

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

УДК 674.093.26

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра на тему:

“ Вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися ”

Виконав: студент групи ТДКМз-61м
спеціальності 161 “Хімічні технології та
інженерія”

_____ Ткаченко А.В.
(підпис)

Керівник: проф. каф. ТДКМ, д.т.н.

_____ Бехта П.А.
(підпис)

Рецензент: _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Спеціалізація Технології деревинних композиційних матеріалів і модифікування
деревини

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____ д.т.н., проф. Бехта П.А.

“ _____ ” _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ткаченкові Альбертові Віталійовичу

1. Тема роботи Вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися.
керівник роботи проф. кафедри ТДКМ Бехта Павло Антонович, д.т.н.,
затверджені наказом університету від “ 31 ” серпня 2023 року № С-404А
2. Термін подання студентом роботи _____ 22.01.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати вплив температури і часу пресування на властивості деревини, проаналізувати вплив вологи на формування зв'язку та його цілісність, дослідити вплив часу та температури пресування на здатність шпону склеюватися, дослідити виділення та вимірювання тепла на лінії склеювання, дослідити вплив часу та температури пресування на здатність шпону склеюватися у виробництві фанери.
4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)
 1. Стан питання та завдання дослідження.
 2. Методика експериментальних досліджень.
 3. Результати досліджень.
 4. Висновки
5. Дата видачі завдання _____ 01.09.2023 р.

Студент _____ А.В. Ткаченко
(підпис)

Керівник роботи _____ П.А. Бехта
(підпис)

Анотація

Метою даної дипломної роботи є дослідити, як температура і час пресування впливають на здатність березового шпону склеюватися без використання жодних клеїв. Досягнути поставленої мети пропонується шляхом зміни температури і часу пресування листів шпону за допомогою ABES та у гідравлічному пресі для виготовлення фанери. Дія тепла змінює хімічний склад деревини, що зумовлює утворення між листами шпону міцного з'єднання без використання клею.

В першому розділі проаналізовано процес склеювання деревини, вплив вологи на формування зв'язку та його цілісність та вплив температури і часу пресування листів шпону на міцність фанери на зріз.

В другому розділі описана методика підготовки зразків березового шпону та їх випробування шляхом гарячого склеювання за допомогою системи ABES та виготовлення фанери.

В третьому розділі наводяться результати випробувань. Встановлено, що короткий час пресування може забезпечити відносно хороше з'єднання в листах шпону фанери, якщо температура пресування достатньо висока для формування міцного з'єднання. Результати, отримані для паралельно сформованих пакетів шпону у виготовленні фанери, свідчать про те, що результати ABES-тестування не повністю можна застосовувати у більших масштабах. Зі збільшенням площі з'єднання, збільшується також вплив внутрішнього тиску пари та інших факторів, які стають все більш значущими. Тому, наприклад, оптимізація параметрів пресування за допомогою ABES для фанери великих розмірів не є точною.

Магістерська робота складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дипломної роботи складає 42 сторінки, з них 32 сторінки основного тексту, список літератури із 51 назви.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1. Характеристика березового шпону.....	7
1.2. Процес склеювання деревини.....	9
1.3. Аналіз впливу вологи на формування зв'язку та його цілісність.....	13
1.4. Аналіз впливу температури і часу пресування на властивості деревини...	15
1.5. Висновки.....	18
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1. Матеріали та обладнання.....	20
2.2. Підготовка березового шпону.....	20
2.3. Методика випробування гарячого склеювання шпону та міцності на зріз за допомогою ABES.....	21
2.3.1. Підготовка зразків.....	21
2.3.2. Склеювання шпону в ABES.....	21
2.3.3. Випробування зразків на міцність на зріз за допомогою ABES.....	23
2.4. Виготовлення фанери та випробування.....	23
2.4.1. Підготовка зразків.....	23
2.4.2. Виготовлення фанери.....	23
2.4.3. Випробування на міцність фанери на зріз.....	25
2.5. Статистичний аналіз.....	26
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1. Результати ABES.....	27
3.1.1. Вплив часу та температури пресування на здатність шпону склеюватися.....	28
3.2. Виділення та вимірювання тепла на лінії склеювання.....	32
3.3. Результати випробувань фанери.....	34
3.4. Висновки.....	37
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	38

ВСТУП

Виробництво деревинних композитів посідає одну з основних ніш у деревообробній галузі. Для їх виготовлення використовують різні клеї природного та синтетичного походження. Перші клеї для деревини виготовлялися з березового дьогтю, бджолиного воску та деревинного соку. Інші природні сполучні речовини, такі як тваринні клеї, яєчні пасти та крохмаль з овочів, також використовувалися протягом століть [46]. Однак винахід бакеліту і синтетичних фенольних смол на початку 1900-х років і їх подальший розвиток до середини 1930-х років замінили більшість інших клеїв, а також уможливили процес виготовлення довговічних промислових виробів з деревини, включаючи фанеру [47, 48]. Висока якість склеювання і, особливо, стійкість до води, зробили смоли на основі формальдегіду майже незамінним варіантом у промисловому застосуванні, і вони витіснили майже всі попередні клеї. Проте, випари формальдегіду завдають шкоду довкіллю та проблеми зі здоров'ям під час виготовлення деревинних композитів та у їх використанні [49, 50]. Через це, а також із-за вартості клеїв, докладаються значні зусилля для розроблення альтернативних методів склеювання деревини.

Одним із можливих шляхів повного усунення токсичності клеїв у виробництві деревинних композитів є заміна синтетичних термореактивних клеїв термопластичними полімерами, такими як поліетилен, поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид тощо [51]. Застосування термопластичних полімерів дозволить не тільки зменшити токсичність деревинних композитів, але й скоротити цикл її виготовлення, підвищити культуру виробництва, зменшити втрати синтетичних клеїв та відпаде потреба в чищенні обладнання для нанесення клею (за його відсутності). Проте, враховуючи вартість термопластичних полімерів, найбільше зацікавлення викликає склеювання деревинних матеріалів без використання клею, як на прикладі, волокнистих плит мокрого способу виробництва.

Як з'ясувалося, деревина, завдяки своїй хімічній структурі може утворювати власний клей. Крім того, вона має здатність склеюватися за певних

умов з допомогою реагентів або без них. Коли деревина нагрівається до температури вище 200 °С, у її структурі відбуваються деякі хімічні зміни, що дозволяє деревинним поверхням утворювати між собою міцний зв'язок, за рахунок самоадгезії [13].

Проте, процес самосклеювання деревини суттєво відрізняється від склеювання між деревиною та термореактивним чи термопластичним клеєм. Тому, виникає необхідність дослідити можливість склеювання деревини без використання клею на прикладі листів шпону та фанери. Для дослідження адгезії між листами шпону, була використана автоматизована система оцінки склеювання ABES, щоб зменшити ефекти, які можуть вплинути на результати в більшому масштабі фанери через нерівномірність деревинного матеріалу та багатошаровість шпону.

Метою даного дослідження є:

- визначення можливості склеювання шпону без використання клею за відповідних умов пресування;
- порівняння міцності склеювання шпону за допомогою ABES та виробництва фанери.

Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характеристика березового шпону

Лущений шпон отримується в процесі лущення фанерного чурбака. Виготовляється шпон з таких порід деревини: м'яколистяних – береза, вільха, липа, осика; твердолистяних – дуб, бук, ясен, в'яз, клен; хвойних – сосна, модрина, кедр, ялина, ялиця. В Україні найбільше у виробництві шпону застосовується деревина берези, яка має високу механічну міцність (особливо під час ударних навантажень), однорідну будову і колір, середню щільність і твердість, добре обробляється різанням [1-3].

На міцність склеювання деревини впливає ряд факторів, серед яких – структура деревини.

