

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ДИЗАЙНУ

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки
життєдіяльності

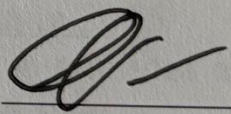
Пояснювальна записка

до диплому/роботи магістра

на тему: «Дослідження міцності термопластичних
клейових з'єднань деревини залежно від режимних
параметрів склеювання»

Виконав: студент VI курсу, групи ДМТ- 61м

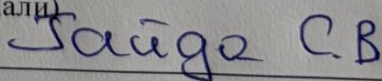
Спеціальності «Деревообробні та
меблеві технології»

Трунко Р. Б. 
(прізвище та ініціали)

Керівник

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

Рецензент



(прізвище та ініціали)

Львів 2025

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 «Деревообробні та меблеві технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД

проф. Кшивецький Б. Я.

“ 15 ” вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ

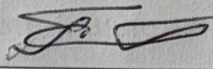
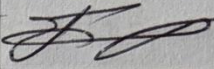
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Трунко Ростислав Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Дослідження міцності термопластичних клейових з'єднань деревини залежно від режимних параметрів склеювання»
керівник роботи Кшивецький Богдан Ярославович, доктор техн. наук, професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від “ 10 ” 06 2025 року № С-344.
- Строк подання студентом роботи до 15 грудня 2025
- Вихідні дані до роботи. Вихідними даними для роботи є клейові з'єднання зразків деревини вільхи та термопластичні полівінілацетатні клеї.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - Аналіз літературний джерел.
 - Методика досліджень.
 - Теоретичний розділ.
 - Результати досліджень.
 - Розділ з охорони праці.
- Висновки.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
- Презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сомар Г.В.		

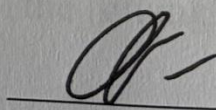
7. Дата видачі завдання _____ 18 червня 2025 року

Керівник проекту _____ проф. Кшивецький Б.Я.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

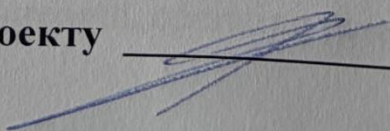
№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	до 01.09.25	
2.	Методика досліджень	до 15.09.25	
3.	Теоретичний розділ	до 01.10.25	
4.	Результати досліджень	до 20.09.25	
5.	Розділ з охорони праці	до 15.11.25	
	Висновки	до 01.12.25	
	Оформлення роботи	до 15.12.25	

Студент



Трунко Р. Б.

Керівник проекту



проф. Кшивецький Б.Я.

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота складається із: пояснювальної записка - 55 стор., 21 рисунка, 4 таблиці, 18 літературних джерел.

Робота присвячена дослідженню міцності клейових з'єднань деревини листяних порід термопластичними клеями в залежності від режимних параметрів склеювання. Проведено експериментальні дослідження з визначення впливу режимних параметрів технологічного процесу склеювання на міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна термопластичними полівінілацетатними клеями. Підібрано методику та здійснено теоретичні та експериментальні дослідження відповідно до діючих стандартів. Отримано результати дослідження, здійснено їх обробку та аналіз щодо впливу режимних параметрів на міцність клейових з'єднань деревини породи вільха. Теоретично обгрунтовано зміну міцності клейових з'єднань деревини породи вільха в залежності від режимних параметрів склеювання.

Ключові слова: клей, деревина, міцність, режимні параметри, клейове з'єднання, склеювання.

ABSTRACT

Master's thesis: explanatory note: 55 pages, 21 figures, 4 tables, 18 sources.

The work is devoted to the study of the operating parameters of gluing hardwood with thermoplastic adhesives depending on the operating parameters of the gluing process. Experimental studies were conducted to determine the influence of the operating parameters of the gluing process on the strength of the adhesive joint of alder wood glued with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. The methodology was selected and theoretical and experimental studies were carried out in accordance with current standards. The results of the study were obtained, processed and analyzed regarding the influence of operating parameters on the strength of adhesive joints of alder wood. The change in the strength of adhesive joints of alder wood depending on the operating parameters of the gluing process was theoretically substantiated.

Keywords: Glue, wood, strength, operating parameters, adhesive joint, gluing

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Магістерська робота присвячена дослідженню міцності клейових з'єднань деревини листяних порід залежно від режимних параметрів склеювання. Для цього необхідно виконати наступні етапи наукової та дослідницької роботи:

1. Проаналізувати літературу з даного напрямку дослідження.
2. Запропонувати методику проведення експериментальних досліджень з вивчення зміни міцності клейового з'єднання залежно від режимних параметрів склеювання.
3. Теоретично описано процеси зміни міцності клейового з'єднання деревини породи вільха від режимних параметрів склеювання.
4. Експериментальні дослідження впливу режимних параметрів склеювання на міцність клейових з'єднань деревини вільха та їх аналіз.
5. Безпека праці під час склеювання деревини.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Характеристика клеїв для склеювання деревини.....	10
1.2. Деревина та її вплив на міцність клейових з'єднань	13
1.3 Аналіз режимних параметрів склеювання.....	16
1.4 Вплив факторів на міцність склеювання.....	20
1.5 Висновки з розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Підготовка матеріалів до склеювання.....	24
2.2 Визначення міцності клейових з'єднань.....	26
РОЗДІЛ 3. ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	28
3.1 Теоретичні основи впливу витрати клею на міцність клейових з'єднань деревини.....	28
3.2 Теоретичні основи впливу тривалості пресування на міцність клейових з'єднань деревини.....	32
3.3 Висновки з розділу.....	35
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	36
4.1 Результати досліджень впливу витрати клею на міцність клейових з'єднань деревини.....	36
4.2 Результати досліджень впливу тривалості пресування на міцність клейових з'єднань деревини.....	42
4.3 Висновки з розділу.....	45
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
5.1 Заходи з екологічної безпеки при склеюванні деревини вільха	47
5.2 Заходи з безпеки праці при склеюванні деревини вільха	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. Технологічний процес склеювання відіграє важливе значення для клейових з'єднань деревини, оскільки від нього залежить адгезійна і когезійна міцність. Як відомо із огляду літературних джерел, склеювання деревини широко використовується, оскільки дозволяє отримати міцне та довговічне з'єднання, яке відповідає сучасним вимогам. Найбільше для склеювання використовують ті породи деревини, які поширені в Україні, а це сосна, ялиця, ялина, дуб, бук, береза, вільха, граб, ясен, тощо. Кожна порода деревини володіє певними властивостями, які під час склеювання можуть відігравати важливу роль, оскільки адгезійна міцність буде залежати від фізичних, механічних та хімічних властивостей деревини. Тому, при склеюванні деревини необхідно враховувати властивості деревини.

Разом з тим, важливе значення для забезпечення належної адгезійної і когезійної міцності відіграють і клеї, які використовуються для склеювання деревини, оскільки вони також характеризуються певними властивостями, які необхідно враховувати при склеюванні. Врахування та поєднання властивостей деревини та клеїв при склеюванні, дозволяє забезпечити клейовим з'єднанням деревини хорошу адгезійну та когезійну міцність. Окрім того, важливе значення при склеюванні для забезпечення адгезійної і когезійної міцності клейовим з'єднанням деревини відіграють режимні параметри склеювання, які будуть залежати від умов склеювання.

Клеї, які використовуються для склеювання, залежно від їх характеристик, вимагають відповідного технологічного обладнання, устаткування та режимних параметрів склеювання. Це потрібно враховувати під час технологічного процесу склеювання деревини. Щодо режимних параметрів, то вони будуть залежати від характеристики клею, умов експлуатації клейового з'єднання, механізму формування клейового шва, тощо. Тому, для забезпечення якісного клейового з'єднання, необхідно дотримуватись режимних параметрів склеювання.

Важливе значення під час технологічного процесу склеювання, має порода деревини, її властивості та якість її підготовки до склеювання. Технологічний процес підготовка деревини до склеювання включає ряд технологічних операцій, які необхідно здійснити.

Тому, у своїй магістерській роботі я хочу дослідити вплив режимних параметрів склеювання на міцність клейових з'єднань деревини листяних порід, а саме вільхи, оскільки дана порода деревини відноситься до м'яколистяних порід, і має свої особливості при склеюванні, від яких буде залежати адгезійна та когезійна міцність клейових з'єднань під час їх експлуатації.

Мета роботи: дослідити міцність клейових з'єднань деревини породи вільха, в залежності від режимних параметрів склеювання, що дасть можливість забезпечити клейовому з'єднанні належну адгезійну та когезійну міцність під час експлуатації.

Об'єкт дослідження: клейові з'єднання листяних порід деревини.

Предмет дослідження: режимні параметри технологічного процесу склеювання деревини вільха термопластичним полівінілацетатними клеями.

Задачі дослідження:

1. Зробити огляд літературних джерел щодо клейових з'єднань деревини, їх адгезійної і когезійної міцності в залежності від режимних параметрів склеювання.
2. Опрацювати методику експериментальних досліджень для визначення міцності клейових з'єднань деревини залежно від режимних параметрів склеювання.
3. Теоретично дослідити вплив режимних параметрів склеювання на зміну адгезійної та когезійної міцності листяних порід деревини.

4. Провести експериментальні дослідження щодо зміни адгезійної і когезійної міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини породи вільха.

5. Розділ з безпеки праці.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Характеристика клеїв для склеювання деревини

Для склеювання деревини використовують клейові матеріали, тобто адгезиви, що складаються із речовин, які здатних з'єднувати між собою різні матеріали. Клейове з'єднання формується шляхом утворення між поверхнями, що склеюються та адгезивом міжмолекулярних, міжфазних зв'язків тощо. Адгезиви для склеювання деревини поділяють на дві групи, а саме природнього і синтетичного походження. У природніх адгезивах, клеюча речовина є тваринного або рослинного походження. У адгезивах синтетичного походження клеючою речовиною є полімери та співполімери, що синтезовані хімічним методом. [1,3]

Адгезиви природнього походження зараз практично не використовуються. Адгезиви синтетичного походження поділяються за певними ознаками в залежності від способу одержання та механізму формування клейового з'єднання.

За кількості компонентів, клеї поділяють на прості і комбіновані. За зовнішнім виглядом на рідкі, плівкові та порошкоподібні. За умовами склеюванням на холодного гарячого. За водостійкістю на водостійкі та неводостійкі.

Найбільш проста класифікація клеїв побудована на хімічній природі і властивостях адгезиву. Тому, їх поділяють на термореактивні, термопластичні та еластомери.

Термореактивні клеї після твердіння формують сітчасту будову, що надає клейовому з'єднанню водостійкості, вологостійкості, морозостійкості і теплостійкості. До таких клеїв відносять фенол-формальдегідні, карбамідо-формальдегідні, епоксидні, поліефірні клеї та інші.

Процес склеювання деревини термореактивними клеями відбувається шляхом утворення адгезійних зв'язків між полімером клею та матеріалом що склеюється. Синтетичні клейові матеріали формують розгалуженої або сітчасту

будови. Процес твердіння таких клеїв відбувається за кімнатної або підвищеної температури. Клеї бувають одно- і багатокомпонентними. Багатокомпонентні клеї складаються з основи та затверджувача. Вони мають добру адгезію до деревини, формують належну міцність і довговічність клейовим з'єднанням. Недоліками цих клеїв є крихкість і шкідливість клейового з'єднання. Використовують такі клеї у конструкціях, які несуть різного роду фізичні навантаження, або експлуатуються у змінних температурно-вологісних умовах.

Термопластичні клеї формують лінійну або рідкосітчасту структуру клейового шва, надаючи клейовому з'єднанню еластичності належної водостійкості. Окрім того такі клеї є екологічно безпечними. Вони поділяються на водорозчинні і вододисперсійні. У термопластичних клеях окрім основи (полімеру) і розчинника (води) додають наповнювачі, інгібітори, тощо. Для прикладу, при виготовленні карбонільного клею, використовують поліконденсацією вінілацетилену з ацетоном в присутності їдкої калію в розчині ефіру. Перхлорвінілові клеї одержують розчиненням сухої перхлорвінілової смоли. [1,2]

Одними з найбільш поширених для склеювання деревини, на сьогоднішній день, є клеї на основі полівінілацетатної дисперсії (ПВАД). Полівінілацетат вперше отримали у 1915р.. Промислове використання для склеювання деревини розпочалось із 1944 р. у США.

