клейового з'єднання та режимні

параметри склеювання, а при його експлуатації їх умови, тобто вплив природніх факторів.

1.4. Висновки по розділу і завдання роботи

З аналізу літературних джерела зроблено такі висновки:

1. Для склеювання деревини та деревинних матеріалів використовується широкий асортимент клеїв, які мають різні характеристики та володіють певними властивостями. Для склеювання деревини та деревинних матеріалів використовують терморективні та термопластичні клейові матеріали. Перспективними для склеювання є термопластичні полівінілацетатні клейові матеріали, які забезпечують клейовим з'єднанням належну міцність, водостійкість, температуростійкість та екологічність клейового шва.

2. Деревина, як основний конструкційний матеріал при склеюванні володіє певними специфічними властивостями, які не мають інші конструкційні матеріали, що склеюються. До недоліків такого матеріалу відноситься гігроскопічність та анізотропність. Такі властивості різко погіршують технологічний процес склеювання та експлуатацію готових конструкцій. Важливе значення має підготовка поверхні деревини до склеювання та режимні параметри склеювання.

3. Вплив природніх факторів має важливий вплив на міцність клейових з'єднань деревини. До основних факторів природнього походження, які впливають на міцність клейового з'єднання відносять вологість, температура та сонячне опромінення. Найбільший вплив має вода та вологість, а на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини - підвищена температура. Тому, дослідження впливу природніх факторів на міцність клейового з'єднання деревини є актуальною науковою задачею.

Виходячи із зроблених висновків **метою роботи** є дослідження впливу природніх факторів на адгезійну міцність екологічно-безпечних клейових з'єднань.

Об'єктом дослідження є екологобезпечні полівінілацетатні клейові з'єднання з деревини.

Предметом дослідження є міцності клейових з'єднань деревини за дії природніх факторів.

Завдання роботи:

➤ Вивчити стан питання щодо склеювання деревини. Проаналізувати клеї для її склеювання, властивості деревини, режимні параметри склеювання та вплив природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час її експлуатації. Особливу увагу звернути на екологобезпечні клейові матеріали.

➤ Обґрунтувати вплив природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час їх експлуатацію. Теоретично описати вплив вологості, температури та сонячного опромінення на зміну міцності клейових з'єднань деревини склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями.

➤ Описати методика проведення експериментальних досліджень клейових з'єднань деревини у природніх і лабораторних умовах та послідовність статистичної обробки результатів отриманих експериментальних досліджень.

➤ Проаналізувати результати експериментальних досліджень щодо впливу вологості і температури навколишнього середовища на зміну міцності клейових з'єднань деревини склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями. Здійснити побудову графічних залежностей зміни міцності клейових з'єднань деревини склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями та здійснити їх аналіз.

➤ Зробити висновки по проведеній роботі.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Основи формування та руйнування клейових з'єднань деревини

При формуванні клейових з'єднань з деревини відбуваються складні фізичні, механічні та хімічні процес. Дані процес будуть залежати від клею та матеріалу, який піддається склеюванню. Важливе значення на процеси склеювання матиме здатність клею змочувати поверхню, що склеюється. Змочування – це процес розтікання клею по поверхні деревини. Процеси змочування будуть залежати від адсорбційної здатності деревини. Чим краще клейові матеріали змочують поверхню деревини, тим клейове з'єднання буде якісним та міцнішим. Разом з тим, процеси формування клейового з'єднання пов'язані із адгезія та когезія.

Під адгезією розуміють здатність клею утворювати добрий зв'язок між поверхнями деревини, що склеюється. Це відбувається за допомогою міжмолекулярного зчеплення між різними хімічними групами молекул, що є в деревині та клею. Для прикладу це можуть бути водневі зв'язки, сили Ван-дер-Ваальса тощо. Руйнування клейового з'єднання по границі розподілу фаз деревина - клей називають адгезійним руйнуванням.

Під когезія розуміють формування міцності між молекулами однорідних матеріалів. Наприклад між молекулами деревини, або між молекулами клею. Така міцність буде залежати від міцності між молекул у самому матеріалі, а руйнування у клейовому з'єднанні деревини буде називатися когезійним. Руйнування по деревині і клейовому з'єднанні одночасно називається змішаним, тобто адгезійне і когезійне. Отримання міцного клейового з'єднання буде тоді, коли буде забезпечуватися максимальна адгезійна і когезійна міцність між деревиною і клейовим матеріалом.

Формування адгезійних зв'язків відбувається за допомогою переміщення молекул адгезиву до поверхні деревини та перехід у між фазний шар. Це забезпечує добрий контакт між молекулами клею і деревини. Після цього відбувається взаємодія клею і деревини. У даному випадку можуть бути

здіянні різні хімічні взаємодії. На рис. 2.1 наведено фото механізму формування клейового з'єднання з деревини [7].

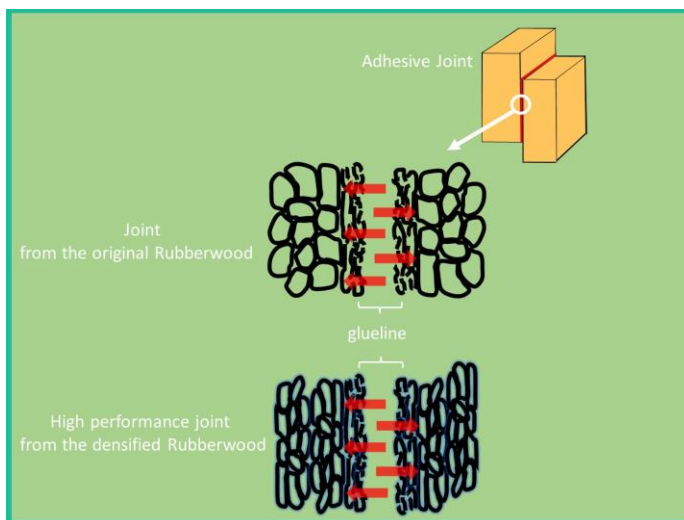


Рис 2.1. Механізм формування клейового з'єднання з деревини

Як видно із рис. 2.1. досягнення належної міцності відбувається через мікронерівності на поверхні деревини та проникнення молекул клейової композиції у деревину.

Тому, оцінити адгезійну міцність клейових з'єднань деревини є досить складною і наближеною задачею. Також важко оцінити площу контакту деревини і клейового матеріалу. Оскільки деревина це пористий матеріал, у якого контакт клею може відбуватися по різному, залежно від стану поверхні, яка утворилася після механічної обробки деревини, її шорсткості тощо.

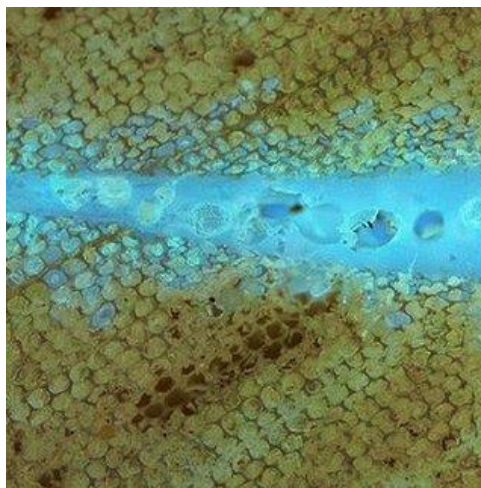


Рис 2.2. Проникнення клею у пори деревини

В залежності від шорсткості поверхні деревини буде визначатися витрата клею, яка необхідна для формування клейового шару. Клей повинен добре змочувати деревину, розтікатись по її поверхні. Надмірне всмоктування клею може призвести до формування дефектів склеювання. У пористих матеріалах проникання клею може збільшуватися у десятки раз. Але разом з ним, велика товщина клейового шару не завжди дає можливість отримати міцне клейове з'єднання. Оскільки у даному випадку важливу роль відіграватиме когезійна міцність клейового шару склеєної деревини. На рис. 2.2 наведено формування адгезійних і когезійних зв'язків між деревиною і клейовими матеріалами.