Деревина, як будь-який біологічний організм, складається з клітин. Стінки клітин складаються близько на 90 % з органічних сполук і до 1% з мінеральних речовин. Целюлоза – основний компонент деревини. Її вміст в деревині берези сягає 41 %. Окрім целюлози вуглеводну частину деревини складає ще геміцелюлоза, з вмістом 31 %. Ланцюги геміцелюлози значно коротші від ланцюгів целюлози. Ароматичну частину деревини становить лігнін, який являє собою суміш ароматичних полімерів. Його вміст в деревині берези – 21% [4].

Таблиця 1.1. – Хімічний склад деревини різних порід [4]

Порода	Хімічний склад деревини, %				
	целюлоза	лігнін	Геміцелюлози		смоли та жири
			гексозани	пентозани	
<i>Ялина</i>	45,2	28,1	12,3	10,3	1,9
<i>Сосна</i>	50,6	27,5	11,8	10,4	5,4
<i>Модрина</i>	36,2	28,6	13,5	11,6	2,4
<i>Береза</i>	41,0	21,0	3,0	28,0	1,2
<i>Вільха</i>	44,5	28,0	3,65	22,9	1,8
<i>Осика</i>	43,6	20,1	2,0	26,0	1,5
<i>Клен</i>	48,0	23,1	2,3	26,0	1,6
<i>Бук</i>	49,6	21,8	4,37	25,6	0,9

В деревині окрім вуглеводної та ароматичної частини, в більшій чи в меншій кількості, містяться і екстрактивні речовини: ефірні олії, смоляні та жирні кислоти, дубильні речовини. Вони екстрагуються з деревини нейтральними розчинниками: водою і різними органічними розчинниками.

Усі перелічені компоненти деревини піддаються термічному впливу. Висока температура пресування деревини змінює її хімічний склад [5]. Так, наприклад, геміцелюлози (гексозани і пентозани) за температури 130 °C починають зазнавати незначних змін, а за температури 180 °C розпочинається процес деградації, який призводить до утворення нових екстрактивних речовин, які можуть сприяти самосклеюванню деревини. Целюлозна структура змінюється за вищої температури, ніж геміцелюлози – 230 °C [6]. Зміна структури целюлози полягає у збільшенні її кристалічності, проте зменшенні аморфності [7]. Збільшення вмісту лігніну в деревині прямопропорційне зменшенню вмісту геміцелюлоз, що відбувається під час нагрівання [8]. Розчеплений лігнін під час нагрівання вступає у реакцію зшивання із вуглеводами. Крім того, лігнін має здатність під час гарячого пресування деревини переміщатися до лінії з'єднання, а отже виконувати роль клею. Подібні переміщення моносахаридів по деревині під час склеювання, були зафіксовані Cristescu & Karlsson [9]. Вміст екстрактивних речовин під час нагрівання деревини найбільше починає збільшуватися за температури від 160 до 240 °C [10]. Утворені екстрактивні речовини є гідрофільними (підвищують зв'язок між склеєними поверхнями) та олеофільними (зменшують взаємодію між склеєними поверхнями) [11].

Крім того, стан поверхонь деревини характеризується величиною мікро - і макронерівностей на її поверхні, чистотою цих поверхонь, вологістю і температурою деревини. Висота мікронерівностей залежить від способу обробки поверхонь, режиму різання, стану обладнання і різального інструменту, анатомічної будови деревини тощо. Із збільшенням мікронерівностей міцність клейового з'єднання зменшується.

На міцність склеювання також впливає чистота поверхонь. У повітрі виробничих приміщень завжди присутня волога, двоокис вуглецю, сірководень, мікроорганізми і порошок, а з деревини в процесі її сушіння вилучаються екстрактивні речовини і можливе попадання масла від верстатів. Тому на деревині утворюється інактивованій шар, що погіршує здатність деревини склеюватися. При попаданні порошку закриваються відкриті судини і мікротріщини. Це зменшує корисну площу контакту між деревиною [1, 3].

Із сказаного вище стає зрозумілим, що фізико-механічні показники шпону, який самосклеюється залежать від ряду факторів, тому доцільним є враховувати дію кожного із них в процесі виготовлення деревинного композиту.

1.2. Процес склеювання деревини

Склеюванням називається процес, який дозволяє фізико-хімічним шляхом утворити з декількох частин систему, яка працює як одне ціле. З п. 1.1 було встановлено, що деревина має здатність виробляти власний клей. Крім того, було виявлено, що деревина також має здатність до самосклеювання за певних умов з допомогою реагентів або без них. Існує кілька підходів щодо склеювання деревини без використання синтетичних клеїв. Їх можна умовно розділити на чотири категорії, на основі формування зв'язку: гідроліз за допомогою пари, газонепроникний прес з охолодженням плит під тиском, поверхнева активація окислювачами і кислотами та зварювання тертям [12]. Хоча всі ці процеси мають дещо різні підходи до явища самосклеювання та всі вони мають спільну рису – наявність тепла і тиску. Коли деревина нагрівається до температури вище 200 °С, у її структурі відбуваються деякі хімічні зміни. Крім того, якщо дві смужки деревини стиснути одночасно з нагріванням протягом досить тривалого часу, то можна припустити, що смужки утворюють відносно міцний зв'язок [13, 14].

Причиною утворення зв'язку між клеєм та деревиною є явище адгезії, яке тісно пов'язане з явищем когезії і адгезійна міцність всієї системи буде залежати від когезійної міцності елементів, що входять до неї – клею і підкладки. [4].

Таким чином, говорячи про адгезію клею до деревини, необхідно розглядати систему контактуючих поверхонь двох різнорідних тіл – клею і деревини, а адгезійну міцність склеювання – як міцність даної бінарної системи. Існує ряд теоретичних уявлень про фізичну суть адгезії між матеріалами [4].

Механічна теорія. За цією теорією клейовий розчин, механічно проникаючи в пори, порожнини клітин, тріщини двох склеюваних поверхонь, затвердіває там і заклинюється, не втрачаючи при цьому зв'язку з клейовою плівкою, що знаходиться між поверхнями. За механічною теорією адгезії міцність склеювання тим більша, чим більша пористість склеюваного матеріалу і нижча в'язкість клею. Зазначимо, що склеювання можливе тільки за умови наявності змочувальної здатності склеюваного матеріалу з клеєм. Потрібно, щоб рідина мала здатність змочувати поверхню і розтікатися на ній - тільки в цьому випадку вона може проникати в пори матеріалу і після затвердіння механічно утримувати одну поверхню відносно другої. При поганій змочувальній здатності клей збирається в краплі, що зменшує площу контакту клею з матеріалом і силу адгезії.

Молекулярно-адсорбційна теорія, запропонована Дебройном (Англія), розглядає адгезію як чисто поверхневий процес і пояснює утворення міцного зв'язку дією міжмолекулярних сил, тобто сил притягання між атомами і молекулами. Молекули рідкого полімеру після нанесення на тверду поверхню внаслідок теплового руху мігрують з розчину до поверхні склеюваного матеріалу і поглинаються нею. Коли відстань між молекулами клею і матеріалу стає меншою за 0,5 нм, починають діяти міжмолекулярні сили або встановлюється водневий зв'язок, який забезпечує високу міцність клейового з'єднання.

Ця теорія спирається на відоме емпіричне правило, за яким передбачається, що висока адгезія може бути тільки в двох випадках: коли молекули тіл, що контактують, мають полярні функціональні групи, і коли молекули клею і субстрату - неполярні. Якщо взаємодіють між собою полярні і полярна речовина, то адгезія має бути невеликою. Тому по цій причині клеї, що містять гідроксили (ОН), карбоксили (COOH), амідні (NHCO) і амінні групи

(NH₂), володіють високою адгезією. Однак практика і дослідження показують, що це правило не завжди точно виконується, оскільки не враховується вплив інших, не менш важливих факторів: кількість контактуючих точок і відстань між ними.