Щодо полівінілацетатних клеїв, то вони мають високу адгезію до деревини. Формують еластичний клейовий шар, що зменшує концентрації внутрішніх напружень у клейовому з'єднанні. Окрім того, мають високу стабільність при зберіганні, є хімічно нейтральним, і екологічно безпечним. Сформований клейовий шов є безколірним, що може використовуватися для склеювання будь-якої породи деревини.

На рис. 1.1 наведено класифікацію клейових матеріалів, які використовуються для склеювання деревини.

Щодо технологічного процесу склеювання то він простий, не вимагає складного устаткування та затрат на енергоносії. Під час механічної обробки,

не призводить до затуплення ріжучого інструмента. Термін використання таких клеїв практично необмежений. Такі клеї мають високу життєздатність. [1]



Рис. 1.1 Класифікація клеїв для склеювання деревини.

До основних недоліків полівінілацетатних клеїв відносять їх невисоку теплостійкість, водостійкість та повзучість при статичних навантаженнях. На сьогоднішній день водостійкість та вологостійкість таким клеям забезпечена за

рахунок додавання до основи клею затверджувача. Клеї із затверджувачем бувають однокомпонентними та двокомпонентними.

Полівінілацетату дисперсію, яка є основою полівінілацетатного клею, отримують за температури 65...90 °С, у співвідношенні вінілацетату і води 1:1 або 1:2 і наявності 0,1...0,5 мас. ч. емульгатора. За фізичною структурою дисперсія є молочно-білою суспензією.

Процес твердіння відбувається за рахунок того, що випаровується вода із клейового шва, або відбувається її поглинання деревиною. Із втратою води глобули у дисперсії наближаються одна до одної тих пір, поки не притиснуться одна до одної, утворюючи тим самим клейовий шов. Властивості клейового шва будуть залежати від кількості пластифікатора, який додають до клею. За відсутності пластифікатора, глобули полівінілацетату, які покриті плівками з полівінілацетатного спирту, при кімнатній температурі не можуть злитися у суцільну масу. Тим самим не формують клейового шва. За допомогою пластифікатора глобули м'якнуть, стають клейкими і зливаються в еластичну плівку із високою адгезією до деревини та інших матеріалів. Кількість пластифікатора у полівінілацетатних клеях може бути в межах від 4 до 7% у розрахунку на полімерну частину. [2,10]

Умовою плівкоутворення у полівінілацетатних клеях є температура склеювання. При склеюванні за температури нижче 12°C глобули дисперсії твердішають, і стають менш еластичними та клейкими. Це призводить до того, що клейовий шов не формується. Із збільшенням кількості пластифікатора температура склеювання може знижуватися до 9...10°C, а при 15% і до 5°C. Мінімальна температура плівкоутворення полівінілацетатного клею зумовлюється водневим показником, що становить 4,5...6. Якщо використовувати підкислювач, то мінімальна температура плівкоутворення знижується до 1...2°C. Тоді полівінілацетатні клеї для склеювання можна використовувати в будь яку пору року. [2]

Тому, оптимальна температура склеювання для полівінілацетатних клеїв повинна бути значно вищою від мінімальної, а саме не нижче +20 °С.

Полівінілацетатні дисперсії виготовляють понад 23 марки. Вони бувають непластифіковані і пластифіковані. Як пластифікатор використовують

дибутилфталат або дибутилсебаціанат. Вони бувають низької в'язкості (Н), середньої в'язкості (С) і високої в'язкості (В).

Для склеювання деревини найчастіше застосовують полівінілацетатний клей із густиною 1020...1030 кг/м³ та водневим показником рН=4,5...6. Широке використання цих клеїв, для склеювання деревини, зумовлене їх високою адгезійною міцністю, стійкістю до короткочасного впливу води і вологого повітря, морозостійкістю. Полівінілацетат є стійкий до понижених температур, а саме він витримує до -40⁰С. При температурі +60...70⁰С полімер стає м'яким, що призводить до знижується міцність клейового з'єднання. [2]

Основні марки термопластичних полівінілацетатних клеїв, які використовуються для склеювання деревини „Клебхемі”, „Хенкель Дорус”, „Акзо Нобел”, „Йоват” та ін.

1.2. Деревина та її вплив на міцність клейових з'єднань

Для склеювання при виготовленні виробів використовують різні породи деревини. В залежності від породи, деревина, як природній, клітинно-волокнистий, пористий та гідрофільний матеріал, буде мати вплив на міцність клейового з'єднання, оскільки поверхня деревини має волокна, судини, клітини, які контактують із клеєм.

Окрім макроструктурних нерівності на поверхні деревини, на міцність клейового з'єднання матиме вплив порода деревини, її будова та хімічний склад. Науковцями доведена залежність між міцністю клейового з'єднання та густиною деревини. Важливе значення для забезпечення належної міцності клейового з'єднання, має співвідношення ранньої та пізньої зони на поверхні деревини, вологість деревини, кут нахилу волокон, хімічний склад тощо.

Структура поверхні деревини буде впливати на питому витрату клею, його в'язкість, концентрацію тощо. При склеюванні клей повинен добре змочувати поверхню деревин, оскільки від змочування буде залежати розтікання клею по поверхні. Тобто, клей повинен мати відповідну в'язкість та концентрацію. Якщо в'язкість клею є низькою, то деревина буде сорбувати значну його кількість. Це призведе до поганого клейового з'єднання. Окрім

того, надмірне всмоктування клею деревиною може призвести до утворення дефектів процесу склеювання, який на практиці називають „голодним склеюванням”. [1]

На рис. 1.2. наведено властивості деревини

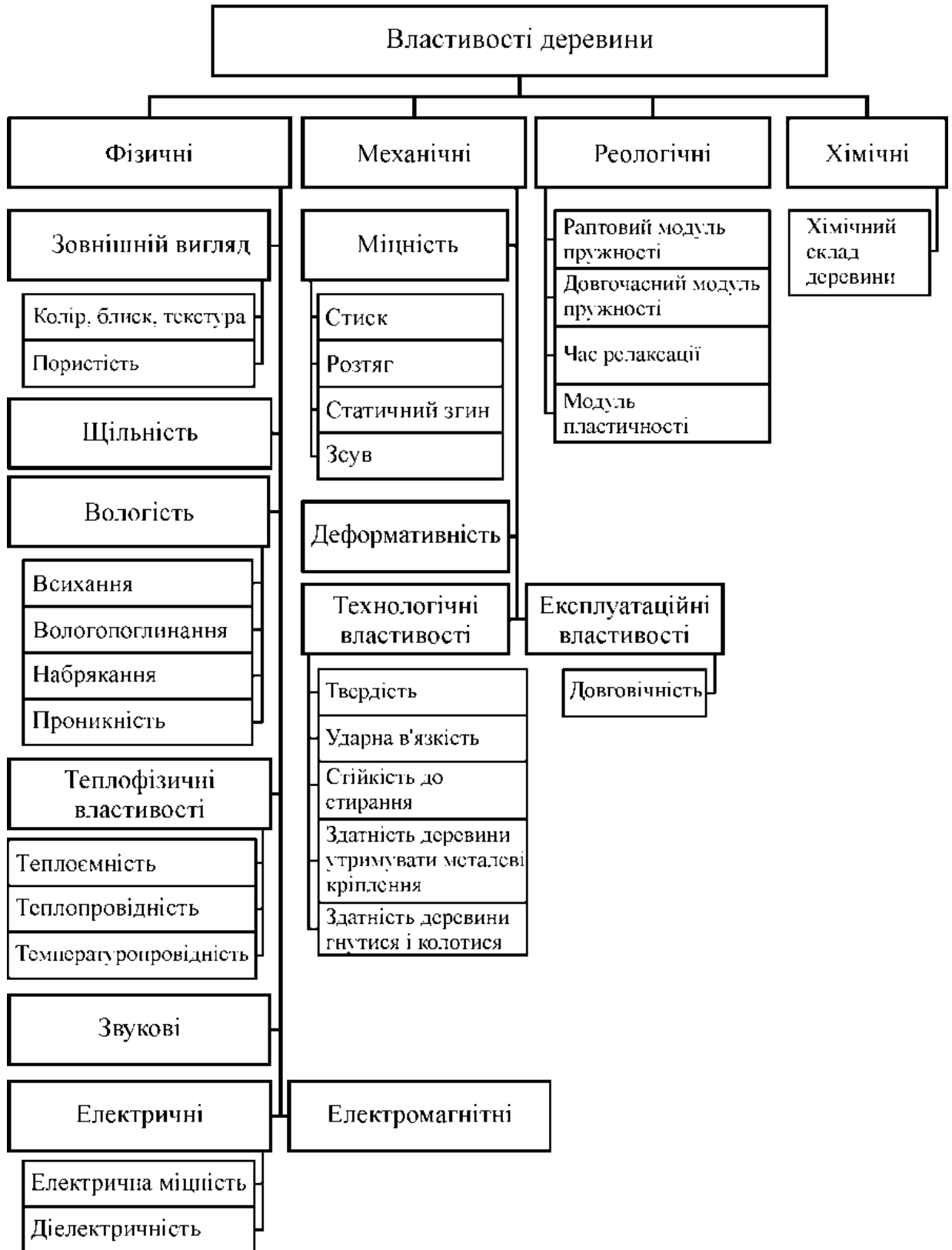


Рис. 1.2 властивості деревини

Із рис. 1.2 видно, що деревина володіє широким спектром властивостей, які будуть мати вплив на формування адгезійної міцності клейового з'єднання.

Всмоктування деревиною клею буде проходити у більш пористій деревині, і буде залежати від довжини і напрямку волокон поверхні деревини, що піддається склеюванню. Важливе значення при склеюванні, має кут нахилу волокон деревини на площині склеювання. Теоретично кут нахилу волокон до клейового шару, в залежності від розрізів, зможе змінюватися від $0...90^{\circ}$. При зміні кута нахилу волокон, проникання клею у деревину може збільшуватися у десятки разів, а саме від 15...150 разів. Із збільшення кута нахилу волокон, міцність клейового з'єднання буде знижуватися. Це пояснюється тим, що деревина всмоктує клей, тоді клейовий шов залишається незаповненим. [3]

На рис. 1.3. наведено можливі варіанти з'єднання деревини за допомогою клею.

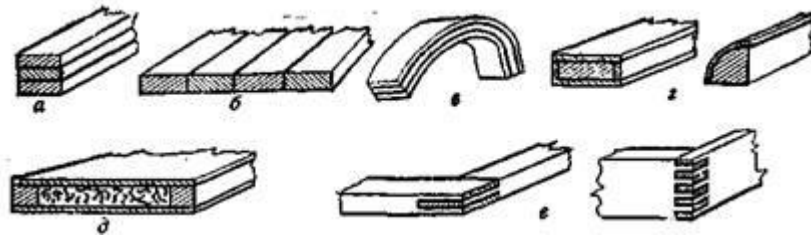


Рис. 1.3. Основні види склеювання деревини

- а) за товщиною, б) за шириною, в) гнutoклеєні елементи, г) столярна плита, д) личкування е) столярні з'єднання.

При склеюванні деревини важливо її розглядати як субстрат, оскільки когезійні властивості в одній породі деревини є неоднорідними, що пояснюється її будовою, пористістю, гідрофільністю, тощо. Важливе значення при склеюванні має вологість деревини, особливо у діапазоні $0...30\%$, оскільки у даному діапазоні, деревина при змін вологості змінює свої лінійні розміри, та створює небезпеку, особливо для крихких клейового шва, які мають погані еластичні властивості.

Такі властивості деревини ускладнюють процес склеювання, та відносить його до технологічного процесу, що характеризується певною специфікою під час склеювання.

1.3. Аналіз режимних параметрів склеювання

До режимних параметрів склеювання деревини відносять: витрату клею, тиск пресування, тривалість пресування, технологічну витримку, температуру склеювання, стан поверхні, що склеюється, відкриту витримку, закриту витримку, вологість та температура в приміщенні де проходить процес склеювання, та інші фактори. Всі вони мають прямий або опосередкований вплив на технологічний процес склеювання та отриману міцність клейового з'єднання.

Особливу увагу при склеюванні деревини ставлять до клеїв. Вибір клею буде залежати від матеріалів, що склеюються та умов експлуатації клейового з'єднання. Тому, при виборі клею для склеювання, необхідно враховувати цілу низку вимог, які ставлять до клейового з'єднання, серед яких технологічні та експлуатаційні.