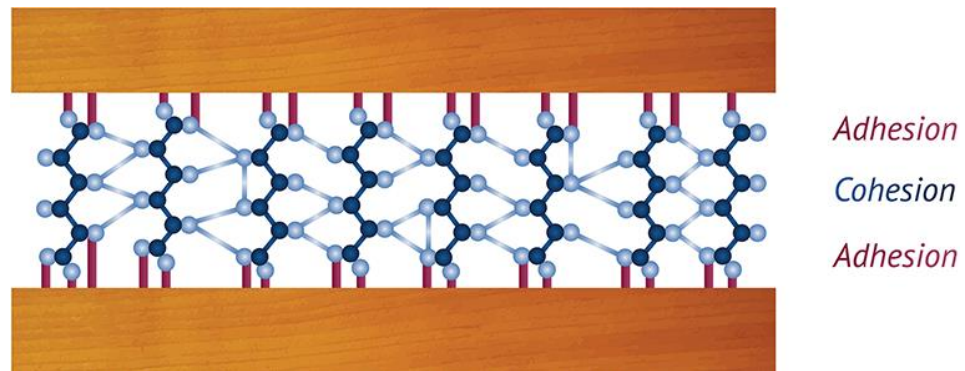


Рис 2.2. Адгезійні і когезійні зв'язки у клейовому з'єднанні деревини

Занадто товстий клейовий шар призводить до виникнення значних внутрішніх напружень, які небезпечні руйнуванням клейового з'єднання. Тому, формування клейових з'єднань деревини ставить відповідні вимоги до деревини, клейових матеріалів, режимних параметрів склеювання, тощо. Перерахувати і описати всі фактори впливу на формування клейових з'єднань деревини є складною задачею, яку ми у магістерській роботі вирішити не зможемо.

Тепер розглянемо, як теоретично можна описати механізм руйнування клейових з'єднань деревини сформованого за допомогою клейових матеріалів. Як зазначалося у розд. 1 при експлуатації клейових з'єднань деревини у природніх умовах важливими факторами впливу має вологість, температура та сонячне опромінення, яке буде діяти у навколишньому

середовищі. Тому більш детально проаналізуємо вплив даних факторів на механізм руйнування клейових з'єднань.

Волога є найбільш небезпечним фактором впливу на клейове з'єднання з деревини, оскільки деревина це гігроскопічний та анізотропний матеріал, який легко здійснює сорбування вологи з навколишнього середовища. При концентрації клею 50% вологість деревини збільшиться на 15%. Таке зволоження відбувається у приповерхневих шарах деревини. Тому, для зменшення вологості верхніх шарів деревини при склеюванні необхідно використовувати клеї з високою в'язкістю, а деревину із вологістю $8 \pm 2\%$. Також необхідно відзначити, що вологість може призвести до гідролізу клейової композиції. При зміні температури навколишнього середовища змінюється і вологість клейових деревинних конструкцій. У свою чергу підвищена вологість клейового з'єднання призводить до їх руйнування. На рис. 1.3. наведено вплив води на зміну пружно деформаційних процесів у клейовому з'єднанні деревини [7].

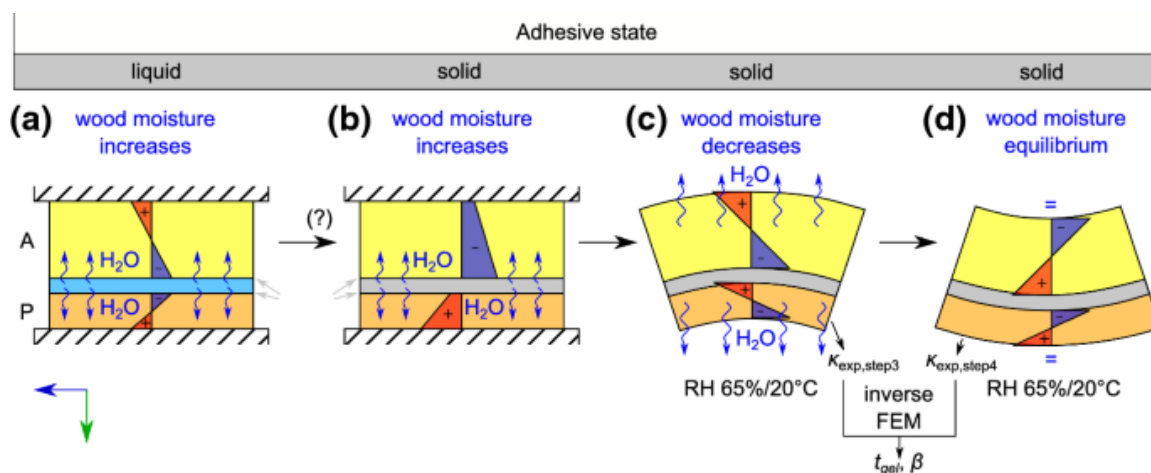


Рис 2.3. Залишкові напруження у клейових з'єднаннях деревини при дії води

- a) підвищена вологість, b) підвищена вологість, c) зниження вологості,
d) рівноважна вологість

Як видно з рисунка дія підвищеної вологості у клейовому з'єднанні призводить до його жолоблення. А циклічна його дія може призвести і до руйнування таких клейових з'єднань. Це небезпечно при експлуатації

клеювих з'єднань з деревини у середовищі із змінним температурно вологісним навантаженням.

При підвищених температурах швидше проходить деструкція клеювого шва. Термічна деструкція є більш небезпечною в порівнянні із вологісною, оскільки призводить до руйнування макромолекул. Температура, яка виникає в клеювих з'єднаннях при дії підвищених температур буде залежати від клімату та району експлуатації з'єднань. Тому, в атмосферних умовах вплив температури так само як і вологості відбувається циклічно. Чим частіші цикли перепаду температур, тим напруження у клеювих з'єднаннях будуть збільшуватися, а клеюві з'єднання не будуть встигати їх релаксуватися, що призводить до руйнування клеювих з'єднань.

На рис. 2.4 наведено життєвий цикл виготовлення клеювих деревинних заготовок та вплив на них температуро вологісних навантажень.

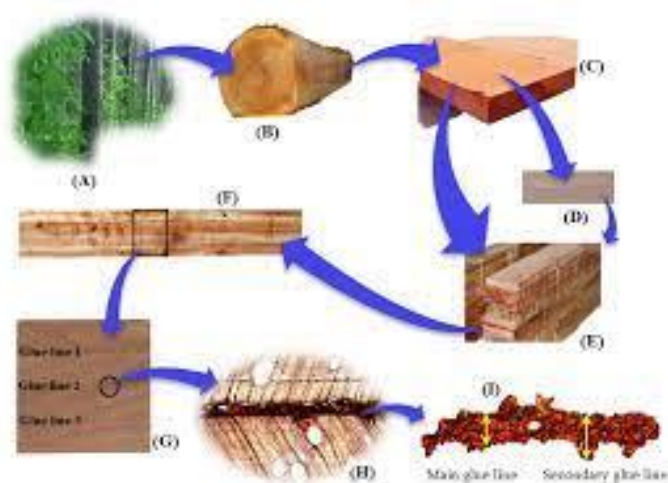


Рис 2.4. Вплив температуро вологісних навантажень на клеюві з'єднання деревини

Дія атмосферних факторів на клеюве з'єднання має циклічний характер. Великий вплив на клеюві з'єднання має сезонна циклічність, яка виникає із-за зміни пір року. Чим циклічність швидше змінюються, тим з'єднання працює із підвищеними пружно-деформаційним навантаженням.

Важливе значення для клеювих з'єднань деревини має сонячне опромінення, яке призводить до деструкції клеювого шару під час

експлуатації. Особливо небезпечним для клейового шару деревини має ультрафіолет, який спричиняє незворотні хімічні процеси у клейовому шві. Ці процеси супроводжуються формуванням крихкого клейового шва, який не може забезпечити релаксаційних процесів під час експлуатації клейових з'єднань.

Як висновок, можна сказати, що важливими факторами впливу на клейові з'єднання деревини має вологість, температура та сонячне опромінення. Особливо це небезпечно при циклічних навантаженнях, які не сприяють релаксаційним процесам під час експлуатації клейових з'єднань.

2.2. Вплив природніх факторів на зміну міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини

Процес формування клейових з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату має певну специфіку і складається з декількох стадій. На першій стадії відбувається контакт деревини з дисперсійним середовищем клею. Деревина сорбує із дисперсійного середовища воду та інші дисперсійні частинки із клейової композиції. На другій стадії відбувається коагуляція частинок та утворення клейової плівки. Окрім того полімер, що знаходиться в склоподібному стані адсорбується деревиною, що призводить до формування адгезійної і когезійної міцності. Третя стадія, це стадія формування клейового з'єднання, за рахунок взаємодії полімеру з емульгатором. Для досягнення належної адгезійної міцності необхідна взаємодія полімеру із деревиною. Дія води призводить до зниження механічних характеристик клейового з'єднання. Це відбувається за допомогою адсорбції.