Адсорбційна теорія. Вона розглядає утворення клейового шару як багатостадійний процес. На першій стадії внаслідок теплового (броунівського) руху відбувається переміщення великих молекул полімеру клею з розчину до поверхні субстрату. При міграції молекул одночасно відбувається і орієнтація полярних груп молекул клею щодо полярних ділянок субстрату, якщо адгезія проходить між полярними речовинами.

Другою стадією склеювання за цією теорією є адсорбція. Коли відстань між молекулами клею і субстрату стає меншою 0,5 нм, починають діяти міжмолекулярні сили.

Третя стадія склеювання - виведення розчинників з розчину клею, підвищення когезійної міцності клею, щоб його когезія досягла адгезії.

Адсорбційна теорія, як домінуюча, все ж не пояснює випадків високої адгезійної міцності неполярних адгезивів до полярних субстратів і ряду інших факторів.

Електрична теорія, представлена Дерюгіним і Кротовим, заснована на тому, що при утворенні адгезійного зв'язку найважливішими є електростатичні сили, які виникають між контактуючими поверхнями матеріалу і клею. Незважаючи на те, що в основі адгезії лежать адсорбційні явища, міжмолекулярні зв'язки можливі тільки для спричинення перерозподілу електронів на межі розділу двох середовищ і виникнення подвійного електричного шару. Через це граничні шари контактуючих матеріалів одержують різнойменні заряди (подвійний електричний шар), дією яких і зумовлюється висока ступінь адгезії - вища, ніж можливе значення міжмолекулярних сил.

Розглянута електрична теорія адгезії не є універсальною, не може пояснити утворення адгезійного зв'язку між полімерами, подібними за природою; не

пояснює, неполярні полімери, в яких не утворюється подвійний електричний шар, можуть давати міцний зв'язок.

Дифузійна теорія, представлена Воюцким, полягає в тому, що довголанцюгові молекули полімерів здатні здійснювати мікро броунівський рух, тобто можуть переміщатися з одного матеріалу до іншого - дифундувати. Це збільшує міжмолекулярну взаємодію.

Така теорія виявляє в основному кінетику утворення адгезійного зв'язку. Вона зовсім ігнорує природу контактуючих тіл - сили адгезії, не бере до уваги характер зв'язків між адгезивом і субстратом і справедлива тільки для пояснення адгезії більш або менш взаєморозчинних полімерів. Тому ця теорія непридатна для пояснення утворення міцного зв'язку між полімером і деревиною.

Хімічна теорія. Пояснює утворення міцного зв'язку не фізичною, а хімічною взаємодією між полімерами. Хімічні зв'язки можливі за умови, що відстань між ядрами ковалентно пов'язаних атомів не перебільшує 0,1...0,2 нм. Передбачається, що при склеюванні деревини фенолоформальдегідними смолами резольного типу, утворюються хімічні зв'язки між гідроксильними групами (ОН) макромолекул целюлози і метилольними групами (СН₂ОН) з утворенням ефірних груп. Великий вплив на клеючі властивості полімеру має також його молекулярна маса. Наприклад, клеї, які мають низьку молекулярну масу, володіють хорошою адгезією, однак мають низькі когезійні властивості.

Релаксаційна теорія. Вона пояснює адгезію всією різноманітністю хімічних і міжмолекулярних зв'язків.

Найважливіший фактор за цією теорією - релаксація напружень як при контакті клею з склеюваною поверхнею, так і при деформації з'єднання протягом його експлуатації.

Мікрореологічна теорія. Дана теорія розглядає адгезійну міцність і площу контакту між адгезивом і субстратом залежними від таких мікрореологічних процесів: затікання адгезиву в тріщини і пори субстрату; процес формування адгезійного контакту відбувається за рахунок міжмолекулярних сил і хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом.

Отже, єдиної теорії, здатної пояснити всі можливі випадки склеювання, не існує. Виходячи із результатів досліджень, було встановлено, що при формуванні міцності з'єднання, важливе значення має енергія хімічно активних груп і їх концентрація у поверхневому шарі.

1.3. Аналіз впливу вологи на формування зв'язку та його цілісність

Водостійкість самоклеєної фанери зростає з підвищенням температури, тиску та часу пресування. Крім того, деревинний композит, виготовлений в найсуворіших умовах, не розшаровуються під час замочування у воді [15, 16]. Крім того, зв'язки, які не розшаровуються під час замочування у воді, також є найміцнішими після механічного випробування. Таким чином, ці результати підтверджують гіпотезу про те, що існує зв'язок між міцністю самоклеєної фанери та хімічними зв'язками в лінії зв'язку [16]

Набухання, спричинене явищем зворотної деформації в напрямку товщини водою, все ще залишається відносно високим через механічне стиснення під час гарячого пресування [17]. Однак хімічні зміни, які впливають на найближчі лінії зв'язку, також забезпечують більший захист від води, незважаючи на те, що лінії зв'язків також є найбільш щільними частинами матеріалу. Імовірно, спільний вплив термічно модифікованого, зшитого лігніну і продуктів розпаду геміцелюлоз є основною причиною підвищеної водовідштовхувальної здатності, хоча механізм до кінця не відомий [17, 18, 19].

Ruonen et al. [20] вивчали вплив термічної обробки на внутрішню міцність склеєної деревини. Термічна модифікація зменшує чутливість до води в лінії з'єднання, але покращення внутрішньої міцності з'єднання було досягнуто лише на невеликих зразках. На більших зразках деформація, спричинена термічною обробкою є надто великою. Крім того, водовідштовхувальні властивості самосклеєної фанери підвищується внаслідок термічної обробки [14].

Замочування у воді протягом тривалого періоду часу є досить екстремальним випробуванням для самосклеєної фанери. Також вологість

навколишнього середовища впливає на міцність зв'язку між шпоном. Коли самосклеєні листи фанери переносяться у вологі умови відбувається їх набрякання і найслабші зв'язки розриваються [17].

Рівноважний вміст вологи (РВВ) деревини залежить від відносної вологості і температури: вища температура спричиняє нижчий РВВ за тієї ж відносної вологості. Крім того, вища температура пресування самосклеєної фанери зменшує РВВ. Це зменшення, імовірно, спричинене дегідратацією вуглеводів внаслідок термічної деструкції деревини та зменшенням гідроксильної групи та інших груп, які сприяють гідрофільності деревини. [17].

Вміст вологи і температура впливають на розм'якшення деревини. Існує також зв'язок між вмістом вологи і здатністю шпону до самосклеюватися. Результати Ruronen et al. [14] свідчать про те, що вологий шпон утворює міцніші зв'язки, ніж сухий (за відносної вологості 65 %). Також стверджується, що волога має важливе значення у формуванні зв'язку через посилення зшивання лігніну та збільшення простору для лігніну і геміцелюлозної матриці [14, 21]. Однак вищий вміст вологи також збільшує внутрішній тиск пари під час гарячого пресування. Через високий тиск пари відбувається розшарування зв'язків і навіть повідомлялося про розривання під час скидання тиску [16, 21]. Крім того, механічні властивості деревини з вищим вмістом вологи, знижуються більше під час підвищення температури, ніж механічні властивості деревини з меншим вмістом вологи [22]. Тим не менш, Pinitiaux et al. [23] вивчали властивості склеювання без сполучних речовин різних лігноцелюлозних волоконних матеріалів і дійшли висновку, що оптимальний вміст вологи в сировині має становити приблизно 5–7 %, хоча оптимальний вміст вологи залежить від умов пресування. Наприклад, вологість 0 % значно знижує формувальні властивості сировини і вимагає більше тепла для розм'якшення [23]. З іншого боку, температура 180 °C є достатньою для розм'якшення лігніну та утворення зв'язку [24].