До технологічних вимог відносять можливість клею легко наносити на поверхню, що склеюється та простоту технологічного процесу склеювання. Окрім того, клей повинен мати стабільні властивості, тривалий термін зберігання та достатню життєздатності після його приготування до склеювання, формувати клейове з'єднання за кімнатної температури, тощо. Разом з тим, клей повинен відповідати сучасним вимогам, тобто не виділяти шкідливих речовин, як під час склеювання та і під час експлуатації клейового з'єднання. Також до клею можуть ставитися і особливі вимоги, такі як підвищені діелектричні властивості, тощо.

Щодо експлуатаційних вимог, то клеї повинені формувати міцне та довговічне клейове з'єднання із деревини, включаючи належну волого- і водостійкість, не повинені мати негативного впливу на деревину, змінювати її колір. Клейовий шар має бути еластичним, щоб запобігти пружно-

деформаційним процесам під час експлуатації, клейовий шар має бути термостійким, тощо. Окрім даних вимог клей повинен забезпечувати екологічні вимоги. Тобто бути доступним та недорогим. Вартість клею має бути мінімальною, а сировина недефіцитною і недорогою. [2.4]

Щодо технологічного процесу склеювання, то він повинен включати стандартні технологічні операції:

- підготовка клею;
- підготовка деревини;
- нанесення клею;
- пресування;
- технологічна витримка;
- обробка склеєної деревини.

Перераховані технологічні операції повинні виконуватися у певній послідовності із дотримання режимних параметрів.

До режимних параметрів відносять:

- ✓ питому витрату клею;
- ✓ витримку перед пресуванням;
- ✓ питомий тиск пресування;
- ✓ температура пресування;
- ✓ тривалість пресування;
- ✓ технологічна витримка;
- ✓ стан поверхонь деревини;
- ✓ параметри навколишнього середовища.

Режимні параметри склеювання поділяють на основні та допоміжні. До основних технологічних параметрів режиму склеювання відносять параметри, які мають найбільший вплив на формування адгезійної і когезійної міцності. До таких параметрів відносять: витрату клею, питомий тиск пресування та тривалість пресування.

Витрата клею відіграє важливу роль, оскільки впливає на якість формування адгезійної і когезійної міцності. При недостатній витраті клею,

клеювий шар буде несучільним, навіть за високого тиску пресування, що призводить до можливого потовщення клею, та виникнення внутрішніх напружень, які здатні зруйнувати клейове з'єднання деревини під час його експлуатації.

Витрата клею визначається багатьма факторами, серед яких будова деревини, стан поверхонь деревини, в'язкість клею, температура склеювання, тощо. М'які листяні породи вимагають збільшення витрати клею, оскільки вони є більш пористими. Витрата клею при склеюванні деревини полівінілацетатними клеями в середньому становить 120-160 г/м². Щодо термореактивних, для прикладу карбамідо-формальдегідних, то витрата клею становить 180-220 г/м². Температура склеювання також має вплив на витрату клею. Із підвищеною температурою склеювання витрата клею буде зменшуватися.

Тиск пресування відноситься до основних режимних параметрів склеювання, оскільки дозволяє рівномірно розмістити клей по площі склеювання деревини, та максимально створити контакт деревини, що склеюється між собою. Міцність клейового з'єднання зростає зі зменшенням товщини клейового шару. Це зумовлено тим, що при підвищеному тиску пресування збільшується відсоток орієнтованих молекул в граничних шарах клею.

При невеликій площі контакту заготовок із деревини шпилькових порід, питомий тиск пресування становить 0,1-0,3 МПа, листяних до 0,5 МПа. При склеюванні великих за розмірами деревинних заготовок з деревини шпилькових порід питомий тиск пресування становить 0,3-0,5 МПа, листяних 0,8-1,0 МПа.

Щодо температури склеювання, то вона впливає на в'язкість клею, тривалість склеювання, тривалість технологічної витримки. При склеюванні деревини полівінілацетатними клеями використовують кімнатну температуру склеювання. За кімнатної температури технологічний процес склеювання проходить з однаковою швидкістю затвердіння клейового шва.

Тиск це третій основний фактор, який впливає на формування адгезійної і когезійної міцності клейових з'єднань деревини. Для цього режимними параметрами регламентується тривалість пресування, тобто рекомендований час, за який клейове з'єднання деревини сформується частково. Цей час для того, щоб утворити адгезійні зв'язки між клеєм і деревиною, та когезійні зв'язки в середині клею. На тривалість пресування також впливають такі параметри, як в'язкість, температура та витрата.

Для полівінілацетатних клейових з'єднань деревини важливе значення має технологічна витримка після склеювання. Це час, за який клейове з'єднання деревини повинно сформуватися майже повністю. Така витримка повинна бути не менше 24 годин.

Для клейових з'єднань деревини, які склеюються при підвищених температурах, технологічна витримка необхідна для кондиціонування склеєних заготовок, оскільки за підвищених температур клейове з'єднання, як правило формується повністю, та для зменшення внутрішніх напружень у клейовому з'єднанні.

Щодо допоміжних режимних параметрів склеювання вони також відіграють важливу роль під час склеювання, але є більш стандартними для всіх клеїв, які використовуються для склеювання. Для прикладу стан поверхонь повинен забезпечуватися відповідною шорсткістю, недопущенням вад, тощо.

Важливе значення під час склеюванням має вологість деревини. Для забезпечення належної вологості заготовки із деревини піддають кондиціонуванню. Вологість заготовок, що піддають склеюванню повинні в межах 6...15%, залежно від подальших умов експлуатації склеєних виробів. Склеювання деревини за вологості від 10 до 30% знижує міцність з'єднання більш ніж в 2 рази.

Щодо шорсткості поверхні деревини, то вона повинна бути забезпечена на рівні 32...63 мкм. Таку шорсткість можна отримати методом струганням деревини за допомогою верстатів.

Також здійснюється і підготовка клейових матеріалу. До підготовки клею відносять додавання всіх необхідних складових клею та його перемішування з отриманням однорідної маси відповідної в'язкості та концентрації. Життєздатність клею після додавання всіх необхідних компонентів повинна мати певний час для забезпечення безперебійної роботи технологічного процесу.

Щодо нанесення клею, то воно може бути різним. Починаючи від пензля та закінчуючи розпиленням. Все залежить від заготовок що склеюються, технологічного процесу, тощо.

1.4. Вплив факторів на міцність склеювання

Міцність клейових з'єднань деревини має важливе значення, оскільки дозволяє забезпечити йому довговічність, нести фізичні навантаження, тощо. Від того, яка початкова міцність буде забезпечена клейовому з'єднанні деревини, залежатиме якісні показники клейового з'єднання. Тобто, все це буде залежати від початкової міцності клейового з'єднання деревини, яка забезпечується режимних параметрів під час технологічного процесу склеювання.

Як відомо, міцність клейового з'єднання деревини забезпечується адгезійною і когезійною міцністю під час склеювання. Клейове з'єднання вважається задовільним, коли адгезійна міцність клейового з'єднання є на рівні когезійної міцності деревини, що піддається склеюванню.

Як зазначалося вище, на міцність клейового з'єднання деревини впливає багато факторів. Але, щоб забезпечити адгезійну міцність клейового з'єднання деревини на рівні когезійної міцності деревини необхідно, щоб технологічний процес склеювання забезпечувався режимними параметрами склеювання. Когезійна міцність деревини буде залежати від щільності, пористості, хімічного складу деревини, тощо. На рис. 1.4. наведено структуру деревини отриману за допомогою мікроскопічного знімка. [1,2,3]

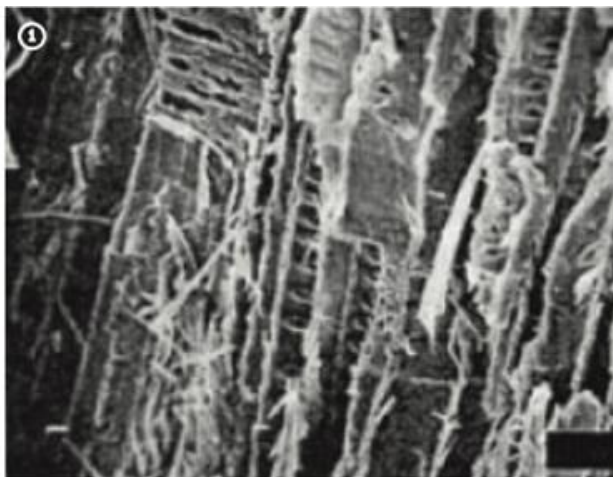


Рис 1.4. Структура деревини

Як видно із даного рисунка, деревина складається із волокон, клітин, та інших елементів та зв'язки, які характеризують її когезійну міцність під час експлуатації. У кожній породи деревини, навіть у одній заготовці, яка випиляна у різних місцях, буде своя когезійна міцність. Тому необхідно, щоб клейове з'єднання деревини відповідало когезійній міцності деревини, яка склеюється.

Початкова міцність клейового з'єднання залежить від правильного вибору і дотримання технологічних параметрів режиму склеювання, а також від якості підготовки деревинної підкладки та клею до склеювання. Міцність клейового з'єднання під час експлуатації буде залежати від властивостей характеристики клею та умов експлуатується, оскільки в процесі експлуатації склеєні вироби піддаються впливу різних факторів. Серед яких температура, вологість, сонячне проміння, тощо. Кожен з факторів має свій вплив на міцність клейового з'єднання.

При нагріванні клейового з'єднання міцність клейового шару і міцність деревини змінюється по різному. Деревина зменшує міцність лінійно і буде залежати від породи деревини. А когезійна зміна міцності клейового шва під час нагрівання буде залежати від структури полімеру. Термопластичні полімер за підвищених температур розм'якшуються і можуть плавити, після чого відбувається термічний розпад. За понижених температур також відбуваються термічні пружно-деформаційні процеси.

Другим важливим фактором, який впливає на міцність є волога. Довготривалий вплив вологи на клейові з'єднання призводить до появи пружно-деформаційних процесів у клейовому з'єднанні, які можуть призвести до його руйнування.

Третім важливим фактором, який впливає на міцність клейового з'єднання деревини є старіння клейового з'єднання за дії сонячного опромінення та інших факторів зовнішнього середовища. Внаслідок такої дії відбувається зменшення пластичності, та підвищення крихкості клейового з'єднання. А це призводить до зменшення міцності та руйнування клейового з'єднання.

Загалом, вплив зовнішніх факторів на міцність клейових з'єднань є важливим при виборі клею та технологічних параметрів режимів склеювання.

1.5. Висновки з розділу та задачі дослідження

1. Здійснено огляд літератури щодо клейових з'єднань деревини, їх міцності та технологічних параметрів склеювання. Проаналізовано клеї, які використовуються для склеювання деревини, їх класифікацію та властивості. Також проаналізовано деревину, її будову, властивості та вплив на адгезійну міцність клейових з'єднань. Особливу увагу приділено режимним параметрам склеювання, та вимоги до них під час технологічного процесу склеювання.

2. Проаналізовано зміну міцності клейових з'єднань деревини залежно від дії зовнішніх факторів та яку роль вони відіграють

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Підготовка матеріалів до склеювання

Відповідно до поставленої мети та задач досліджень, необхідно підібрати методику для проведення експериментальних досліджень з визначення міцності клейових з'єднань деревини залежно від режимних параметрів склеювання. Для цього необхідно підготували зразки деревини та клею, провести склеювання зразків та визначити міцність клейового з'єднання в залежності від зміни режимних параметрів склеювання.

Для дослідження міцності використовували деревину вільха, яка відноситься до м'яколистяних порід. Для виготовлення зразків, деревину спочатку піддавали сушінню до вологості $8\pm 2\%$. Після цього здійснювали механічну обробку з метою отримання заготовок відповідних розмірі, шорсткості та форми. Виготовленні зразки відповідати розмірам та формі відповідно до стандарту ДСТУ EN 204:2014. Схематична зображення зразка згідно із стандартом і наведено на рис. 2.1. [6.7]

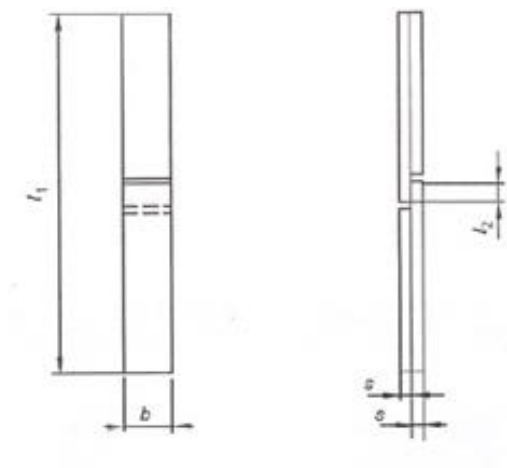


Рис. 2.1. Форма та розміри зразка.