Тому, формування клейового з'єднання деревини полівінілацетатними клеями є стадійним і складним. Механізм формування такого з'єднання можна пояснити існуючими теоріями, якими не можна пояснити формальдегідні клейові з'єднання деревини, тобто теоріями, щодо взаємодії вододисперсних систем із формуванням рідкофазної структури клейового шва.

Полівінілацетатні клеї характеризуються невисокою стійкістю до теплового старіння полімеру. Разом з тим, такі клейові з'єднання експлуатуватися за підвищеної температури без деструкції. Деструкція у полівінілацетатних клейових з'єднаннях може відбуватися при підвищених температурах. Необхідно враховувати вплив компонентів клейових матеріалів на деревину під час склеювання та експлуатації. Встановлено вплив гідролізу на полівінілацетат.

Полівінілацетатні клеї можуть формувати лінійну та сітчасту будову клейового шва. Лінійні полімери формують еластичні та пластичні клейові шви, але вони не є водостійкими. Полівінілацетатні клейові з'єднання із сітчастою будовою формують міцний клейовий шов, менш еластичний в порівнянні із лінійними полімерами, але з підвищеною водостійкістю. Дана структура клейового шва має достатньо сформовані поперечні зв'язки. Це забезпечує підвищену водостійкість клейовим з'єднанням.

Варіанти, за якими можуть руйнуватися полівінілацетатні клейові з'єднання з деревини, такі самі як і для інших клеїв: когезійне, адгезійне, змішане. При руйнуванні клейових з'єднань з деревини важливу роль відіграють пружно деформаційні процеси, які у термопластичних клейових з'єднаннях деревини супроводжуються еластичними, пружними та залишковими деформаціями.

Вплив природніх факторів на міцність полівінілацетатних клейових з'єднань буде здійснюватися по різному, а саме через набухання полімеру у воді, старіння клейового шва під дією ультрафіолету, всихання деревини при підвищених температурах та пружно-деформаційних процесах, тощо. Щодо набухання, то цьому процесу будуть піддаватися полімери, що мають функціональні групи $-OH$, $-NH$. До таких полімерів відносять компоненти деревини (целюлоза, геміцелюлоза) та клею, полівінілацетат та полівініловий спирт, що є основними компонентами. Процес набухання у воді відбувається через проникнення молекул води у клейове з'єднання через деревину та клейовий шар. Даний процес знижує поверхневу енергію макромолекул

полімерів аморфної фази за рахунок процесу сольватації. Разом з тим міцність полімеру не змінюється, або змінюється, також, незначно.

Необхідно відзначити, що при сорбції води відбувається розрив міжмолекулярних зв'язків та утворення водневих зв'язків між водою та гідрофільними групами макромолекул. Полівінілацетатні клеї із рідкосітчастою структурою клейового шва також набухають. Але рідкосітчаста структура клейового не дозволяє збільшити віддалі між макромолекулами, так як це відбувається у клейових з'єднаннях деревини із лінійною структурою клейового шва. Механізм формування клейового з'єднання деревини із рідкосітчастою структурою наведено на рис. 2.5. [1]

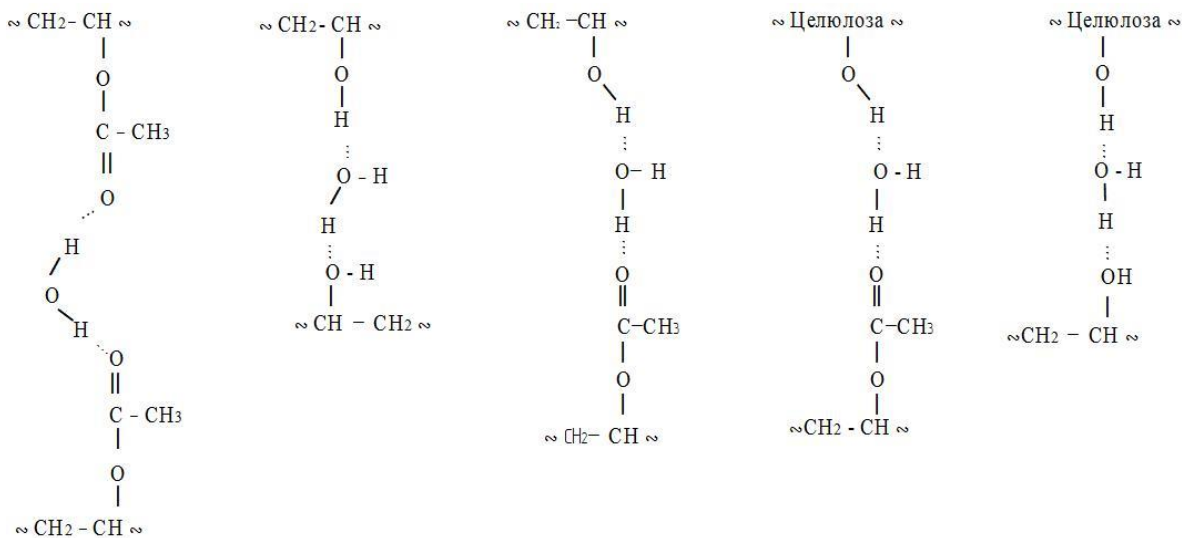


Рис. 2.5. Утворення додаткових водневих зв'язків між компонентами ПВА у клейовому шві (а, б, в) та клейовим швом і деревиною (г, д) через молекули води.

Як видно з рис. 2.5. формування адгезійної міцності між деревиною і клеєм відбувається за допомогою формування водневих зв'язків між складовими компонентами деревини та клею. А саме целюлозою, геміцелюлозою від деревини та полівінілацетат та полівініловий спирт від клею.

Підсумовуючи необхідно зазначити, що формування клейових з'єднань з деревини полівінілацетатними клеями відбувається у три стадії. Тобто

відбувається проникати вода та формування клейового шва. Окрім того відбувається формування водневих зв'язків між компонентами клейової композиції і деревини. Щодо природніх факторів, то вони по різному впливатимуть на пружно-деформаційні та деструкційні процеси під час експлуатації

2.4. Висновки з розділу

1) Механізм формування клейових з'єднань деревини відбувається поетапно із утворення міжмолекулярних зв'язків між компонентами деревини та клейової композиції. Міцність клейових з'єднань деревини залежатиме від основи клейової композиції, якості підготовки поверхні деревини та дотримання режимних параметрів склеювання. Важливу роль при цьому відіграє адгезія клею до поверхні деревини та робота змочування підкладки.

2) На клейові з'єднання деревини під час експлуатації вплив має багато природніх факторів, серед яких основну увагу приділяють вологості, температурі навколишнього середовища та ультрафіолету від сонячного опромінення. При дії температури відбувається деструкція клейового шва, а при дії вологості зростання пружно-деформаційного стану та жолоблення клейової конструкції, яка може закінчитися її руйнування.

3) Формування полівінілацетатних клейових з'єднань деревини може відбуватися з утворенням лінійної або рідкосітчастої структури клейового шва. Лінійна структура клейового шва не забезпечує клейовому з'єднанні належної волого та водостійкості. Рідкосітчаста структура здатна забезпечити клейовим з'єднанням підвищену міцність та водостійкість, що дозволяє експлуатацію таких з'єднань у середовищі із змінними температурно вологісними навантаженнями.

4) При дії знакозмінних температурно вологісних навантажень відбувається зміна пружно-деформаційного стану клейового з'єднання деревини, що призводить до виникнення напружень між клейовим швом і

дервиною. Такі напруження є небезпечними, оскільки їх тривала дія може призвести до руйнування таких з'єднань деревини. Надмірна вологість призводить до набухання клейового шва та його руйнування.

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методика вибору клейових матеріалів

Для визначення впливу природніх факторів на зміну міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини необхідно використовувати методику проведення тривалих експериментальних досліджень, оскільки дана методика дає можливість отримати реальні результати досліджень з врахуванням дії атмосферних факторів. Оскільки метою магістерської роботи було дослідити вплив природніх факторів на клейові з'єднання деревини на основі екологічно безпечних матеріалів, тому для склеювання деревини я вибрав полівінілацетатний клей із ступенем довговічності D4, який забезпечує вимоги екологічності та формує клейові з'єднання з деревиною із підвищеною вологостійкістю клейового шва. Це був клей Jowacoll із ступенем довговічності D4, відповідно до стандарту ДСТУ EN 204:2014. На рис.3.1. наведено даний клей



Рис. 3.1 Клей Йоваколь.

Перед використанням даного клею необхідно його довести до однорідної маси із відповідною в'язкістю. Для цього клей наливали у відповідну посудину і перемішували. Для отримання необхідної в'язкості клей розводили дистильованою водою.