1.4. Аналіз впливу температури і часу пресування на властивості деревини

Під час самосклеювання листів шпону температура пластин для гарячого пресування перевищує 200 °С. Така висока температура викликає потемніння деревини. Зміна кольору – це складне явище, яке можна пояснити деградацією геміцелюлоз, лігніну та екстрактивних речовин [25].

Bekhta & Niemz [26] вивчали вплив часу і температури термічної обробки на зміну кольору ялини. Вони виявили, що колір починає різко змінюватися за 200 °С, а також було відмічено зв'язок з показниками міцності. Крім того, інші властивості деревини також змінюються залежно від тривалості термообробки [27].

Розглядаючи здатність букового шпону склеюватися, Cristescu et al. [28] виявили, що твердість фанери зростає зі зменшенням яскравості. Зміна кольору також може бути пов'язана з утворенням нових екстрактивних речовин і швидкістю деградації геміцелюлози [29, 30]. Крім того, стверджується, що оскільки геміцелюлози і целюлоза не сприяють зміні кольору, вміст лігніну з екстрактивними речовинами, отриманими з геміцелюлози, може бути вирішальним фактором у зміні кольору [29]. Таким чином, чим більш радикальна зміна кольору берези, порівняно з осикою (із-за різниці в щільності), тим вища фактична кількість лігніну в березі [29].

Міцність самосклеєних плит залежить від інтенсивності обробки [16]. Висока температура преса руйнує деревний матеріал і знижує міцність, але в поєднанні зі стисненням механічні властивості покращуються [31, 32]. Однак, основне покращення міцності самосклеєної плити зумовлене кращими характеристиками склеювання. У випробуваннях на зріз, проведених на буковій фанері, найслабша ділянка в композиті знаходиться на лінії склеювання. Під час випробувань на згин спостерігається два типи руйнування. Зразки фанери, виготовлені за більш м'яких умов, ламаються через внутрішній шар в лінії з'єднання. Тоді як зразки фанери, виготовлені за більш жорстких умов, ламаються шляхом розтягування в нижньому шарі [16]. Показники міцності

самосклеєної фанери збільшуються одночасно з виникненням хімічних змін у лінії зв'язку, навіть якщо термічна деградація послаблює деревинний матеріал. Таким чином, водопоглинання фанери знаходиться в найнижчій точці, коли міцність на зріз досягає свого максимуму, як показано на рис. 1.5 [17].

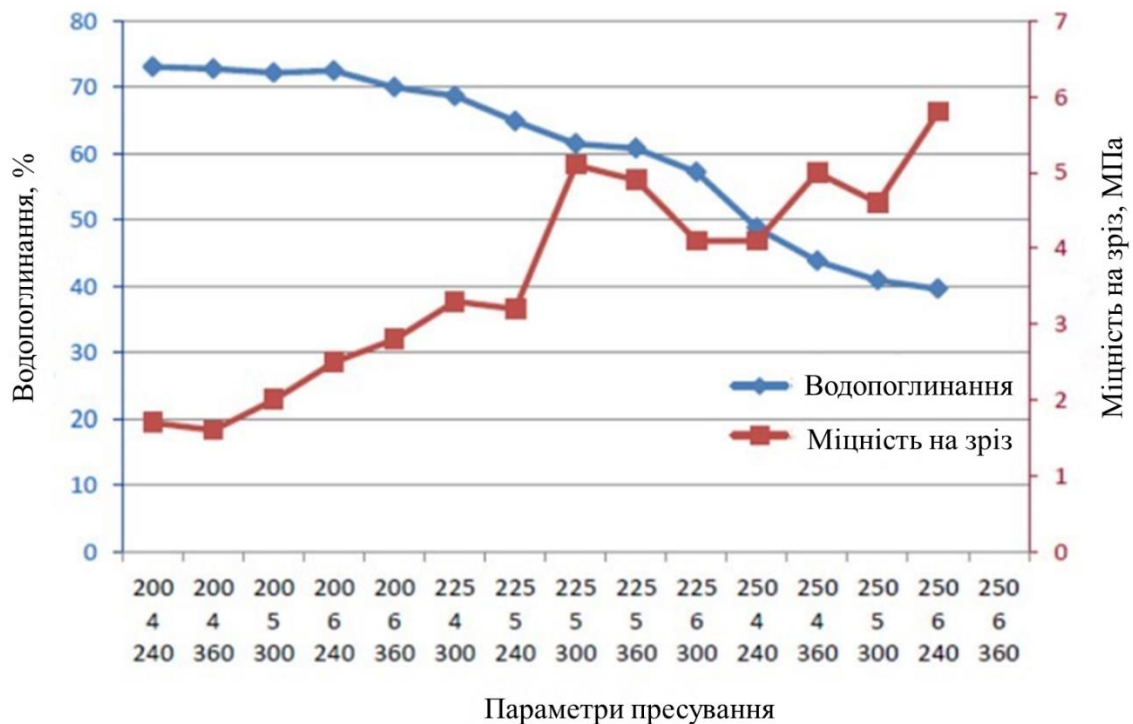


Рис. 1.5. Вплив параметрів пресування на водопоглинання та міцність на зріз самосклеєної букової фанери. [17]. Параметри пресування: температура – 200 °C, 225 °C, 250 °C; тиск пресування – 4 МПа, 5 МПа, 6 МПа; час пресування – 240 с, 300 с, 360 с.

Щільність має найбільший вплив на міцність деревини. Як правило, вища щільність зумовлює вищі показники міцності [33]. Під час стиснення щільність деревини збільшується. Стиснення викликає згинання клітинних стінок, а деформація залежить від розм'якшувальних властивостей компонентів клітинної стінки. Особливо стан лігніну вважається критичним фактором, що впливає на еластичні властивості деревини [34]. Однак, явище зворотної деформації ущільненої деревини є основною проблемою, особливо якщо деревина піддається впливу вологи або води. Пружність деревини механічно ущільненої

деревини, спричинену вологою, можна зменшити, наприклад, за допомогою термічної обробки або пари [35, 36].

Процес самосклеювання шпону, що включає відносно високий тиск і температуру, викликає ущільнення деревини. Самосклеєна дошка, яка пресована за найсуворіших умов з точки зору температури і тиску, виявилася на 67 % щільнішою, ніж листи шпону склеєні гарячим пресування. Існує також зв'язок між високою щільністю і низьким водопоглинанням, низьким набряканням за товщиною, високою міцністю на зріз і високою міцністю на згин [16]. З огляду на параметри процесу, температура впливає на щільність більше, ніж тиск пресування. Оскільки час пресування збільшується з підвищенням тиску і температури, спостерігаються ознаки зниження щільності [17]. Ця втрата щільності, ймовірно, спричинена термічною деструкцією. Розподіл щільності нерівномірний. Найвища щільність після самосклеювання листів шпону знаходиться близько до ліній склеювання і поверхні деревинного композиту [17]. Крім того, повідомляється, що ущільнення шпону впливає на властивості поверхні, зокрема, зменшує шорсткість поверхні [32, 37]. Однак, якщо деревинний композит виготовляється шляхом пресування шпону протягом 60 хв за високої температури, то щільність матеріалу стає настільки високою, що піки щільності в лініях зв'язку зливаються з рештою шпону [38].

Стиснення шпону викликає також згладжування поверхонь і злипання тріщин, утворених від луцильного ножа [32], які мають вплив на міцність фанери на зріз [39]. Як відомо, луцений шпон належить до шорстких поверхонь. Його шорсткість визначається нерівностями анатомічної будови деревини, геометрією ріжучого інструменту і режимом луцення. Під нерівностями розуміють відкриті порожнини судин, перерізані судини, трахеїди і волокна лібриформу, що виходять на поверхню шпону під різними кутами. Також на поверхні шпону спостерігаються тріщини, які утворилися в процесі поперечного різання (рис. 1.6).