Вологість зразків визначали для кожної партії заготовок окремо, шляхом заміру вологості у трьох місцях зразка із визначенням середнього значення. Вологість визначали за допомогою вологоміра марки RAD WAG WPS 110 S.

Зразки, які не відповідали вологості піддавали кондиціонуванню для отримання відповідної вологості, а саме $8\pm 2\%$.

Зразки відповідної вологості піддавали механічній обробці для отримання заготовок відповідних розмірі за довжиною, шириною та шириною згідно стандарту. Для цього використовували круглопилкові, фугувальні та рейсмусні верстати. Після цього заготовки піддавали склеюванню.

Вигляд заготовок для склеювання наведено на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Заготовка для склеювання.

Для склеювання зразків використовували полівінілацетатний клей класом довговічності D4 макри Йоваколь, який перед склеюванням готували. Для того, що клей був готовий до нанесення, необхідно до основи додати п'ять відсотків затривувача і все добре премішати, щоб не було б нерозмішаних частинок клею. Все це проводили у лабораторних умовах з використанням лабораторного устаткування.

Для змішування клею використовували скляний посуд та змішувальну паличку. Для зважування клею використовували аналітичну вагу. Для визначення в'язкості клею використовували вискозиметр марки ВЗ-4, який наведено на рис. 2.3.



Рис 2.3. Вискозиметр ВЗ-4

Підготовлений для склеювання клей наносили на одну із поверхонь деревини, що піддавали склеюванню за допомогою пензля. Після нанесення клею відбувався процес склеювання у пресі, який наведено на рис. 2.4.



Рис 2.4. Прес.

Після пресування заготовки піддавали технологічній витримці для повного формування клейового шва. Відповідно до характеристики клею, повне формування клейового шва, відбувається на протязі п'яти діб. Після технологічної витримки заготовки піддавали механічні обробці з метою надання їм відповідних розмірів та форми.

2.2. Визначення міцності клейових з'єднань деревини

Міцність клейових з'єднань деревини вільха, що склеєні полівінілацетатними клеями піддавали руйнуванню з метою визначення адгезійної та когезійної міцності. Для цього використовували розривну машину ИР 5057-50, яка наведена на рис. 2.5.

Отримані результати руйнування записували у журнал спостережень. Результати міцності аналізували та переводили в МПа, оскільки за допомогою

розривної машини міцність визначалась у кгс, а міцність деревини та з'єднань на її основі визначається у МПа.



Рис. 2.5 Розривна машина ИР 5057-50.

Отримані результати піддавали аналізу, а саме здійснювали математичну та статистичну обробку з метою виявлення грубих промахів, їх відкидання. За результатами математичної і статистичної обробки будували графічні залежності та здійснювали їх аналіз та опис.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРИТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Теоретичні основи впливу витрати клею на міцність клейових з'єднань деревини

Витрата клею відіграє важливу роль під час технологічного процесу склеювання, оскільки формує товщину клейової плівки, адгезійну міцність, заповнює пори деревини, тощо. Тобто процес переходу клею із рідкої фази у тверду є складним та тривалим, який буде залежати від багатьох факторів, а саме характеристики клею, деревини тощо. Розрізняють такі основні методи переходу термопластичних клеїв у тверду фазу із:

- розплавлених полімерів;
- рідких полімерів шляхом випаровування розчинника;
- суміші мономера з полімером.

Перехід, при склеюванні, із розплавлених полімерів у тверді термопласти відбувається із виділенням летких речовин без внутрішніх напружень, які зазвичай утворюються при формуванні клейового з'єднання.

Полівінілацетатні клеї твердіють, в основному за рахунок випаровування розчинника. У даному випадку розчинник відіграє важливу роль, тому повинен мати відносно низьку в'язкість та невисоку швидкість випаровування. Однак таке твердження є дискусійними, оскільки, якщо розчинник активний, то сприятиме частковому розчиненню полімеру і запобігатиме твердінню.

Особливої уваги заслуговує розчинник при склеюванні великих поверхонь, коли площа, що містить розчинник є велика. Тоді, випаровування розчинника при склеюванні буде ускладнено, особливо в центрі клейового з'єднання. Разом з тим, міцність клейового з'єднання буде залежати від формування клейового з'єднання по краях площі, що склеюється.

Для зменшення пружно-деформаційного стану у клейових з'єднаннях де є розчинник, необхідно дотримуватися регламентованої тривалості відкритої і закритої витримки після нанесення клею, оскільки кожний клей має

оптимальну тривалість відкритої і закритої витримки. При збільшенні цього інтервалу, клей втрачає початкову клейкість, та може утворювати тверду плівку. Недостатня тривалість відкритої або закритої витримки призводить до зменшення міцності клейового з'єднання. Відсутність відкритої і закритої витримки призводять до зменшення міцності клейового з'єднання.

Після нанесення клею на основу поверхні, за дії питомого тиску пресування, починається формування клейового з'єднання, тобто адгезійної і когезійної міцності. Процес формування клейового з'єднання може відбуватися з різною швидкістю. Швидке склеюванні відбувається за допомогою інтенсифікації процесу склеювання, а саме за дії підвищених температур, ультрафіолету, затверджувача тощо. Використання того чи іншого методу інтенсифікації процесу склеювання буде залежати від різних чинників та має велике практичне значення, оскільки дозволяє визначати оптимальні режимні параметри склеювання. [1,4]

Під час формування міцності, її контроль можна здійснювати на різних етапах склеювання. А саме під час формування клейового з'єднання на початковій стадії, після технологічної витримки при затвердінні та після досягнення клейовим з'єднанням кінцевої міцності. Найбільш впливовою є початкова витримка та витримка після технологічного процесу склеювання. У свою чергу кінцева міцність буде залежати від технологічного процесу склеювання.

Під час вибору режимних параметрів склеювання необхідно досягати мінімальної тривалості процесу склеювання. Оскільки це має вплив на продуктивність технологічного устаткування та загальну ефективність виробничого процесу.

Склеювання деревини за підвищених температур пришвидшує даний процес, але вимагає технологічної витримки для кондиціонування склеєних елементів, та подальшого наростання міцності.

При склеюванні в нормальних умовах, час досягнення необхідної міцності залежатиме від температури доквілля, за якої відбувається процес

склеювання. Теоретично можна припустити, що зменшення або збільшення температури на 2—4° призводить до збільшення або скорочення тривалості витримки під тиском в середньому на 10—15%.

При склеюванні за кімнатної температури досягнення міцності клейового з'єднання до моменту їх обробки на технологічному обладнанні можна визначати момент повноти затвердіння клею. А при склеюванні за підвищених температур для визначення міцності необхідно мати додаткову інформацію про стан клейового з'єднання.

Важливе значення під час технологічного процесу склеювання має вологість деревини. Використання, при склеюванні деревини вологості менше 8% призводить до підвищення в'язкості клею, зниження змочувальної здатності, зменшення пружно-деформаційних процесів, та погіршення контактування деревини із клеєм. Однак за надмірно високої вологості деревини зменшується в'язкість клею та сповільнюється процес затвердіння клею.

Щодо витрати клею при склеюванні деревини вільха, то тут є свої особливості, оскільки дана порода деревини відноситься до м'яколистяних порід, що характеризується певними фізичними та механічними властивостями, а саме високою пористістю, гідрофільністю, тощо. На рис. 3.1 наведено розріз листяної породи деревини, а саме м'яколистяної та твердолистяної.

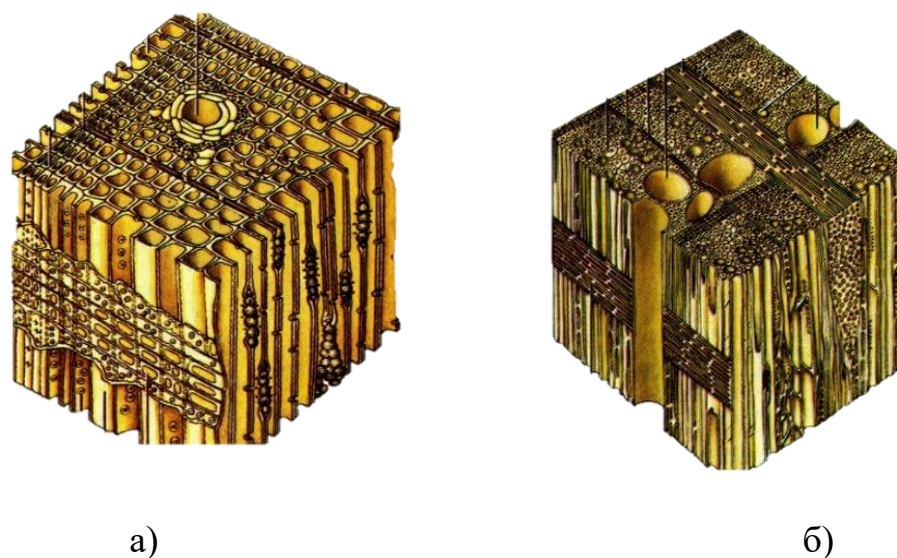


Рис. 3.1. Структура м'яколистяної і твердолистяної породи деревини
а – м'яколистяні, б - твердолистяні

Як видно із рис. 3.1 структура м'яколистяної породи деревини відрізняється від структури твердолистяних порід, а саме великою кількістю пор та клітин, які здатні поглинати вологу. Тому порода деревини вільха має високу пористість, що погано піддається склеюванню. Для забезпечення належної адгезійної міцності необхідно забезпечити більшу витрату клею, що призводить до збільшення фінансових витрат під час склеювання. Така структура клейового з'єднання погано впливає на механізм формування адгезійної міцності, оскільки збільшується поглинання клейового матеріалу, що призводить до збільшення відстані між макромолекулами у середині клейової плівки. У свою чергу збільшення відстані між молекулами клейової плівки призводить до зменшення когезійної міцності у полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини. Все це негативно впливає на формування адгезійної і когезійної міцності клейового з'єднання деревини вільха склеєної полівінілацетатними клеями.

Щодо формування клейового з'єднання полівінілацетатними клеями, то є також особливості, оскільки один із механізмів формування міцності є механічне щеплення між клеєм і порами деревини.

На рис. 3.2 наведено схематичне зображення формування клейового з'єднання у пористих породах деревини.

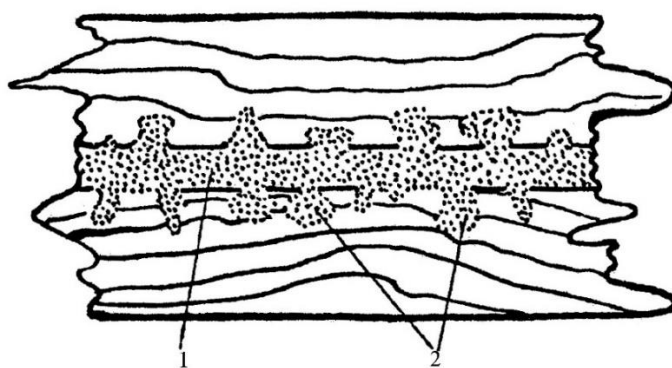


Рис. 3.2. Формування клейового з'єднання пористими породами деревини
1 – клейовий шов; 2 – клей у порах.

Підсумовуючи теоретичні передбачення щодо формування клейового з'єднання деревини вільха полівінілацетатним клеєм стає зрозуміло, що

м'яколистяні породи деревини, до яких відноситься і деревина вільха, за рахунок високої сорбційної здатності вимагають збільшення витрати клею для забезпечення якісного клейового з'єднання із належною адгезійною і когезійною міцністю.