Нанесення клею на поверхню деревини відбувається за допомогою пензля. Витрату клею контролювали за допомогою аналітичної ваги. Витрата клею була 180 г/м². Клей наносили на одну поверхню у двох зразках. Таке

нанесення дозволяє отримати якісне клейове з'єднання. На рис. 3.2. наведено аналітичну вагу марки ТВЕ-0,6-0,01/2.



Рис. 3.2. Вага аналітична марки ТВЕ-0,6-0,01/2.

Клей на основі полівінілацетату формує тонкий клейовий шар. Це запобігає утворенню значних внутрішніх напружень.

В'язкість клею визначали за допомогою віскозиметра ВЗ-4, який наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Віскозиметр ВЗ 4.

Основні характеристики полівінілацетатних клеїв:

В'язкість, с. – 85.

Сухий залишок, % - 51.

Густина [г / см³]: - 1,06.

pH: - 5,0.

Температура склеювання^о С - 20±2.

Колір – прозорий.

Мінімальна температура приміщення 15 °С.

Витрата клею 180 г / м² .

Тиск пресування 0,7 Н/мм².

Тривалість пресування: 25 хв.

3.2. Методика проведення тривалих досліджень

Тривалі експериментальні дослідження проводяться у природніх умовах на протязі певного часу до початку руйнування зразків. Для проведення досліджень виготовляли зразки відповідно до стандарту ДСТУ EN 205:2014. Згідно стандарту розміри зразків були наступними: довжина деталей (L) - 350 мм., ширини (B), - 20±0.5мм., висота (H₁,H₂), 20 та 10 мм. відповідно. Зразки виготовляли із дошок деревини сосни. Вологість деревини при склеюванні була 10±2%. У зразках не допускаються будь які вади деревини, а саме сучки, тріщини після сушіння, смола, гнилизна та інші. На рис. 3.4. наведено вигляд зразків із деревини для склеювання по пласті для експериментальних досліджень у природніх умовах

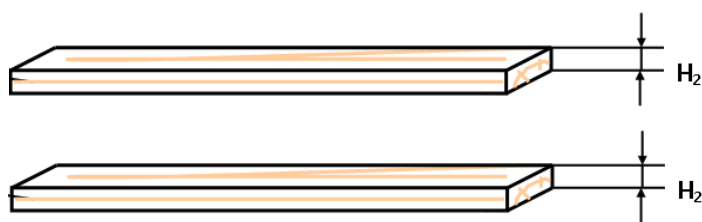


Рис. 3.4. Вигляд зразків для склеювання

Склеювання зразків проводили у пресі. Розміри робочої зони преса були наступними: 600 X 600мм. Питомий тиск пресування контролювався за допомогою манометра. Одиниці виміру – кгс. Площу склеювання розраховували за формулою:

$$S_{\text{пак.}} = \Sigma L \cdot B, \text{ см}^2$$

де ΣL – розміри кратних заготовок, см

B – ширина заготовки, см

Тиск склеювання P , визначали за формулою:

$$P_{\text{ман}} = S_{\text{пак}} \cdot P_{\text{скл}} / S_{\text{пл}} \cdot K, \text{ кгс}$$

де $P_{\text{скл}}$ – тиск склеювання, кгс/см².

$S_{\text{пл}}$ – площа плунжераю.

Схема зразка для визначення міцності клейових з'єднань деревини наведено на рис. 3.4.

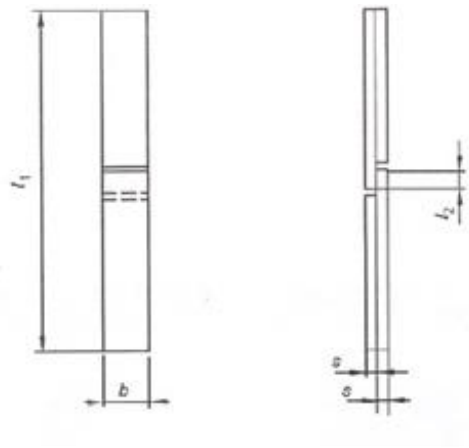


Рис. 3.4. Схема зразка

Готові зразки піддавали випробуванню у природних умовах із використанням відповідного стенду для такого роду випробувань. Під час досліджень проводять огляд зразків для виявлення початку руйнування при дії зовнішніх факторів. Для цього зразки заміряли та записували у відповідний журнал спостереження.

Циклічні температурно-вологісні випробування проводили відповідно до стандарту ДСТУ EN 204:2014. Для лабораторних випробувань використовували посудину для вимочування та посудину для кип'ятіння. При вимочуванні зразки повністю занурювали у воду. Для витримання взірців використовували стелажі. Температура навколишнього середовища під час витримання становила $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Замір вологості зразків проводили за допомогою вологоміра.

Після випробувань зразки руйнували методом розтягу вздовж волокон. Для цього використовували розривну машину марки Р-0,5. Вигляд машини наведено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Розривна машина

Зразки кріпили за допомогою відповідного пристосування та піддавали руйнуванню. Максимальне навантаження фіксували на табло розривної машини та записували у журнал спостереження. .

3.3. Методика обробки результатів досліджень

Границю міцності при сколюванні вздовж волокон визначають за формулою:

$$\tau = \frac{P}{b \cdot l}, \quad (3.1)$$

де: P – руйнуюче навантаження, Н (кгс);

b – ширина зразка сколювання, м (см);

l – довжина сколювання, м (см).

Отримані результати досліджень піддають статистичній обробці у відповідності до методики. Обробку результатів досліджень здійснювали у певній послідовності. Отриману вибірку піддавали перевірці на грубі промахи. Якщо їх виявляли то піддавали аналізу і при необхідності замінювали на середнє значення вибірки у даному інтервалі.

1. Для визначення грубих промахів використовували критерію Стьюдента.

$$t_{роз.} = \frac{[y_c - \bar{y}]}{S} \quad (3.2)$$

де y_c – сумнівне значення;

\bar{y} – середнє значення;

S – середньоквадратичне відхилення;

2. Визначали y_{max} і y_{min} .

3. Визначення величини інтервалу:

$$\Delta y = \frac{y_{max} - y_{min}}{k} \quad (3.3)$$

де: N - об'єм вибірки;

4. Середнє значення в інтервалі:

$$y_i = \frac{y_{in} + y_{iv}}{2} \quad (3.4)$$

де y_{in}, y_{iv} – верхня і нижня межі.

5. Середнє значення:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot m_i, \quad (3.5)$$

6. Дисперсія:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^k m_i (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.6)$$

7. Середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (3.7)$$

8. Інтервал розсіювання:

$$\bar{y} - 3S \leq y \leq \bar{y} + 3S, \quad \Delta = 6S \quad (3.8)$$

9. Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S}{y} \cdot 100, \% \quad (3.9.)$$

10. Середньоквадратична похибка:

$$S_y = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (3.10.)$$

11. Показник точності дослідів:

$$P = \frac{S_y}{y} \cdot 100\% = \frac{V}{\sqrt{N}} \quad (3.11.)$$

12. Інтервал довіри:

$$\bar{\sigma} - t_{(q;f)} \cdot S_y \leq M_y \leq \bar{\sigma} + t_{(q;f)} \cdot S_y \quad (3.12.)$$

13. Кількості дубльованих спостережень:

$$n \geq \frac{V^2 \cdot t_{(q;f)}^2}{q^2} \quad (3.13)$$

14. Нормальність розподілу:

$$A = \frac{1}{NS^3} \sum_{i=1}^n mi(y_i - \bar{y})^3 \quad (3.14)$$

$$E = \frac{1}{NS^4} \sum_{i=1}^n mi(y_i - \bar{y})^4 - 3 \quad (3.15)$$

де N – об'єм вибірки

Середньоквадратичні відхилення σ_A і σ_E :

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}} \quad (3.16)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24N(N-2)(N-3)}{(N-1)^2(N+3)(N+5)}} \quad (3.17)$$

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Результати досліджень міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни

Відповідно до мети магістерської роботи у четвертому розділі ми проаналізуємо результати досліджень впливу природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини сосни, склеєної полівінілацетатними клеями. Деревина породи сосни широко використовується при склеюванні для виготовлення деревинних конструкцій, які експлуатуються у природніх умовах. Деревина сосни забезпечує належні механічні властивості конструкціям при їх експлуатації у природніх умовах. Як зазначалося у теоретичному розділі та методиці експериментальних досліджень (див. розд. 2 та розд.3.), негативний вплив на міцність клейових з'єднань з деревини під час експлуатації має вологість і температура навколишнього середовища та ультрафіолет від сонячного опромінення. Тому, для аналізу впливу зазначених факторів на міцність клейового з'єднання деревини склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями, нами наведено табличні дані та графічні залежності зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни після певних циклів випробувань

Результати досліджень клейових з'єднань деревини сосни після циклічних температурно вологісних випробувань наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати випробувань з'єднань деревини сосни

№ з/п	Порода деревини	Ступінь довговічності	Міцність склеювання, МПа							
			Міцність після відповідних циклів випробувань							
			Контрольні зразки*	4	8	14	20	29	33	40
1	Сосна 10±2%	D2	9,31	6.65	0.38	0.32	0.21	0.07	0	0
2	Сосна 10±2%	, D4	9,10	6.34	6.67	6.31	5.88	5.69	5.46	5.15

Як видно із табл. 4.1. міцність клейових з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетату із ступенем довговічності D2 і D4 по різному реагують на дію вологи і температури. Графічна інтерпретація даних результатів досліджень після випробувань у природних умовах наведено на рис.4.1.