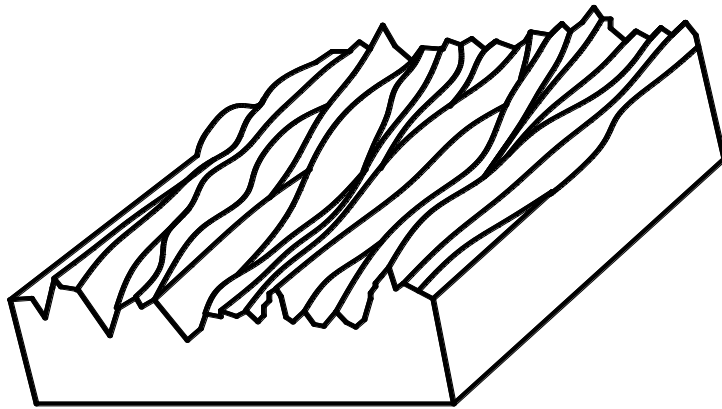


Рис. 1.6. Анізотропна поверхня шпону

У традиційному виробництві фанери листи шпону із тріщинами на поверхні, як правило, обернені всередину і невидимі на поверхні фанери. Однак, зіткнення таких поверхонь шпону між собою у внутрішніх шарах пакета може спричинити розшарування самоклеєної фанери [14].

Твердість – це механічна властивість, на яку найбільше впливає поєднання тепла і тиску, а ущільнення, як повідомляється, збільшує твердість шпону більш ніж у два рази, порівняно з контрольним зразком [32]. Крім того, твердість сильно залежить від збільшення щільності, в той час як показники міцності в основному покращуються разом зі ступенем склеювання [28]. Хоча нагрівання під час ущільнення позитивно впливає на твердість, термічна обробка протягом більше п'яти годин після ущільнення зменшує твердість [34]. Вважається, що це може бути викликано висиханням і деградацією деревного матеріалу внаслідок тривалого впливу тепла [40]. Крім того, втрата еластичності призводить до зниження твердості ущільненої деревини, що свідчить про те, що здатність до розм'якшення і деформації, особливо поблизу поверхні, є важливими факторами з точки зору зміцнення [40, 41].

1.5. Висновки

Виробництво і споживання деревинних композитів в Україні та світі щорічно зростає. Зокрема, збільшується попит на екологічно чисту продукцію. Тому використання деревинних композитів, склеєних на основі

терморективных клеїв, що містять шкідливий формальдегід – зменшується. Виробники і підприємства шукають шляхи заміни цим клеєм. На підставі аналізу різної наукової літератури, велике зацікавлення стало до виготовлення деревинних композитів без використання клею, як наприклад волокнистих плит мокрого способу виробництва. Деревина – пористий матеріал, який складається з різних хімічних компонентів, які під дією температури та вологи змінюють свій хімічний склад та вступають в реакції один з одним, і таким чином переміщуючись до лінії склеювання можуть виконувати роль клею. Проте, процес склеювання деревини без використання клею відрізняється від склеювання деревини синтетичними чи природними клеями. Тому, виникає необхідність дослідити можливість склеювання деревини без використання клею на прикладі листів шпону та фанери.

Об'єктом дослідження є процес склеювання листів шпону без використання клею.

Предметом дослідження є вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися.

Мета роботи – дослідити, як температура і час пресування впливають на здатність березового шпону склеюватися.

Для досягнення поставленої мети було сформовано та вирішено наступні завдання:

1 Дослідити вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися за допомогою ABES.

2 Дослідити вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися у виробництві фанери.

Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали та обладнання

Для проведення експериментальних досліджень використовували наступні матеріали та обладнання:

- березові кряжі довжиною 1,2 м
- лущений шпон породи береза (117×20×0,8 мм), вологістю 6,4 і 11,2 % для випробування у ABES;
- лущений шпон породи береза (88×88×1,5 мм), вологістю 6,4 % для виготовлення фанери;
- конвективна сушарка;
- камери кондиціонування;
- термопара;
- вологоаналізатор Precisa XM60;
- лущильному верстат 3HV66;
- автоматизована система оцінки склеювання (ABES);
- тест-система (MTS) 810 для виготовлення фанери;
- випробувальна машина Zwick;
- круглопилковий верстат;
- ексикатор;
- фільтрувальний папір;
- дистильована вода;
- персональний комп'ютер для проведення статистичної обробки даних.

2.2. Підготовка березового шпону

Березовий шпон одержували з двох кряжів довжиною 1,2 м, які попередньо пропарювали у воді 2 доби. Один кряж зпропарювали у воді за температури 70 °С, а інший – за температури 20 °С. Після пропарювання кряжі подавали на

обкорювальний верстат, а тоді на луцильний верстат марки ЗНV66. На верстаті одержували шпон двох товщин: 0,8 мм – для випробування у автоматизованій системі оцінки склеювання (ABES) і 1,5 мм – для виготовлення фанери. Стрічку лущеного березового шпону розрізали на форматні листи.

Мокрий шпон висушували в сушильній камері за температури 160 °С протягом 1,5 хв, а тоді кондиціонували їх в двох камерах з 30 та 60 % відносною вологістю і навпаки, щоб максимізувати різницю у вологовмісті зразків до і після кондиціонування. Вологість висушеного шпону становила 6,4 і 11,2 %. Після гарячого пресування в ABES зразки витримували знову в камерах протягом одного тижня.

2.3. Методика випробування гарячого склеювання шпону та міцності на зріз за допомогою ABES

2.3.1. Підготовка зразків

Підготовлені листи березового шпону товщиною 0,8 мм для випробування в ABES розрізали на меншу товщину за допомогою спеціального різачка. Смужки шпону мали розмір 117 мм x 20 мм. У всіх зразках шпону напрям волокон був паралельним. Зразки шпону підготовлених розмірів поміщали в поліетиленові пакети, з метою збереження вологості шпону та витримували максимум 1 год перед гарячим пресуванням за допомогою ABES.

2.3.2. Склеювання шпону в ABES

Випробувальна машина ABES (*Adhesive Evaluation Systems, США*) – мініатюрний гарячий прес, який має захоплення з платформами для втримування зразка на місці. Система працює за допомогою пневматики і управляється за допомогою комп'ютера [42] (рис. 2.1).