3.2 Теоретичні основи впливу тривалості пресування на міцність клейових з'єднань деревини

Витрата клею має важливе значення для склеювання деревини, полівінілацетатними клеями, особливо м'яколистяних порід деревини. Це пов'язано із тим, що клеї на основі полівінілацетату, технологічний процес склеювання відбувається за кімнатної температури, а саме $20 \pm 2^\circ\text{C}$. За такої температури склеювання, формування клейового з'єднання полівінілацетатними клеями вимагає тривалого часу. Як правило, має бути мінімальний час формування клейового з'єднання деревини. Режимними параметрами цей час передбачено до тридцяти хвилин. За цей період часу, проходить формування клейового з'єднання деревини під питимим тиском пресування.

Якщо говорити про повне формування клейового з'єднання двокомпонентними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4, то цей час збільшується до декількох днів. Це не означає, що заготовки із таким клейовим з'єднанням деревини не можна піддавати механічній обробці. Це час повного і остаточного формування клейового з'єднання деревини. Не виключенням є і формування клейового з'єднання деревини вільхи полівінілацетатними клеями.

Теоретично можна стверджувати, що із збільшенням тривалості пресування клейових з'єднань полівінілацетатними клеями, адгезійна та когезійна міцність буде зростати.

Під час формування полівінілацетатних клейових з'єднань деревини адгезійна та когезійна міцність забезпечується механічними та хімічними процесами, такими як формування клейового з'єднання з допомогою

механічного щеплення клейового матеріалу із мікронерівностями на поверхні деревини. До таких нерівностей відносять пори, клітин, та інші нерівності на поверхні деревини. Окрім того, полівінілацетатні клеї формують адгезійну і когезійну міцність за допомогою міжмолекулярних зв'язків, водневих зв'язків тощо. Щодо міжмолекулярного формування адгезійної міцності то хімічна взаємодія може відбуватися між складовими компонентами клейового матеріалу та складовими компонентами деревини.

Зі сторони клейової композиції у формуванні адгезійної міцності бере участь полівінілацетат та полівініловий спирт, а із сторони деревини целюлоза та геміцелюлоза.

На рис. 3.3. наведено можливі варіанти формування клейового з'єднання деревини при за допомогою складових компонентів клею та деревин.

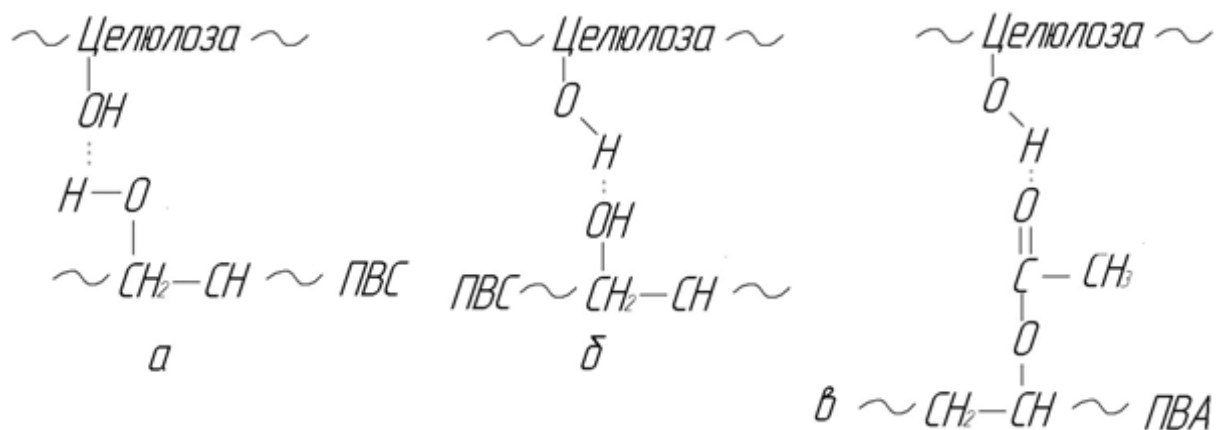


Рис. 3.3. Формування водневих зв'язків між компонентами клею (а), (б) та деревини (в)

Як видно із наведених формул водневі зв'язки можуть утворюватися між групами -ОН, які є у полівінілацетату і полівініловому спириті та целюлозі і геміцелюлозі у деревині.

Окрім того можливе і утворення міжмолекулярних зв'язків між молекулами целюлози деревини вільха та компонентами клею. Дані процеси будуть залежати від багатьох факторів, в тому числі і від режимних параметрів склеювання. Для забезпечення належної адгезійної і когезійної міцності

необхідний певний час, який повинен бути забезпечений тривалістю пресування. При збільшенні тривалості пресування адгезійна та когезійна міцність клейових з'єднань деревини склеєної полівінілацетатним клеєм буде зростати. Тому технологічним процесом склеювання необхідно забезпечити відповідну тривалість склеювання даними клеями.

Щоб зрозуміти важливість тривалості пресування на міцність формування клейового з'єднання деревини полівінілацетатними клеями, проаналізуємо етапи формування таких клейових з'єднань деревини.

При нанесенні клею на поверхню відбувається безпосередній контакт деревини із полімером, що призводить до зростання адсорбційного насичення глобул полімеру. Дервиною також відбувається процес адсорбування дисперсійного середовища та емульгатора, з утворенням захисного колоїду у вигляді глобул,

Після цього відбувається другий етап формування клейового з'єднання, під час якого проходить видалення дисперсійного середовища. Це призводить до утворення коагуляційних частинок, під час чого відбувається велика молекулярна рухомість полімеру. Тобто відбувається підняття температури склування, під час якої утворюється плівка, яка призводить до адсорбції полімеру деревиною. За час даного процесу відбувається коагуляція частинок з утворенням плівки, якщо даний процес не пройшов, то адгезійна і когезійна міцність системи буде низькою.

Третій етап є завершальним для формування адгезійного з'єднання. На даному етапі проходить взаємодія полімеру з емульгатором і захисними колоїдами. Їх сумісність буде визначати когезійну і адгезійну міцність клейового з'єднання. При хорошій сумісності проходить заміна емульгатора в деревині на полімер шляхом обмінної адсорбції, що призводить до зростання адгезійної міцності.

Оскільки для досягнення необхідної адгезійної і когезійної міцності достатня взаємодія полімеру тільки з частиною активних центрів субстрату, то міцність адгезійних з'єднань в сухому стані мало залежить від того, що частина

активних центрів занята емульгатором. При дії води гідрофільні емульгатори і захисні колоїди призводять до зниження механічних характеристик, при чому по мірі підвищення ступені їх сумісності з полімером вплив води зменшується, оскільки зменшується кількість цих речовин, розташованих на границі розподілу і в першу чергу доступних для дії води.

3.4. Висновки з розділу

На завершення теоретично розділу, щодо впливу витрати клею та тривалості пресування на формування адгезійної і когезійної міцності клейових з'єднань деревини вільха полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4, можна зробити таких два висновки:

1. При склеюванні деревини породи вільха полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 важливе значення мають технологічні режимні параметри склеювання, серед яких витрата клею. Оскільки від витрати клею буде залежати адгезійна і когезійна міцність клейового з'єднання. Це впливає із того, вільха відноситься до м'яколистяної породи деревини, яка характеризується великою пористістю, гідрофільністю та сорбційною здатністю. Це вказує на те, що для отримання якісного клейового з'єднання витрата клею повинна бути дещо вищою в порівнянні із деревиною твердолистяних порід.

2. Тривалість пресування має важливе значення для склеювання деревин, оскільки полівінілацетатні клеї технологічний процес склеювання відбувається за кімнатної температури, а період формування клейового з'єднання до повного його затвердіння становить до п'яти діб. Тому, під час пресування, важливу роль відіграє забезпечення належної адгезійної і когезійної міцності клейовим з'єднанням деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Результати досліджень впливу витрати клею на міцність клейових з'єднань деревини

Для досліджень міцності клейових з'єднань деревини від режимних параметрів склеювання використовували три основних режимні параметри, а саме витрату клею, тиск пресування та тривалість пресування. У даному розділі наведемо результати досліджень зміни міцності клейового з'єднання деревини вільха від витрати клею. Саме витрата клею має чи не основний вплив на міцність клейових з'єднань деревини вільхи, оскільки вільха відноситься до м'яколистяних порід деревини, низької щільності та високого вологопоглинання. Тому витрати клею, для такого клейового з'єднання, будуть суттєво відрізнятися від витрат для твердолистяних порід деревини. Відповідно до огляду літературних джерел, витрат клею для листяних порід деревини заходиться в діапазоні від 120 до 180 г/м².

В табл. 4.1. наведено результати досліджень міцності для клейового з'єднання деревини вільха за витрати клею 120 г/м²

Міцність клейового з'єднання

Таблиця 4.1.

Номер зразка	Розміри зразка та площі склеювання, мм			Міцність, σ , МПа.
	Д	Ш	Т	
1	150/20	20	5	4,47
2	150/20	20	5	4,51
3	150/20	20	5	4,38
4	150/20	20	5	4,24
5	150/20	20	5	4,45
6	150/20	20	5	4,50
7	150/20	20	5	4,30
8	150/20	20	5	4,53
9	150/20	20	5	4,25
10	150/20	20	5	4,51

За отриманими даними здійснено графічну побудову міцності клейового з'єднання деревини сосни за витрати клею 120 г/м^2 . Тиск пресування та тривалість пресування залишались на рівні середнього значення міцності відповідно до методики експериментальних досліджень.

Графічна інтерпретація результати дослідження міцності клейового з'єднання деревини вільха склеєного полівінілацетатним клеєм від витрати клею наведено на рис. 4.1.

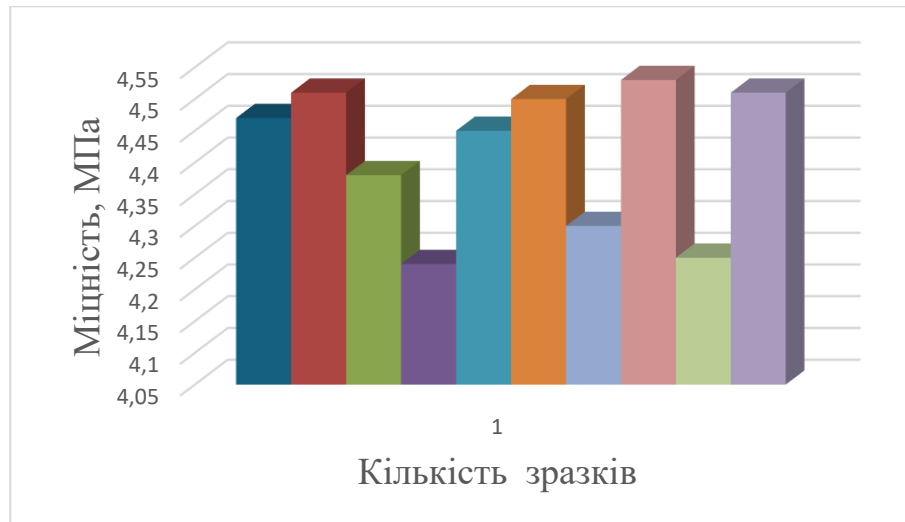


Рис. 4.1 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею 120 г/м^2 .

Як видно із наведених даних міцність клейового з'єднання деревини вільхи склеєної полівінілацетатним клеєм за витрати клею 120 г/м^2 знаходиться в межах від 4,23 до 4,53 МПа. Середнє значення міцності – 4,41 МПа. Така міцність є досить низькою для клейового з'єднання, оскільки вона не відповідає когезійній міцності деревини вільхи, яка відповідно до літературних джерел, становить приблизно 5,3 МПа. Пояснити таку поведінку клейового з'єднання можна породою деревини, її фізичними та механічними властивостями. У літературних джерелах відзначено, а в теоретичних дослідженнях доведено, що деревина породи вільхи має високу пористість та значне вологопоглинання. Саме це приводить до великої сорбційної здатності деревиною вільха. Витрата клею, відповідно до режимних параметрів склеювання для м'яколистяних порід деревини повинна відповідати поглинаючій здатності породи деревини.

Витрата клею 120 г/м^2 є нижньою межею витрати для листяних порід деревини. Це відповідно і підтверджує той факт, що дана порода деревини має високу сорбційну здатність, яка поглинає велику кількість клейових матеріалів. Необхідно відзначити, що розчинником у полівінілацетатних клеях є вода, яка дуже добре поглинається даною породою деревини. Тому, на нашу думку, ми отримали такий результат досліджень.