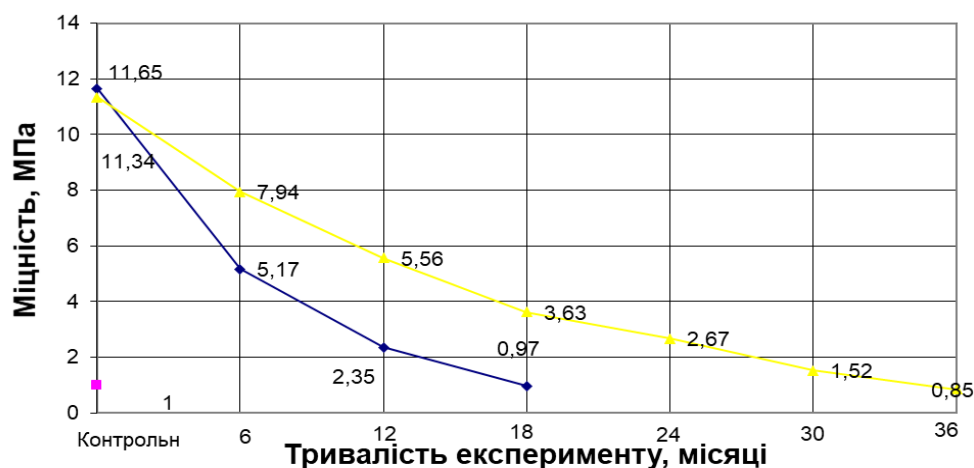


Рис. 4.1. Міцність клейових з'єднань деревини сосни після тривалих експериментальних досліджень у природних умовах.

Як видно із рис. 4.1. міцність клейового з'єднання із ступенем D2 витримує вісімнадцять місяців тривалих експериментальних випробувань у природних умовах. Клейове з'єднання із ступенем навантаження D4 витримує тридцять шість місяців випробувань у природних умовах.

Це вказує на різну структуру формування таких клейових з'єднань. А саме клейова композиція із ступенем навантаження D2 формує лінійну структуру клейового шва, яка не забезпечує клейовому з'єднанню належної водо і вологостійкості. У той час, як клейові з'єднання із ступенем навантаження D4, що формує рідкосітчасту структуру клейового шва забезпечують належну водо і вологостійкість таким клейовим з'єднанням, що дозволяє їх експлуатацію у природних умовах із змінними температурно вологісними навантаженнями. Тому такі клейові конструкції можуть експлуатуватися як у середині приміщення, так і зовні.

На рис. 4.2. наведено результати досліджень міцності клейових з'єднань деревини сосни після пришвидшених експериментальних досліджень у лабораторних умовах.



Рис. 4.2. Міцність клейових з'єднань деревини сосни після циклічних температурно вологісних випробувань у лабораторних умовах.

Як видно із рис. 4.2. клейове з'єднання із ступенем навантаження D2 практично не витримує циклічної дії вологи і зміни температури. В той час клейове з'єднання із ступенем навантаження D4 витримує всі цикли навантаження і не піддається руйнуванню на протязі всього часу випробувань. Це підтверджує результати експериментальних досліджень отриманих у природніх умовах

Тепер більш детально проаналізуємо результати тривалих та пришвидшених досліджень виходячи із впливу окремих факторів, а саме вологості, температури та дії сонячного опромінення. На початку проаналізуємо вплив даних факторів в одному циклі лабораторних експериментальних досліджень, а саме який вплив на клейові з'єднання має вологість, плюсові та мінусові температури в одному циклі досліджень.

На рис.4.3. наведено зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєні клеями із ступенем довговічності D4 залежно від циклічної дії впливу вологості і температури



Рис. 4.3. Зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни клеями із ступенем довговічності D4 залежно від циклічної дії вологості та температури.

Із графічних залежностей видно, що тривала дія вологи зменшує міцність клейових з'єднань деревини. Для прикладу, для клейового з'єднання із ступенем навантаження D4 міцність після вимочування зменшується із 6,34 МПа до 3,21 МПа. За дії високої вологості та температур нижче нуля, міцність підвищується з 3,21 МПа до 5,87 МПа. За температури 20 °С міцність знову зменшується і становить 4,65 МПа. За температури +60 оС міцність клейового з'єднання деревини сосни зменшується до 2,85 МПа. Таку поведінку клейового з'єднання деревини не можна виявити при тривалих експериментальних дослідженнях, оскільки при таких дослідженнях на клейове з'єднання одночасно впливає велика кількість факторів. Але, якщо б проаналізувати тривалі експериментальні дослідження після певної пори року де відбуваються сезонні зміни міцності то таку залежність можна побачити. Все це дає відстави стверджувати, що полівінілацетатні клейові з'єднання із ступенем довговічності D4 краще експлуатуються при підвищеній вологості та понижених температурах, ніж при низькій вологості та підвищення температурах. Це можна пояснити тим, що основа

полівінілацетатної композиції полівінілацетат при підвищених температурах стає повзучим.

Тепер розглянемо зміну міцності клейових з'єднань деревини за дії вологості і температури після іншого циклу випробувань, а саме після другого циклу. Результати досліджень наведено на рис. 4.4.

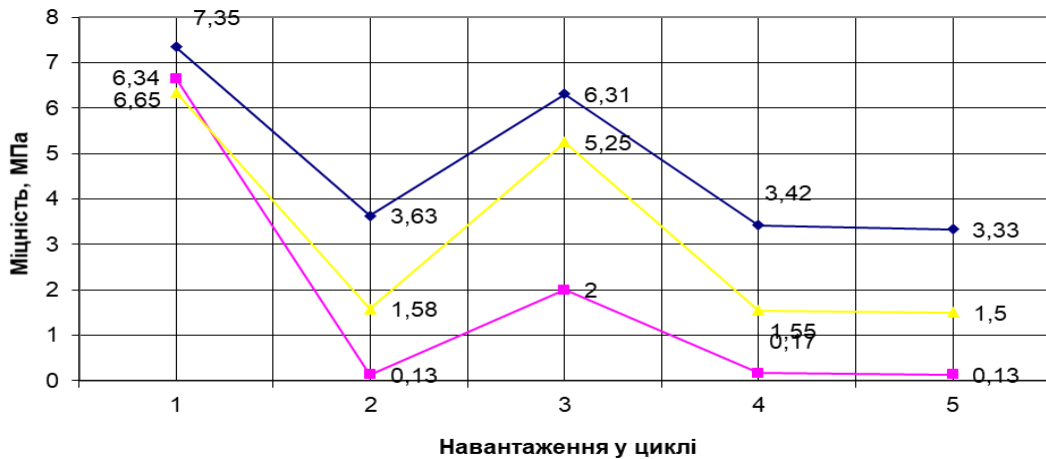


Рис. 4.4. Зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни клеями із ступенем довговічності D4 залежно від циклічної дії вологості та температури.

Аналіз графічних залежностей зміни міцності клейових з'єднань змінюється за аналогічними залежностями, так само як у попередньому циклі змінюється синусоїдально в залежності від циклічної дії вологості та температури. Разом з тим, синусоїдальна залежність матиме спадаючий характер щодо зменшення числових значень міцності. Для прикладу, після першого циклу випробувань міцність зменшилась із 3,21 МПа до 1,58 МПа, після другого циклу тобто дії температур нижчих за нуль, міцність клейового з'єднання зменшилась із 5,87 МПа до 5,25 МПа. Аналогічні залежності спостерігаємо і при дії на клейове з'єднання кімнатної температури, за якої міцність із 4,65 МПа зменшилась до 1,55 МПа. І після дії підвищених температур міцність із 2,85 МПа зменшилась до 1,50 МПа. Такий алгоритм зміни міцності буде і для інших циклів температурно вологісного впливу

вологи і температури на клейові з'єднання деревини сосни, склесної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4.