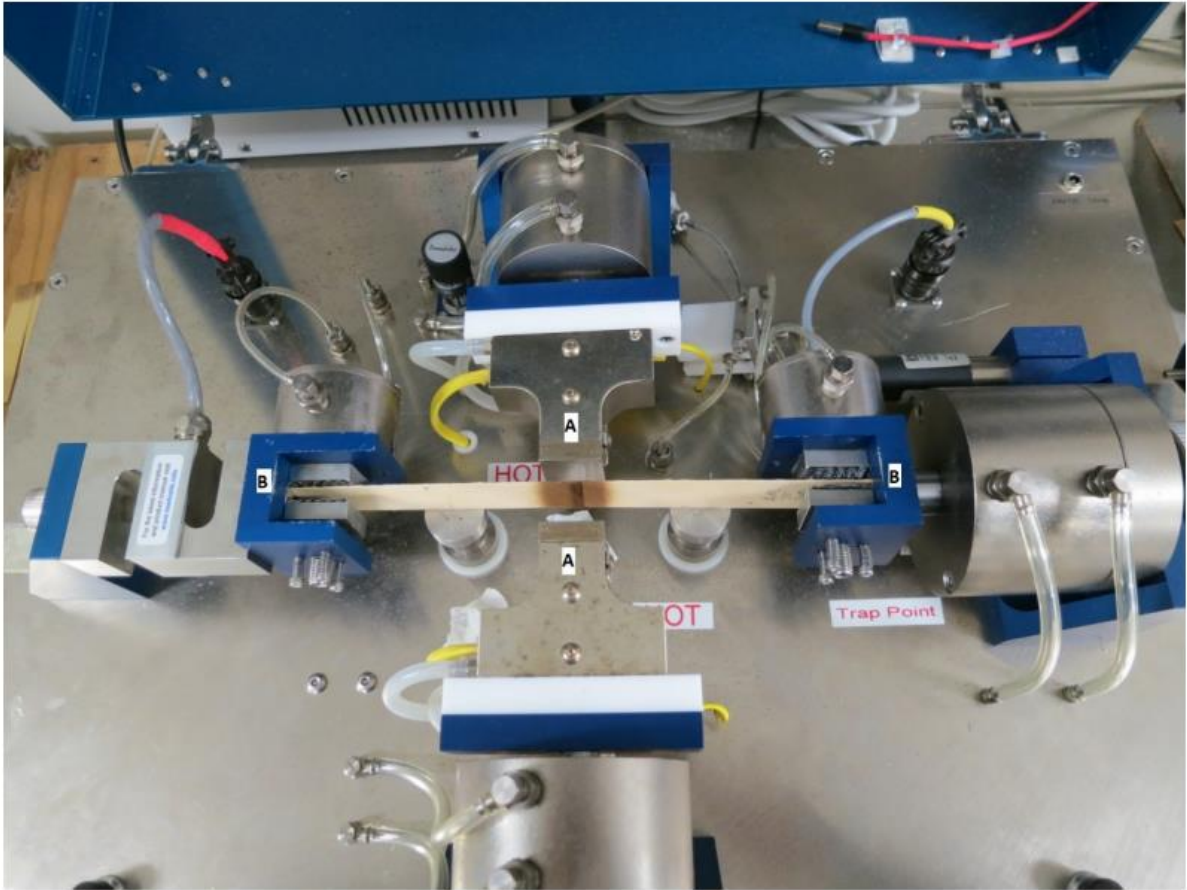


Рис. 2.1. Автоматизована система оцінки склеювання (ABES): А – прес з підігрівом пластини, В – захоплення для шпону

Змінними параметрами процесу склеювання шпону були температура та час пресування. Температура пресування – 180, 200, 220 і 240 °С, час пресування – 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660, 720, 780, 840 і 900 с. Для замірювання температури на лінії склеювання використовували термопару. Тиск пресування листів шпону був незмінним – 5 МПа. Для кожного змінного параметру проводили сім випробувань. Площа склеювання листів шпону становила 8 см² і контролювалася за допомогою обмежувача ABES. Схема формування шпону перед склеюванням наведена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Схематичне зображення формування листів шпону перед склеюванням

2.3.3. Випробування зразків на міцність на зріз за допомогою ABES

Усі склеєні пари листів шпону поміщали в кімнаті для кондиціонування протягом тижня. Після цього їх випробовували на міцність на зріз в ABES. Для цього зразок поміщали між захопленням, потім захоплювач на одному кінці швидко відривав зразок від захоплювача на іншому кінці, який є нерухомим.

Процес розтягує зв'язок до руйнування, в той час як датчик вимірює максимальну силу, яка досягається.

Фактичну міцність з'єднання на зріз розраховували (у МПа) за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (2.1)$$

де σ – межа міцності на зріз, МПа;

F – максимальне зусилля, Н;

A – площа з'єднання листів шпону, мм².

2.4. Виготовлення фанери та випробування

2.4.1. Підготовка зразків

Для випробування на міцність на зріз зразки були підготовлені відповідно до стандарту EN 314. Однак, фанеру випробовували тільки на зріз без будь-якої попередньої обробки у воді. З обох боків зразка було зроблено два надрізи, достатньо глибокі, щоб розірвати три лінії зв'язку. Через невеликий розмір фанерних зразків, було зроблено лише два зразки з центральної частини кожного листа фанери.

2.4.2. Виготовлення фанери

Для виготовлення фанери в лабораторних умовах використовували березовий шпон розміром 88 × 88 × 1,5 мм. Шпон вирізали за допомогою гідравлічного різачка. Для досліджень використовували шпон, одержаний з колод, вимочених за температури 20 °С. Виготовляли п'яти та семишарову фанеру в

тест-системі (MTS) 810 (*MTS Systems Corporation, Minneapolis, Minnesota*). Листи шпону формували з паралельним та перпендикулярним розташування волокон. Тиск пресування утримувався на рівні 5 МПа. Однак існувало три різні комбінації для зняття тиску в кінці циклу пресування:

- 1) швидке скидання – весь тиск знімався одразу після завершення часу;
- 2) поступове скидання тиску;
- 3) коли залишалось 2-3 хвилини часу пресування, тиск починали скидати крок за кроком, зменшуючи його вдвічі, поки не залишилося приблизно 0,1 МПа протягом останніх 30 секунд перед тим, як відкрити гарячий прес (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 –Варіанти зняття тиску гарячого пресу під час виготовлення фанери

Час, що залишався, с	Швидке скидання тиску, МПа	Поступове скидання тиску 2 хв, МПа	Поступове скидання тиску 3 хв, МПа
180	5	5	2,5
120	5	2,5	1,2
90	5	1,2	1,2
75	5	1,2	0,6
60	5	0,6	0,6
45	5	0,6	0,3
30	5	0,3	0,3
15	5	0,1	0,1
0	0	0	0

Час пресування становив від 7,5 до 30 хв залежно від температури та шаруватості фанери. Температура пресування в даному випадку була не дуже точною, оскільки нижня плита гарячого преса була приблизно на 20 °С тепліше, ніж верхня плита. Тому вимірювали температуру в центральній частині фанери. Температура варіювалася між 210 і 240 °С. Температура в лініях склеювання була виміряна за допомогою термопар, які були розміщені в середині кожного з шарів шпону. При зміні температури відстежували лише середню лінію зв'язку. У цьому випадку використовувався той самий термометр, що і під час вимірювання температури лінії зв'язку зразків ABES.

2.4.3. Випробування на міцність фанери на зріз

Перед випробуванням зразки зберігалися в кондиціонованому приміщенні з відносною вологістю повітря 35 % і температури 25 °С. Також були виміряні розміри площі склеювання. Міцність на зріз лінії склеювання тестували за допомогою випробувальної машини Zwick (рис. 2.3).