Нижче наведено результати експериментальних досліджень міцності клейових з'єднань деревини вільхи для інших витрат клею. А саме на рис. 4.2 наведено гістограму результатів дослідження міцності клейових з'єднань деревини вільхи за витрати клею 140 г/м^2 та тиском пресування $0,5 \text{ МПа}$ та тривалістю пресування 30 хв .

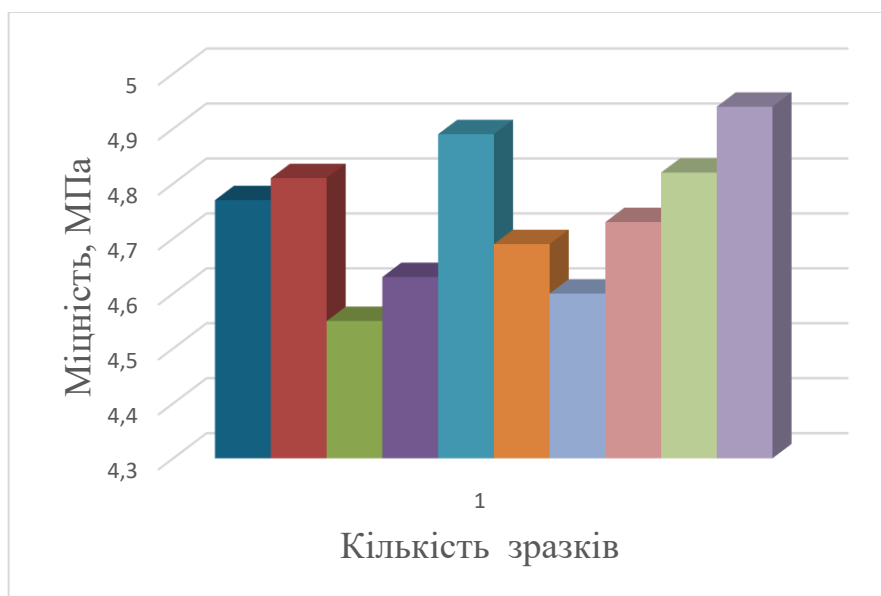


Рис. 4.2 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею 140 г/м^2

Як видно із графічної залежності міцність клейового з'єднання деревини вільха за витрати клею 140 г/м^2 змінюється від $4,55$ до $4,96 \text{ МПа}$. В середньому міцність зменшилась на $4,74\%$. Тобто збільшення витрати клею під час склеювання деревини вільха приводить до збільшення адгезійної міцності клейового з'єднання.

Нижче наведено дослідження міцності клейових з'єднань деревини вільха склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 із більшими

витратами клею. А саме, на рис. 4.3 наведено зміну міцності клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатним клеєм із витратою 160 г/м². На рис. 4.4. наведено міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна поівінілацетатними клеєм із класом довговічності D4 із витратою клею 180 г/м².

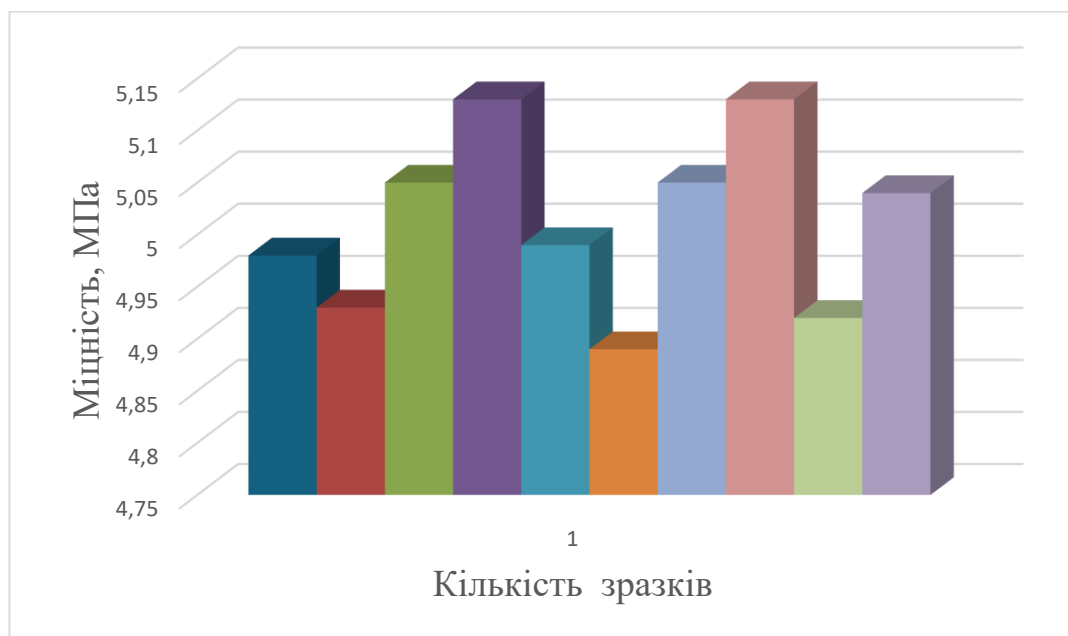


Рис. 4.3 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею 160 г/м²

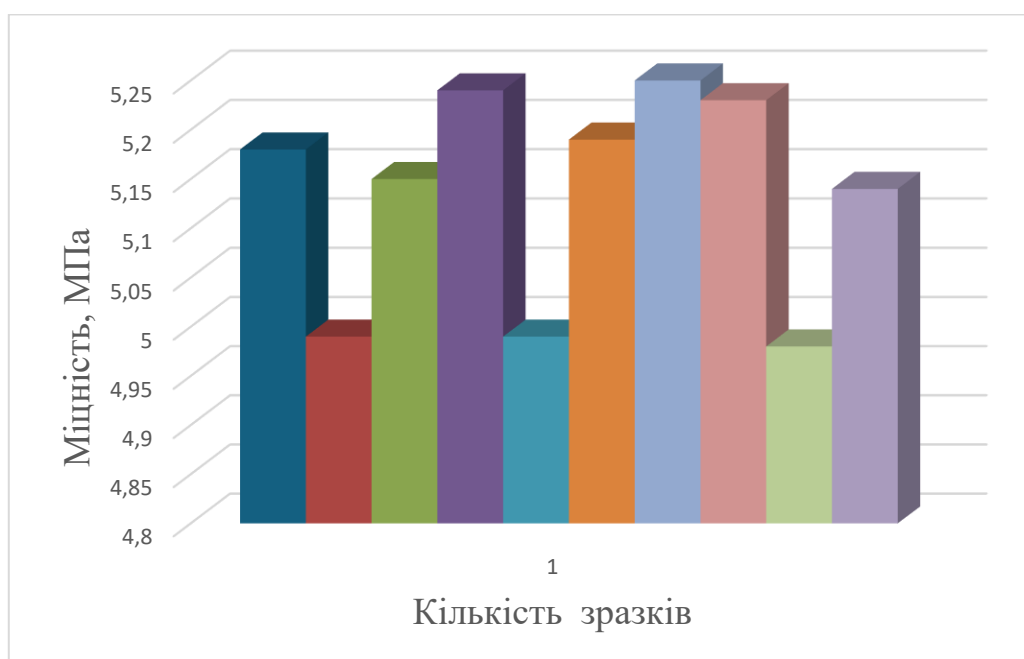


Рис. 4.4 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею 180 г/м²

Як видно із наведених графічних залежностей, при збільшенні витрати клею від 140 г/м^2 до 180 г/м^2 міцність продовжує зростати. Тобто сорбційна здатність деревини вільха продовжує працювати, в результаті чого насичення пор і клітин деревини вільха збільшується і кількість клеючої речовини, що залишається на поверхні деревини, призводить до збільшення покривної здатності, тим самим збільшується адгезійна міцність клейового з'єднання.

Максимальна витрата клею, при склеюванні деревини полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 яка досліджувалась у даній роботі становить 200 г/м^2 . В табл. 4.2 та на рис. 4.5 наведено зміну міцності клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 із витратою клею 200 г/м^2 .

Міцність клейового з'єднання

Таблиця 4.2.

Номер зразка	Розміри зразка та площі склеювання, мм			Міцність, σ , МПа.
	Д	Ш	Т	
1	150/20	20	5	5,28
2	150/20	20	5	5,19
3	150/20	20	5	5,23
4	150/20	20	5	5,29
5	150/20	20	5	5,09
6	150/20	20	5	5,12
7	150/20	20	5	5,27
8	150/20	20	5	5,17
9	150/20	20	5	5,08
10	150/20	20	5	5,05

Як видно із табл. 4.2 міцність клейового з'єднання деревини вільха склеєної полівінілацетатним із класом довговічності D4 за витрати клею 200 г/м^2 призводить до зростання адгезійної міцності ще на 0,7% від міцності клейового з'єднання із витратою клею 180 г/м^2 . Тобто зростання міцності відбувається, але вже не настільки, скільки міцність зростала при витраті клею від 120 г/см^2 і вище. Тобто насичення пор деревини вільха відбувається поступово із збільшенням адгезійної міцності клейового з'єднання.

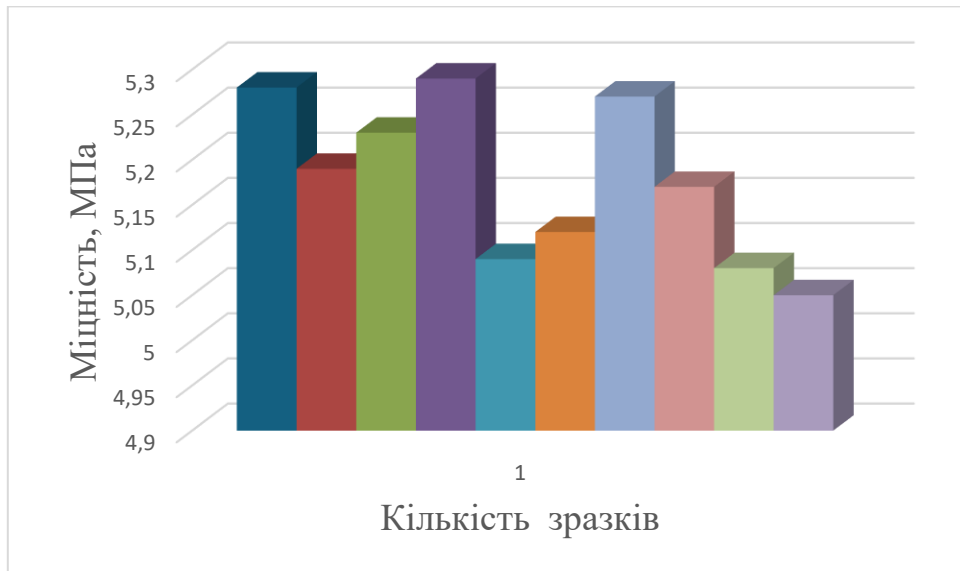


Рис. 4.5 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею 200 г/м²

Щодо загальної наглядності збільшення міцності клейового з'єднання деревини вільхи склеєної полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4 наведено на рис.4.6.