Щодо впливу сонячного опромінення на зміну міцності полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни, то визначення характеру його впливу на клейові з'єднання є досить складною задачею, бо дія ультрафіолету на клейовий шар буде визначатися товщиною клейового шва та можливістю його попадання через заготовки деревини у клейовий шар.. Окрім того, зона дії сонячної опромінення на клейові з'єднання неоднозначно впливає на структуру клейового шва. Це буде залежати від хімічного складу основи клейової композиції. Визначити дію ультрафіолету на клейове з'єднання сосни у лабораторних умовах досить складно. Тому ми у своїй роботі обмежились результатами тривалих та пришвидшених експериментальних досліджень, щодо впливу вологи та температури на зміну міцності клейових з'єднань деревини склеєних термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності Д4.

4.2. Механізм руйнування клейових з'єднань деревини сосни склесної полівінілацетатними клеями

Руйнування клейових з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетатних клеїв, відповідно до результатів експериментальних досліджень може відбуватись по різному. На рис. 4.5. наведено схема механізму руйнування клейових з'єднань деревини від дії вологи.

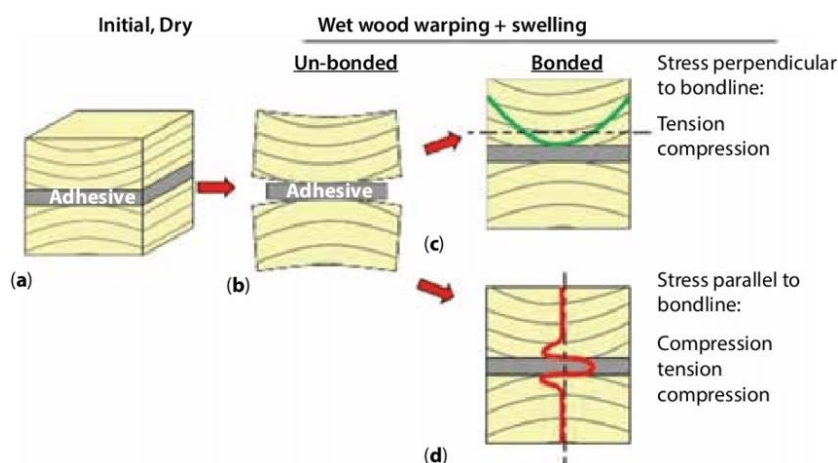


Рис. 4.5. Механізм руйнування клейових з'єднань деревини.

Характер руйнування клейових з'єднань деревини сосни після тривалих експериментальних та лабораторних експериментальних досліджень відбувався по різному, в залежності від тривалості випробувань. Для тривалих експериментальних досліджень на початкових етапах руйнування відбувалось по деревині. Тобто зафіксовано когезійне руйнування клейових по деревині сосни. Із збільшенням тривалості експериментальних досліджень характер руйнування переходив із когезійного по деревині на змішаний та по границі розподілу деревина клейовий шар. Під кінець випробувань руйнування зразків повністю переходив на такий характер руйнування. Такий характер руйнування можна пояснити отриманими залежностями зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни в залежності від одночасної дії вологи та температури навколишнього середовища. Така залежність дуже добре прослідковується у клейових з'єднаннях деревини сосни склеєної клеями із ступенем довговічності D1.

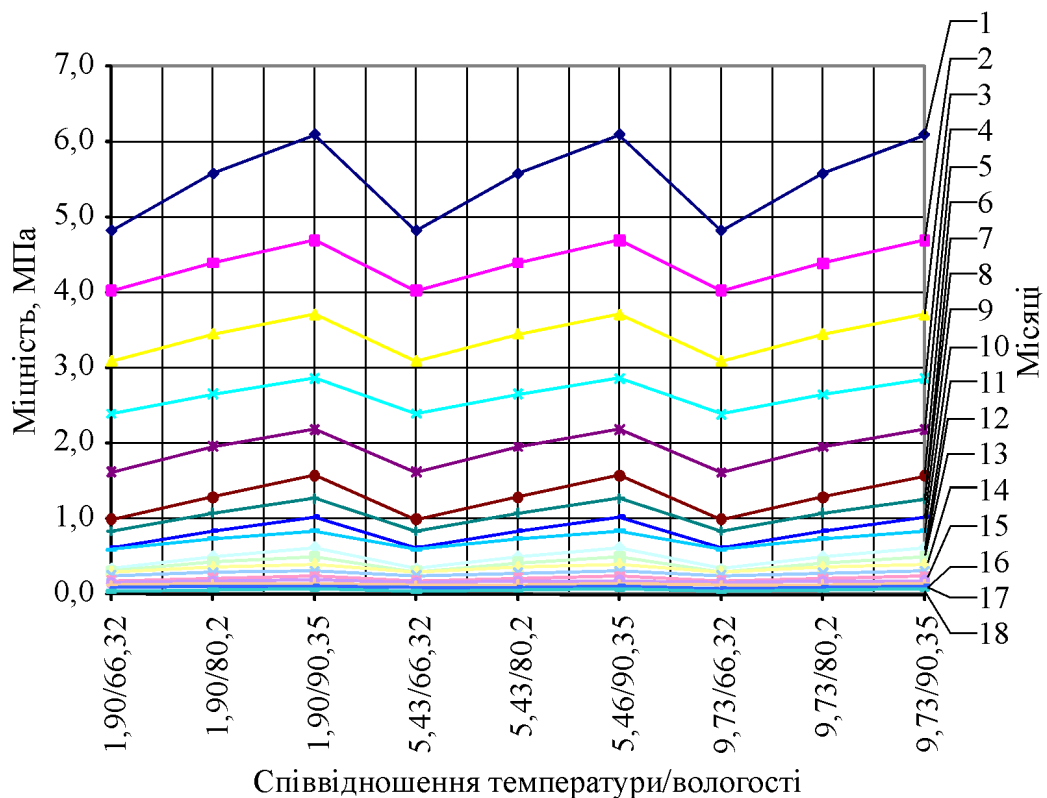


Рис. 4.6. Зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни, склеєних клеями із ступенем навантаження D1, залежно від зміни вологості та температури

Як видно із графіків одночасна дія вологи і температури на зміну міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями носить синусоїдальний характер і залежить від тривалості експериментальних досліджень. На перших етапах досліджень синусоїдальна крива зміни міцності знаходиться в межах від 4,9 до 5.1 МПа. Така міцність притаманна для клейових з'єднань із ступенем довговічності D1. Крива міцності зменшується із тривалістю проведених досліджень. Після тринадцяти місяців досліджень крива наближається до нуля, що вказує на досягнення критичної міцності у таких дослідженнях

4.2. Висновки з розділу

За отриманими результатами експериментальних досліджень та їх аналізу можна зробити наступні:

1. Міцність клейових з'єднань деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями при дії природніх факторів змінюється за спадаючою залежністю. Тобто із збільшенням тривалості випробувань часу міцність клейових з'єднань зменшується. Максимальний термін експлуатації таких клейових з'єднань у природніх умовах становить:

- Для клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями із ступенем довговічності D2 становить 18 місяців.
- Для клейових з'єднань деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем навантаження D4 становить 36 місяців.

2. Результати лабораторних експериментальних досліджень показали, що зміна впливу вологості та температури має важливий вплив на міцність клейових з'єднань деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними. Зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни із

ступенем навантаження Д4 становить тридцять шість місяців, а із Д2 вісімнадцять.

3. Зміна міцності клейових з'єднань деревини сосни від одночасної дії вологи і температури має синусоїдальний спадаючий характер. Це зумовлено структурою клейового шва та його здатністю до тривалої дії вологи та температури навколишнього середовища.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Екологічна безпечність полівінілацетатних клеїв та з'єднань на їх основі

Використання клеї для склеювання деревини сьогодні дуже розповсюджена практика. Це пов'язано із здатністю клею формувати різного роду деревинні конструкції, які можуть використовуватися у багатьох галузях промисловості. Особливою характеристикою клейових матеріалів на сьогодні є забезпечення належної екологічності, тобто не бути нешкідливим для людини та навколишнього середовища. Людина практично кожний день знаходиться у контакті з клейовими елементами, з яких виготовленні виробами та конструкціями. Тому, використання екологічно безпечних клеїв має важливу роль при виробництві продукції.