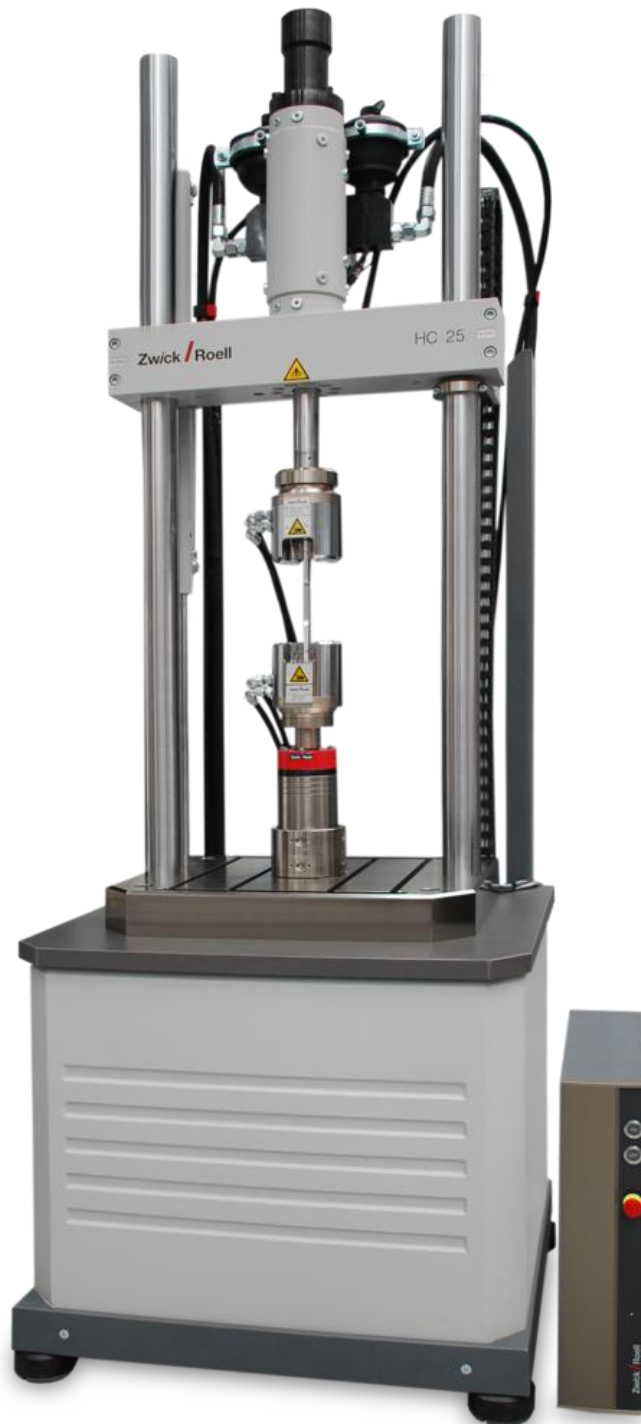


Рис. 2.3. Випробувальна машина Zwick

Після розриву з'єднання візуально оцінювали якість і положення зламу. Датчик навантаження у випробувальній машині вимірював максимальне розривне зусилля, а міцність на зріз (у МПа) розраховували за формулою:

$$f = \frac{F}{l \cdot b}, \quad (2.2)$$

де f – межа міцності на зріз, МПа;

F – максимальне зусилля, Н;

l, b – відповідно довжина і ширина площі зрізу, мм².

2.5. Статистичний аналіз

Результати випробувань на міцність ABES були проаналізовані за допомогою дисперсійного аналізу з поправкою Bonferroni. Випробування проводилися для порівняння середніх значень результатів для різних характеристик сировини. Всі порівняння були проведені для кожного часу пресування і для 220 і 240 °С температури пресування окремо. Рівень значущості був встановлений на рівні 5 %, отже, різниця вважається статистично значущою при $p < 0.05$.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати ABES

Табл. 3.1 наведено кодування параметрів у тестуванні ABES. Кодування використовується для полегшення представлення результатів випробувань на зріз за допомогою ABES та статистичного аналізу.

Табл. 3.1 – Кодування параметрів, які використовувалися під час випробувань за допомогою ABES

Кодування	Пояснення
A	Пропарений кряж за температури 70 °C
B	Пропарений кряж за температури 20 °C
D	Сухий шпон кондиціонований до 35 % перед склеюванням
M	Мокрий шпон кондиціонований до 65 % перед склеюванням
35	Шпон кондиціонований до 35 % після склеюванням
65	Шпон кондиціонований до 65 % після склеюванням
200	Температура пресування 200 °C
220	Температура пресування 220 °C
240	Температура пресування 240 °C

На рис. 3.1 наведена міцність на зріз як функція часу пресування для всіх комбінацій параметрів, які були використані. Кожна з точок є середнє значення для семи спостережень. Якщо листи шпону розшарувалися відразу після відкриття преса або перед випробуванням на міцність, значення вимірювання позначено як 0. Кольори кривих однакові для кожної подібної комбінації параметрів, пресованих за різних температур. Наприклад, VM 65 220 і VM 65 240 позначені жовтим кольором.

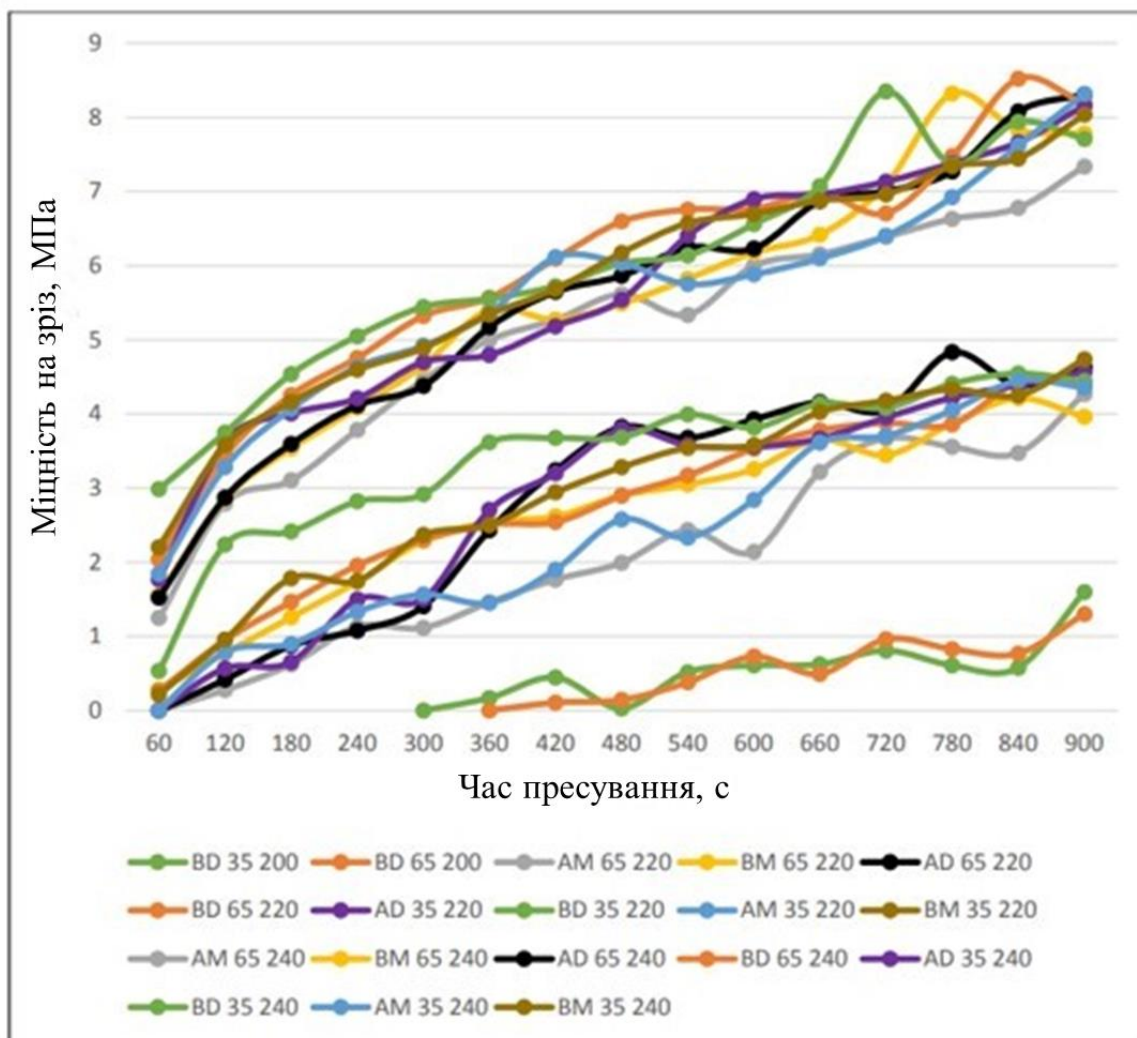


Рис. 3.1. Межа міцності на зріз самоклеєного березового шпону, залежно від часу пресування. Кодування відповідає поясненню, яке представлено в табл. 3.1.