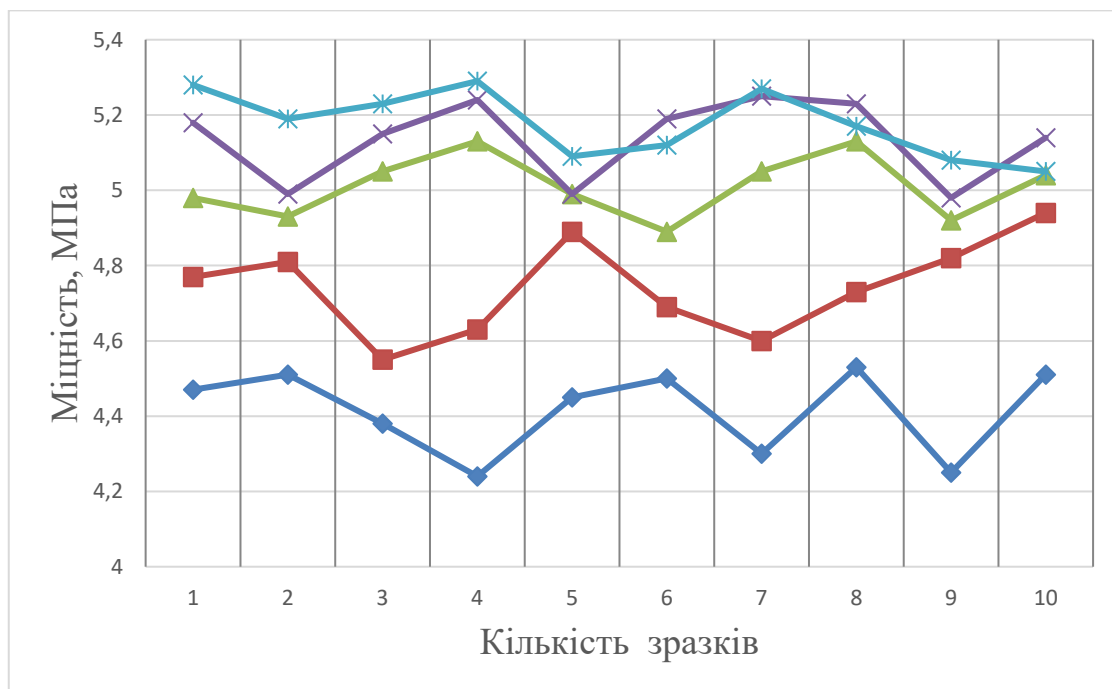


Рис. 4.6 Міцність клейового з'єднання деревини вільха з витрати клею від 140 до 200 г/м².

Підсумовуючи даний розділ, можна зробити висновок, що при склеюванні деревини вільхи полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 зі

збільшенням витрати клею від 140 до 200 г/м² міцність зростає. Тобто витрата клею, яка рекомендована для листяних порід деревини від 120 до 180 г/м² не дозволяє забезпечити клейовому з'єднанню належну адгезійну та когезійну міцність клейового шва. Це вказує на високу сорбційну здатність деревини вільха під час її змочування клейовими матеріалами.

4.2. Результати досліджень впливу тривалості пресування на міцність клейових з'єднань деревини

Наступними були дослідження впливу тривалості пресування на міцність клейового з'єднання деревини вільха. Для досліджень використовували результати зміни міцності клейового з'єднання деревини вільха від витрати клею. Оскільки у розд 4.1. нами було встановлено, що при збільшені витрати клею від 120 до 200 г/м² міцність клейових з'єднань зростає. Найменше зростання міцності відбувається за витрати клею 200 г/м², а саме на 0,7% відсотка в порівнянні із іншими витратами. Тому, для визначення міцності клейових з'єднань деревини вільха склеєної полівінілацетатними клеями, ми вибрали наступні режимні параметри: витрата клею 180 г/м², тиск пресування 1,0 МПа. А тривалість пресування фіксували на рівні 40 хв. та 60 хв.

Тому, перші результати дослідження зміни міцності клейового з'єднання деревини вільха склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 відбувались за наступних режимних параметрів: витрата клею – 180 г/м², тиск пресування 1,0МПа та тривалість пресування 40 хв. Числові значення міцності наведено в табл. 4.3

Таблиця 4.3.

Міцність клейових з'єднань деревини вільхи за тривалості пресування 40

хв.

Номер зразка	Розміри зразка та площі склеювання, мм			Міцність, σ , МПа.
	Д	Ш	Т	
1	150/20	20	5	5,28
2	150/20	20	5	5,31
3	150/20	20	5	5,22

4	150/20	20	5	5,26
5	150/20	20	5	5,35
6	150/20	20	5	5,25
7	150/20	20	5	5,29
8	150/20	20	5	5,28
9	150/20	20	5	5,21
10	150/20	20	5	5,23

На рис. 4.7 наведено графічну інтерпретацію міцності.

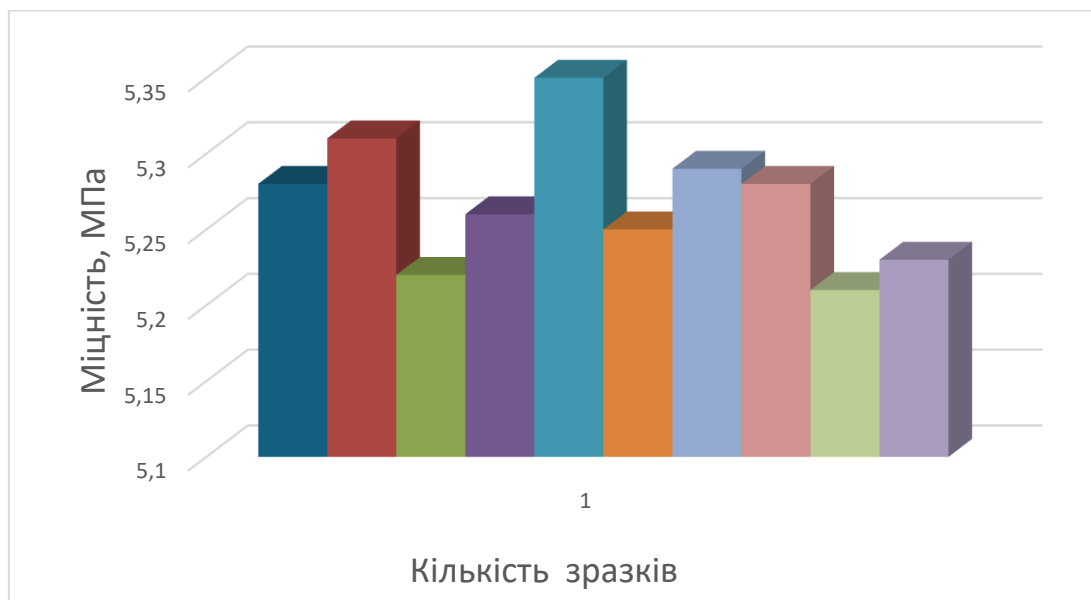


Рис. 4.7. Міцність клейового з'єднання деревини вільха за тривалості пресування 40хв.

Як видно із наведених даних, міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна термопластичним полівінілацетатним клеєм із ступенем довговічності D4 становить від 5,21 МПа до 5,35 МПа. Середня міцність клейового з'єднання становить 5,27 МПа. Це на 3% більша за міцність клейового з'єднання деревини вільха за витратою клею 180 г/м² та тривалістю пресування 30 хв.

Пояснити такі результати дослідження, можна нашими теоретичними припущеннями, а саме тим, що висока пористість деревини вільха призводить до значного поглинання вологості із клею. Тому товщина клейового з'єднання буде швидко змінюватися, не даючи можливості сформуватися клейовому з'єднанню. Необхідно зазначити, що клейові з'єднання на основі запропонованого клею формуються на протязі п'яти днів. Звичайно, що

основний відсоток його формування відбувається в перші години. Але за рахунок того, що деревина вільхи швидко і достатнього багато поглинає клейовий матеріал, то процес формування клейового з'єднання буде відбуватися швидше. При збільшенні тривалості пресування а одночасно і тиску пресування формування адгезійної міцності відбувається краще. Тому і міцність клейового з'єднання зростає на 3%.

У таблиці 4.4 наведено результати міцності клейового з'єднання деревини вільха за тривалості пресування 60 хв.

Таблиця 4.4.

Міцність клейових з'єднань деревини вільхи тривалістю пресування 60 хв.

Номер зразка	Розміри зразка та площі склеювання, мм			Міцність, σ , МПа.
	Д	Ш	Т	
1	150/20	20	5	5,28
2	150/20	20	5	5,31
3	150/20	20	5	5,22
4	150/20	20	5	5,26
5	150/20	20	5	5,35
6	150/20	20	5	5,25
7	150/20	20	5	5,29
8	150/20	20	5	5,28
9	150/20	20	5	5,21
10	150/20	20	5	5,23

Результати графічної інтерпретації міцності клейового з'єднання деревини вільха склеєної полівінлацетатними клеями наведено на рис. 4.8.

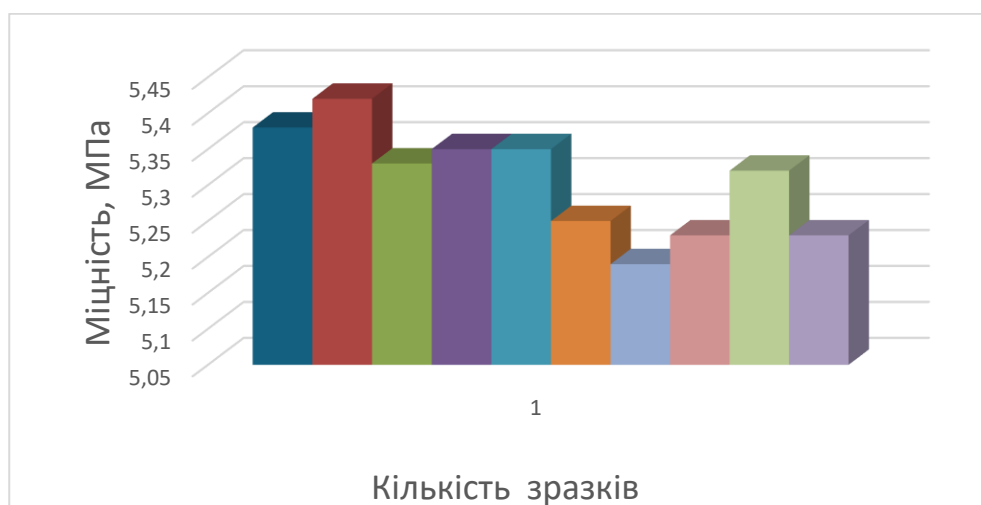


Рис. 4.8. Міцність клейового з'єднання деревини вільха тривалістю пресування 60хв.

Як показали дані результати дослідження міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями тривалістю пресування 60 хв. продовжує зростати. А саме вона змінюється в межах від 5.19 МПа до 5,42 МПа. Середнє значення міцності становить 5,31 МПа. Тобто міцність клейового з'єднання збільшилась, в порівнянні із тривалістю пресування 40 хв. на 1,0%. Тобто, збільшення тривалості пресування призводить здо подальшого зростання міцності, хоча не в таких великих числових значеннях. Тобто збільшення тривалості пресування приводить до покращення адгезійної і когезійної міцності клейових з'єднань деревини вільха склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4. Практично за режимних параметрів технологічного процесу склеювання із витратою клею 180 г/м², тиском пресування 1,0 МПа та тривалістю пресування 60 хв., адгезійна міцність клейового з'єднання деревини відповідає когезійній міцності клейового з'єднання деревини вільха.

Продовжувати подальші дослідження впливу режимних параметрів склеювання на міцність клейових з'єднань деревини вільха, що склеєна полівінілацетатним клеєм із класом довговічності, на нашу думку не має потреби.

Підсумовуючи даний розділ магістерської роботи, можна зробити висновок, що тривалість пресування впливає на міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. А саме при збільшенні тривалості пресування від 30 хв. до 60 хв. міцність клейового з'єднання деревини збільшується із 5,13 МПа до 5,31 МПа, тобто на 4 % і відповідає когезійній міцності деревини порода вільха. Такі результати вказують на те, що процес формування клейового з'єднання деревини вільха продовжується після регламентованих режимних параметрів склеювання деревини листяних порід.

4.3. Висновки з розділу

Виходячи із отриманих результатів досліджень та їх аналізу зроблено наступні висновки:

1. При склеюванні деревини вільхи полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 із збільшенням витрати клею від 140 до 200 г/м² міцність зростає. Тобто витрата клею, яка рекомендована для листяних порід деревини від 120 до 160 г/м² не дозволяє забезпечити клейовому з'єднанню належну адгезійну та когезійну міцність клейового шва. Це вказує на високу сорбційну здатність деревини вільха під час її змочування клейовими матеріалами.

2. Тривалість пресування впливає на міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. А саме, при збільшенні тривалості пресування від 30 хв. до 60 хв. міцність клейового з'єднання деревини вільха збільшується із 5,13 МПа до 5,31 МПа, тобто на 4 % і відповідає когезійні міцності деревини порода вільха. Такі результати вказують на те, що процес формування клейового з'єднання деревини вільха продовжується після регламентованих режимних параметрів склеювання деревини листяних порід.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Заходи з екологічної безпеки при склеюванні деревини вільха

Деревообробна промисловість на сучасному етапі свого розвитку все більше переходить на використання матеріалів, які є екологічно безпечними та мають менш шкідливий вплив на здоров'я людини. Ці тенденції з кожним роком наростають не виключенням є і вимоги до клейових з'єднань деревини, які при склеюванні деревини є незамінними в порівнянні з іншими видами з'єднання деревини. Цей показник має важливе значення, не тільки у виробничих умовах, де повинні бути забезпечені захисні заходи щодо знешкодження токсичних викидів, але й час його експлуатації виробу.