Рис. 5.1. Вироби із склеєної деревини

Виділення шкідливих речовин із виготовлених клейових дерев'яних конструкцій регламентується гранично допустимою концентрацією. Для клеїв на основі полівінілацетату, норма гранично допустимої концентрації забезпечується за рахунок того, що у складових матеріалах з яких виготовленні ці клеї шкідливих речовин не виявлено.

Разом з тим, контроль за вмістом токсичних речовин у клейових деревинних конструкціях контролюватися їх виділення із клейових матеріалів. Виділення шкідливих речовини залежить від їх вмісту в клею, тобто від складу основи клею та інших складових компонентів, що до нього входять. Існує міжнародна класифікація токсичності клеїв, відповідно до

класу емісії. А саме відповідно стандарту EN 201 термопластичні полівінілацетатні клеї використовуються у виробів з деревини, а саме: меблевих виробках, вікон, дверей, паркетної дошки тощо.

Основними компонентом полівінілацетатного клею є полівінілацетат та полівініловий спирт, які відносяться до екологічно чистих матеріалів. Окрім того у таких клеях є вода та поверхнево активна речовина. Тобто, всі складові компоненти клейової композиції не містять шкідливих речовин, як для людина так і для навколишнього середовища. Тому полівінілацетатний клей для склеювання деревини із ступенем навантаження Д1 та Д2 є екологічно безпечними матеріалами і можуть використовуватись для склеювання деревини, вироби з якої можуть експлуатуватися у жилих приміщеннях, а саме у дитячих кімнатах, спальнях, школах, тощо.

Що стосується полівінілацетатних клеїв із ступенем навантаження Д3 і Д4, які є двох компонентні і до складу, яких входить затверджувач, який забезпечує клейовому з'єднанню підвищену волого та водостійкість клейового шва. Такі клеї містять кремнійорганічні сполуки, які також не є шкідливими для навколишнього середовища, та і їх кількість не є значною. Тому, практично всі полівінілацетатні клеї починаючи від ступеня навантаження Д1, Д2, Д3 та закінчуючи Д4 є екологічно безпечними для навколишнього середовища і людини. Тому, використання таких клеїв є необхідним при виготовленні меблевих виробів, та іншої продукції що експлуатується у житлових приміщеннях.

Основними забруднювачами навколишнього середовища у приміщеннях є вироби, які там експлуатуються. Серед них є меблеві вироби, які виготовленні із деревинностружкових плит. Як відомо деревинностружкові плити склеєні за допомогою формальдегідних клеїв, які можуть на протязі тривалого часу виділяти вільний формальдегід, який є особливо небезпечним для здоров'я людини. Тому, при виготовленні меблевих виробів потрібно правильно вибирати клейові матеріали для склеювання деревини та деревинних елементів.

Вимоги, які ставляться до виробів, які будуть експлуатуватися у житлових приміщеннях:

- З'єднання повинні бути міцними;
- Клеї повинні забезпечувати термін зберігання;
- Клеї повинні формувати вологості та теплості з'єднання;
- Клей легко готуватись до нанесення;
- Клеї відповідати вимогам часу;
- Клеї формують прозоре клейове з'єднання.

На рис 5.2. наведено склеювання деревини екологічно безпечними полівінілацетатними клеями.



Рис. 5.2 Склеювання деревини полівінілацетатними клеями.

Як видно з рис. 5.2. полівінілацетатні клеї формують екологічно безпечні клейові з'єднання з деревини. Клейовий шов білий у рідкому стані і прозорий при затвердінні клею. Такі клейові з'єднання є довговічними, оскільки формують водостійкі та вологостійкі клейові з'єднання у період експлуатації. Тому, для склеювання деревини та деревних матеріалів останнім часом широко використовувати такі клейові композиції, які забезпечують деревинним конструкціям з'єднання з високими фізико-механічними властивостями. Окрім того клейові з'єднання деревини на

основі полівінілацетатних клеїв відповідають європейським нормам та стандартам використання.

5.2. Протипожежні заходи безпеки при використанні ПВА клеїв

Щодо протипожежної безпеки при роботі із полівінілацетатними клеями то вимоги є стандартними. Але враховуючи склад клейової композиція, можна контактувати, що всі її складові компоненти не є самозаймистими і горінню також не піддаються. Як було сказано у методиці експериментальних досліджень основними компонентами полівінілацетатних клеїв є полівініловий спирт, полівінілацетат, поверхнево активна речовина, дибутилфталат та вода. Згідно класифікатора із пожежної безпеки всі складові компоненти клейової композиції не є горючими. Тому і сама клейова композиція також не є займистою та горючою. Окрім того як розчинник використовується вода, а не розчинники органічного походження. На рис. 5.3. наведено складові композиції полівінілацетатної клейової композиції.

Окрім наведених на рис.5.3. складових компонентів полівінілацетатної клейової композиції є вода. Тому з складові компоненти клейової композиції дозволяють віднести її до складу негорючих матеріалів. Зберігатися і транспортуватися така клейова композиція може як металевій посудині так і в пластмасовій тарі.

Щодо терміну зберігання, то полівінілацетатні клеї із ступенем довговічності Д1 та Д2 мають практично необмежений термін. Щодо клейової композиції із ступенем Д3 та Д4, то їх термін зберігання обмежений в залежності від ступеня довговічності, але не більше дванадцяти місяців при температурі не нижче за нуль градусів.

Разом з тим, умови зберігання полівінілацетатних клеїв повинні відповідати певним вимогам згідно правил техніки безпеки при використанні клеїв. Для цього повинно бути виділено спеціальне приміщення, із всіма засобами протипожежної безпеки, включаючи засоби гасіння пожежі.

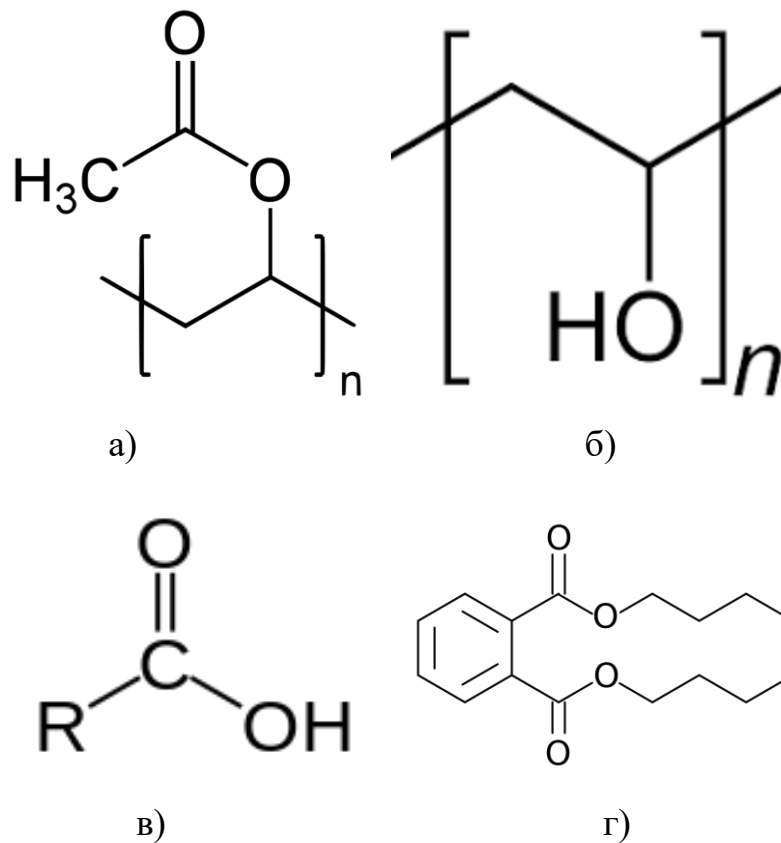


Рис. 5.3. Хімічні формули складових компонентів полівінілацетатних клеїв

а – полівінілацетат, б – полівініловий спирт, в - поверхнево активна речовина, г - дибутилфталат

Окрім того у цеху або поблизу комори із зберіганням полівінілацетатних клеїв повинен бути гідрант з водою для забезпечення гасіння пожежі у випадку її виникнення.

Вигляд протипожежного гідранта наведено на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Протипожежні гідранти у виробничих приміщеннях

Утилізація відходів полівінілацетатних клеїв повинна відбуватись згідно вимог протипожежної безпеки та екологічної безпеки. Для клейових матеріалів із легкозаймистими компонентами вимоги з протипожежної безпеки є більш жорсткішими щодо зберігання, транспортування та при технологічному процесі склеювання.

Компоненти синтетичних клеїв в більшості випадків представляють собою токсичні речовини, тому працівники, що працюють з клеями, повинні пройти інструктаж про властивості даних компонентів і знати правила техніки безпеки.