Полівінілацетатні клейові матеріали відносяться до синтетичних, тому небезпека забруднення навколишнього середовища існує, хоча основні компоненти клею є екологічно безпечними. Оскільки полівінілацетат і полівініловим спирт складаються із полярні групи ($C(O)CH_3$, $-OH$).

Але у своєму складі дані клеї мають і інші складові компоненти, які можуть нести небезпеку навколишньому середовищу. До них відносять хімічні речовини, які входять до складу затверджувача, оскільки для склеювання деревини використовували двокомпонентний полівінілацетатний клей. Шкідливість викидів в забрудненому повітрі вимірюється mg/m^3 . Під час склеювання вміст шкідливих речовини в повітрі повинен відповідати гранично допустимій концентрації (ГДК) для даної речовини в робочій. Оскільки полівінілацетат не виділяє шкідливих речовин, тому забруднення атмосферного повітря в технологічній зоні склеювання не перевищує ГДК. На сьогоднішній день застосовується міжнародна класифікація продукції, згідно якої клас емісії обмежується певними нормами, які прописані і відповідають С-1, С-2, С-3, для клейових матеріалів на полівінілацетатній основі.

У свою чергу гігієнічна оцінка клеїв забезпечується Європейським стандартом EN 201, який затверджено Європейським комітетом стандартизації від 19 квітня 2001 р. Даний стандарт призначений для клеїв, які використовуються при виготовленні меблевих виробів та інших конструкцій, що використовуються у середині приміщення.

Щодо відповідності термопластичних клеїв відповідності даному стандарту, то вони складаються, з термопластичного полімеру, який був винайдений для склеювання дерев'яних конструкцій. Даний клей буде класифікуватиметься відповідно до кліматичних умов та сфери його використання. Дані клейові матеріали використовуються для формування як тонкого так і товстого клейового шару при склеюванні деревини. Тому вони класифікуються до стандарту EN 205.

Назагал клеї повинні відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати адгезійну і когезійну міцність;
- мати відповідну стабільність;
- бути вологостійким;
- бути водостійким;
- простим у використанні;
- зберігати міцність під час експлуатації;
- за кольором бути нейтральним.

Виходячи із класу токсичності клейових матеріалів на основі полівінілацетату, немає небезпеки для навколишнього середовища щодо використання даних клеїв. Основними заходами безпеки для навколишнього середовища є приміщення, у якому буде проводитись технологічний процес склеювання. Для цього необхідно забезпечити подачу свіжого повітря безпосередньо в зону склеювання. Здійснювати очистку забрудненого повітря, яке утворюється у цеху де відбувається склеювання немає необхідності.

Щодо марок чи брендів клеїв, які використовуються для склеювання, то вони можуть бути різних виробників, але всі вони відповідають класу токсичності, який передбачений відповідними нормативними документами.

На рис. 5.1 наведено клейові матеріали на основі полівінілацетату.



Рис. 5.1 Полівінілацетатні клеї.

Для забезпечення належної роботи в приміщенні де для склеювання використовують полівінілацетатні клеї, необхідно забезпечити подачу свіжого повітря у зону технологічного процесу склеювання. Для цього пропонується забезпечити зону нанесення клею та процесу склеювання витяжною установкою, яка ведена для прикладу на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Витяжна установка у зоні склеювання.

5.2. Заходи з безпеки праці при склеюванні деревини вільха

Назагал складові компоненти синтетичних клеїв складаються, в більшості випадків, із речовин, які є небезпечними для здоров'я людини. Вони можуть нести небезпеку як при попаданні на відкриті ділянки тіла людини (руки, лице, очі, тощо), так при вдиханні випарів, які вони утворюють під час склеювання. Щодо полівінілацетатних клеїв, то вони не несуть такої небезпеки, в порівнянні із формальдегідними чи ціаніновими клеями. Але при використанні полівінілацетатних двокомпонентних клеїв, де використовується затверджувач, ця небезпека існує. В першу чергу це небезпека для тієї категорії людей, які мають алергічну залежність від дії синтетичних речовин, в тому числі і полівінілацетату або полівінілового спирту, які є складовими компонентами полівінілацетатної клейової композиції.

Тому, знання правил безпеки праці при роботі з такими клеями є основною вимогою роботи із даними клеями. Основною умовою роботи із полівінілацетатними клеями є отримання відповідного дозволу на роботу з ним. Такі надають лікарі, і в першу чергу від алергологів.

Наступним кроком для роботи із полівінілацетатними клеями є проходження інструктажу при роботі із полівінілацетатними клеями. Сюди входить загальний інструктаж із безпеки праці та протипожежної безпеки та інструктаж безпосередньо на робочому місці. Для цього необхідно завести відповідний журнал для відмітки про проходження інструктажу із техніки безпеки.

Другий етап це забезпечення належних умов роботи працівникам, які будуть задіяні до технологічного процесу склеювання деревини вільхи полівінілацетатними клеями. Тому, для забезпечення притоку свіжого повітря, як було відзначено у розд 5.1, необхідно встановити вентиляцію. рРозрахунок вентиляції відбувається за відповідними нормативними документами. Такими документами керуються і для контролю санітарного режиму в діючих виробничих приміщеннях із склеювання деревини. Окрім того у деяких випадках можуть бути передбаченні спеціальні відсмоктувачі повітря.

Для уникнення попадання клею на шкіру, що може призвести до різного роду захворювань, необхідно передбачити заходи, щодо роботи із двокомпонентними полівінілацетатними клеями. Для цього необхідно забезпечити працівників тонкими гумовими або поліетиленовими рукавицях. У випадку попадання клею, а особливо затверджувача на шкіру людини, необхідно відразу промити місце попадання клею водою із миючими засобами.

Окрім того необхідно дотримуватись правил особистої гігієни. А саме на робочому необхідно слідкувати за тим, щоб рук завжди були чистими перед прийомом їжі, робочий стіл також повинен бути чистим і щоб на ньому не було зайвих предметів або речей. Палити, для тих працівників, хто це робить, необхідно у спеціально відведеному приміщенні.

Клеї необхідно зберігати у спеціально відведеному приміщенні та тарі, яка відповідає нормативам зберігання полівінілацетатних клеїв. Використану тару та інструмент який використовується для нанесення клею необхідно зберігати також у спеціально відведеному приміщенні, а після завершення роботи обов'язково його промити під проточною водою.

Полінілацетатні клеї не несуть загрози щодо пожежної небезпеки. Оскільки це клеї, у яких розчинником служить вода. Тобто ці клеї є негорючими.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Підсумовуючи проведені дослідження щодо впливу режимних параметрів на міцність клейових з'єднань деревини вільха, які склеєні полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 зроблено наступні висновки:

1. Здійснено огляд літератури щодо клейових з'єднань деревини, їх міцності та технологічних параметрів склеювання. Проаналізовано клеї, які використовуються для склеювання деревини, їх класифікацію та властивості. Також проаналізовано деревину, її будову, властивості та вплив на адгезійну міцність клейових з'єднань. Особливу увагу приділено режимним параметрам склеювання, та вимоги до них під час технологічного процесу склеювання. Проаналізовано зміну міцності клейових з'єднань деревини залежно від дії зовнішніх факторів та яку роль вони відіграють

2. Наведено методику проведення експериментальних досліджень.

3. При склеюванні деревини породи вільха полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 важливе значення мають технологічні режимні параметри склеювання, серед яких витрата клею. Оскільки від витрати клею буде залежати адгезійна і когезійна міцність клейового з'єднання. Це впливає із того, що вільха відноситься до м'яколистяної породи деревини, яка характеризується великою пористістю, гідрофільністю та сорбційною здатністю. Тому, для отримання якісного клейового з'єднання витрата клею повинна бути дещо вищою в порівнянні із деревиною твердолистяних порід.

4. Тривалість пресування має важливе значення для склеювання деревин, оскільки полівінілацетатні клеї технологічний процес склеювання відбувається за кімнатної температури, а період формування клейового з'єднання до повного його затвердіння становить до п'яти діб. Тому, час під час пресування важливу відіграє роль забезпечення належної адгезійної і когезійної міцності клейовим з'єднанням деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4.

5. При склеюванні деревини вільхи полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 із збільшенням витрати клею від 140 до 200 г/м² міцність зростає. Тобто витрата клею, яка рекомендована для листяних порід деревини від 120 до 160 г/м² не дозволяє забезпечити клейовому з'єднанню належну адгезійну та когезійну міцність клейового шва. Це вказує на високу сорбційну здатність деревини вільха під час її змочування клейовими матеріалами.

6. Тривалість пресування впливає на міцність клейового з'єднання деревини вільха, що склеєна полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. А саме при збільшенні тривалості пресування від 30 хв. до 60 хв. міцність клейового з'єднання деревини збільшується із 5,13 МПа до 5,31 МПа, тобто на 4 % і відповідає когезійні міцності деревини порода вільха. Такі результати вказують на те, що процес формування клейового з'єднання деревини вільха продовжується після регламентованих режимних параметрів склеювання деревини листяних порід.

7. Запропоновано заходи із захисту навколишнього середовища та безпеки праці при роботі із полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вінтонів І.С., Сопушинський І. М., Тайшінгер А. Деревинознавство: навч. посіб:2-е вид., доповн. Львів: Априорі. 2007. 321 с.
2. 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.
3. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини: підручник. Львів: ТзОВ «Країна ангелат», 2010. 305 с
4. Бехта П.А., Кусняк І.І. Властивості фанери з використанням як клею термопластичної плівки. Наукові праці Лісівничої академії наук України. Львів, 2019. Вип. 19. С. 209–222. DOI: <https://doi.org/10.15421/411943>.
5. Кшивецький Б.Я., Гупало О.П. Проблеми використання клейових з'єднань на основі термопластичних клеїв // Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип. 11.2. – С. 23-24.
6. ДСТУ EN 205:2014 Клеї несиллові для деревини. Метод визначання міцності з'єднання внапусток під час поздовжнього розтягування на зсув (EN 205:2003, IDT).
7. ДСТУ EN 204:2014 Клеї термопластичні несиллові для деревини. Класифікація (EN 204:2001, IDT).
8. ДСТУ EN 336:2003 Пиломатеріали конструкційні із хвойних порід та тополі. Розміри. Допустимі відхилення (EN 336:1995, IDT).
9. Гупало О.П. Високомолекулярні сполуки / О.П. Гупало, Н.М. Ватаманюк. – К. : Вид-во НМК ВО. – 1993. – 243 с.
10. Кшивецький Б.Я. Механізм формування термопластичних клейових з'єднань деревини // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012, вип. 22.12 – С. 117-122.

11. Гупало Олег Петрович Хімія деревини: підручник / О. П. Гупало, О. П. Тушницький ; Національний лісотехнічний ун-т України. — 2-ге вид., виправ. і доп. — К. : Знання, 2008. — 276 с. — Бібліогр.: с. 274–276 .
12. Дячун З. Й. Конструювання меблів: корпусні вироби / Зіновій Йософатович Дячун. — К. : Києво-Могилянська академія, 2007. — 387 с.
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. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. — Львів: електрон. навч. пос. — 228 с.
15. Кшивецький Б.Я. Дослідження міцності та довговічності з'єднань шпилькових порід деревини залежно від вологості. Науковий вісник НЛТУ України. — 2006. — Вип. 16.5. — С. 126-130.
16. М'якуш Б.М. Формування міцності та формостійкості паркетної дошки, склеєної термопластичними клеями : дис...канд. тех. наук : 05.23.06 / Національний лісотехнічний університет України. Львів, 2021. — 164 с.
17. Сопушинський І.М., Вінтонів І.С. Пористість та властивості деревини ясена звичайного. Український ліс. — 2017. — № 2. — С.34-39.
18. Тлумачний словник з деревооброблення / уклад.: Б. Прокопович, І. Войтович, С. Гайда, Б. Кшивецький. — Львів.: Ромус-Поліграф, 2002. — 280 с.