Окрім того цехи де використовується склеювання повинно бути забезпечене вентиляцією. Це може бути як місцева вентиляція так і загального призначення. При роботі з полівінілацетатними клеями необхідно користуватися засобами індивідуального захисту. А саме використовувати рукавиці для захисту рук від попадання клею. При попаданні клею на відкриті ділянки тіла, місце попадання клею необхідно промити водою з милом. Також заборонено палити, приймати їжу у таких приміщеннях. Мити робочі ємності де зберігався клей необхідно у спеціально відведених для цього місцях.

В загальному, з точки зору техніки безпеки праці та протипожежної безпеки клеї на основі полівінілацетатної дисперсії не несуть небезпеки.

5.2. Робота з полівінілацетатними клеєм у лабораторних умовах

Проводячи експериментальні дослідження відповідно до методики, яка наведена у розд. 3 необхідно багато часу проводити у лабораторіях, та мати справу із лабораторним устаткуванням. Тому важливим при цьому є правила техніки безпеки.

При роботі з полівінілацетатними клеями у науковій лабораторії необхідно дотримуватися наступних правил техніки безпеки:

- робоче місце повинно бути чистим, а поверхня робочої зони мати бути виготовлена із стійких до хімічних речовин матеріалів;

- посуд для приготування клею повинен бути стійким до удару, а його поверхня легко митися;
- склеювання деревини повинно проводитись на спеціально відведеному місці, бажано із вентиляцією;
- при роботі із клеєм використовувати гумові рукавиці;
- для захисту очей використовувати окулярами;
- після роботи з клеями, руки помити під проточною водою із використанням засобів для миття рук;
- у випадку потрапляння клею на обличчя або в очі, необхідно терміново промити теплою водою із милом;

Техніка безпеки при склеюванні деревини полівінілацетатними клеями:

- установка для склеювання деревини повинна бути справною;
- не проводити завантажування та розвантаження зразків у прес під час його роботи;
- виштовхувати склеєні деталі з преса тільки за допомогою спеціальних пристроїв;
- по закінченні роботи плити преса опускати;
- по закінченні роботи преса відімкнути від мережі живлення;
- оскільки робочою рідиною пресу є технічна олива, тому слід особливу увагу приділяти протипожежній безпеці.

Техніка безпеки при роботі на розривній машині:

- машина повинна бути справною;
- всі органи керування повинні бути на видному та доступному місці ;
- встановлення та зняття зразків повинно здійснюватись при вимкненому двигуні.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Відповідно до виконаної мною магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Здійснено аналіз літературних джерел щодо використання клейових деревинних конструкцій. Проаналізовано клеї, які використовуються для склеювання деревини та наголошено на перспективності використання екологічно безпечних клейових матеріалів на основі полівінілацетатної дисперсії. Проаналізовано деревину як основний матеріал для виготовлення деревинних конструкцій, її властивості та їх вплив на формування міцних клейових з'єднань, та вплив природніх факторів на зміну міцності клейових з'єднань деревини під час експлуатації.

2. Здійснено теоретичні припущення щодо механізму формування полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни. Описано механізм формування клейових шару, залежно від пористості деревини та способу механічної обробки. Висунуто передбачення щодо дії природніх факторів на екологічно безпечні клейові з'єднання деревини. А саме вологості, температури та дії сонячного опромінення як на клейовий шов, деревину та клейове з'єднання деревини сосни назагал.

3. Підібрано методику експериментальних досліджень щодо зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями для визначення зміни їх міцності під час експлуатації у природніх та лабораторних умовах. Запропоновано використати методику тривалих та пришвидшених експериментальних досліджень щодо визначення впливу вологи, температури та сонячного опромінення на зміну міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями.

4. На основі результатів експериментальних досліджень проведених у природніх та лабораторних умовах, щодо зміни міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями побудовано графічні залежності зміни міцності від дії природніх факторів та вологи і температури

у лабораторних умовах. Встановлено, що зміна міцності екологічно безпечних клейових з'єднань деревини сосни змінюється за спадаючою залежністю.

5. Встановлено, що вологість і температура навколишнього середовища дещо по різному впливає на механізм руйнування клейових з'єднань. Особливо небезпечними для полівінілацетатних клейових з'єднань деревини є циклічна діє цих двох факторів. Довготривала їх дія призводить до зміни пружно-деформаційного стану клейової конструкції та її руйнування.

6. Описано вплив позитивний вплив температур нижчих за нуль градусів на зміну міцності клейових з'єднань деревини сосни склеєної полівінілацетатними клеями.

7. Побудовано та проаналізовано графічні залежності одночасної дії вологості та температури на полівінілацетатні клейові з'єднання деревини сосни склеєні клеєм із ступенем навантаження Д4.

8. Запропоновано заходи щодо техніки безпеки, протипожежної безпеки, поводження з відходами. Проаналізовано основні екологічні заходи безпеки для полівінілацетатних клеїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кшивецький Б.Я. Міцність та довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини: монографія. /Б.Я. Кшивецький, І.Й. Тивунька. – Львів: ТзОВ Галицька видавнича спілка,, 2018. – 188 с. [122] іл. [19] табл. – Бібліограф. с. 209 (268 назв) – ISBN 978-617-7363-76-6.
2. Тлумачний словник з деревооброблення / уклад.: Б. Прокопович, І. Войтович, С. Гайда, Б. Кшивецький. – Львів.: Ромус-Поліграф, 2002. – 280 с.
3. Halyna Datskiv, Bogdan Kshyvetskyu, Results of experimental studies on the strength of adhesive-bonded joints of thermally modified ash wood. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. Vol. 14, No. 1, 2023 с. 27- 38.
4. Я. Кшивецький, Г. М. Дацків, Андрашек Й.В. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину Й. В. *Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2019. Т. 25, №3 С. 81-85. <https://doi.org/10.15421/40290317>
5. Михайлівська Г.Є., Панов В.В. Клеї для склеювання деревини. Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2002. – 179 с.
6. Corte-Real, L.M.R.M.; Jalali, S.; Borges, C.S.P.; Marques, E.A.S.; Carbas, R.J.C.; da Silva, L.F.M. Development and Characterisation of Joints with Novel Densified and Wood/Cork Composite Substrates. *Materials* **2022**, 15, 7163. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Devi, R.R.; Maji, T.K. Effect of glycidyl methacrylate on the physical properties of wood–polymer composites. *Polym. Compos. J.* **2007**, 28, 1–5. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
8. Кусняк І.І. Екологічність фанери склеєної термопластичною плівкою. Сучасний рух науки: тези доп. X міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., 2–3 квітня 2020 р. Дніпро: Міжнародний електронний науково-практичний журнал "WayScience", 2020. Т1. С. 660–664.

9. Бехта П.А., Кусняк І.І. Термопластичні полімери у виробництві фанерної продукції: переваги, можливості та перспективи застосування. Наукові праці Лісівничої академії наук України. Львів, 2018. Вип. 16. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.15421/411815>
10. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства: Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
11. Гупало О. П., Тушницький О. П. Хімія деревини. Підручник. – 2-ге вид., випр. і доп. – К.: Знання, 2008. – 276 с.
12. Дацків Г.М., Кшивецький Б.Я. Щодо пришвидшених експериментальних досліджень міцності клейового з'єднань термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА. XI Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 26 – 27 травня 2021 р., С. 175.
13. ДСТУ EN 205:2014 Клеї несиллові для деревини. Метод визначання міцності з'єднання внапусток під час поздовжнього розтягування на зсув (EN 205:2003, IDT).
14. ДСТУ EN 204:2014 Клеї термопластичні несиллові для деревини. Класифікація (EN 204:2001, IDT).
15. ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT).
16. ДСТУ EN 1313-2:2018 Лісоматеріали круглі та пиляні. Допустимі відхилення та переважні розміри. Частина 2. Піломатеріали твердолистяних порід (EN 1313-2:1998/AC:1999, IDT)
17. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. – Львів: електрон. навч. пос. – 228 с.
18. Кшивецький Б.Я., Гупало О.П. Проблеми використання клейових з'єднань на основі термопластичних клеїв. Науковий вісник УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.2.- С. 23--26.

19. Кшивецький Б.Я., Солонинка В.Р. Термопластичні композиції на основі полівінілацетату (ПВА) та їх використання в деревообробній галузі / Науковий вісник НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.6. – С. 92-95.

20. Пилипчик М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень. Київ: Знання, 2007. 207 с.

21. Dunky M. Adhesives in the Wood Industry. August 2003. DOI:10.1201/9780203912225.ch47.