3.1.1. Вплив часу і температури пресування на здатність шпону склеюватися

Час і температура пресування мають значний вплив на здатність шпону до самосклеювання, як наведено на рис. 3.1. Підвищення температури від 220 до 240 °C має відносно сильний вплив на формування зв'язку, особливо за короткого часу пресування. Крім того, графіки на рис. 3.1 чітко відокремлені один від одного по відношенню до температури, хоча і спостерігається варіація результатів. Не вдалося сформувати жодних зв'язків між листами шпону під час

пресування за температури 180 °С за час, що був використаний. Довший час пресування також збільшує міцність самосклеєного шпону на розтяг. Однак збільшення показників міцності відбувається стрімко за короткого часу пресування і вирівнюються значення за часу близько 900 с.

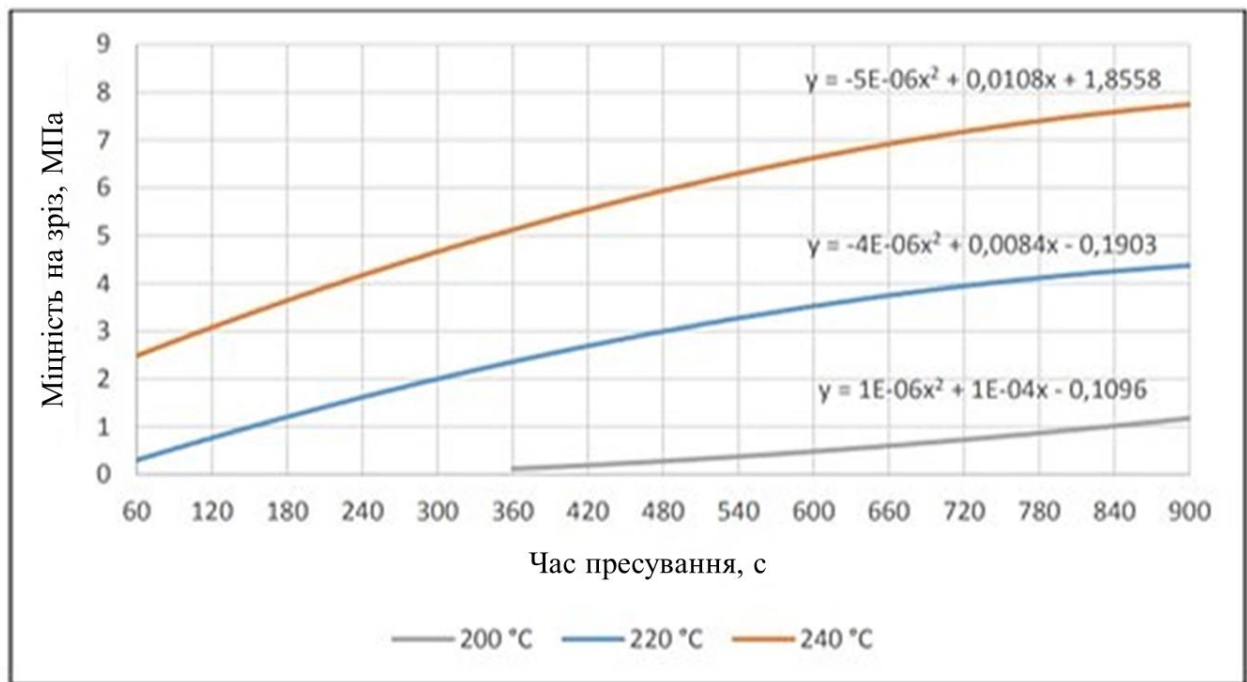


Рис. 3.2. Вплив часу пресування на міцність на зріз самосклеєного шпону

За температури пресування 200 °С міцність формування зв'язків між листами шпону дуже слабка, навіть за часу нижче 900 с, але починає зростати трохи швидше. Тим не менш, малоімовірно, що значення зростуть протягом часу більше 900 с, через те, що тільки ВД-шпон (кряж за температури пропарювання 20 °С, більш сухий шпон перед склеюванням кондиціонований до 35 % відносній вологості склеювання) зміг сформувати зв'язок в цих умовах.

На рис. 3.3 показано залежність пропорційного середньоквадратичного відхилення від часу пресування та температури. Графіки підкреслюють невизначеність склеювання за низької температури і короткого часу пресування. У зв'язку з тим, що розшарування листів шпону призводить до того, що межа міцності на зріз рівна 0, тому збільшується середньоквадратичне відхилення. Високе пропорційне середньоквадратичне відхилення вказує на те, що утворення

зв'язку є випадковим, а отже, особливо пресування зразків за нижчих температур призводить до того, що потрібно більше часу, щоб досягнути навіть помірною стандартного відхилення.

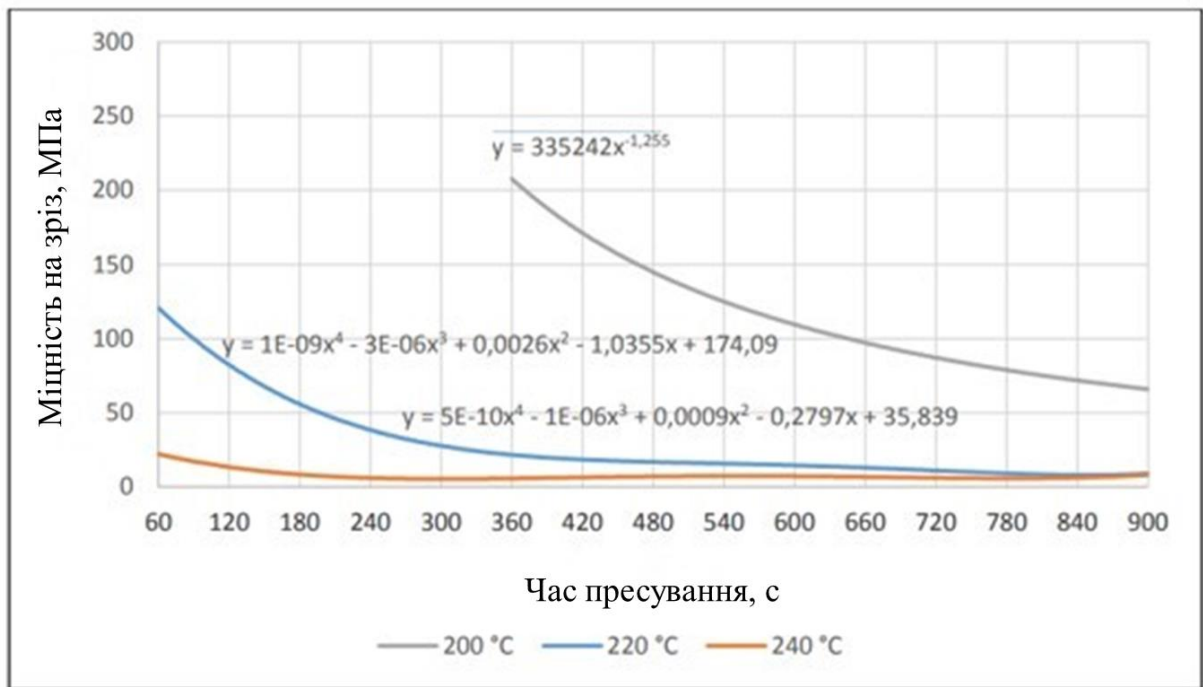


Рис. 3.3. Пропорційне середньоквадратичне відхилення міцності на зріз самоклеєного шпону, пресованого за різних температур, залежно від часу пресування

На рис. 3.4 наведено зміну кольору листів шпону, склеєних за допомогою АВЕС. Потемніння листів шпону, спресованих за 240 °C виглядає дуже різким. Колір також стає темнішим разом з інтенсивністю обробки, тобто з довшим часом гарячого пресування і вищою температурою. Як обговорювалося в п. 1.4, існує зв'язок між кольором і механічними властивостями з'єднання самоклеєного шпону. За одержаними результатами також можна припустити, що може існувати кореляція між міцністю з'єднання і кольором зони склеювання. Хоча це спостереження не підтверджено, і варте подальшого вивчення за допомогою АВЕС.

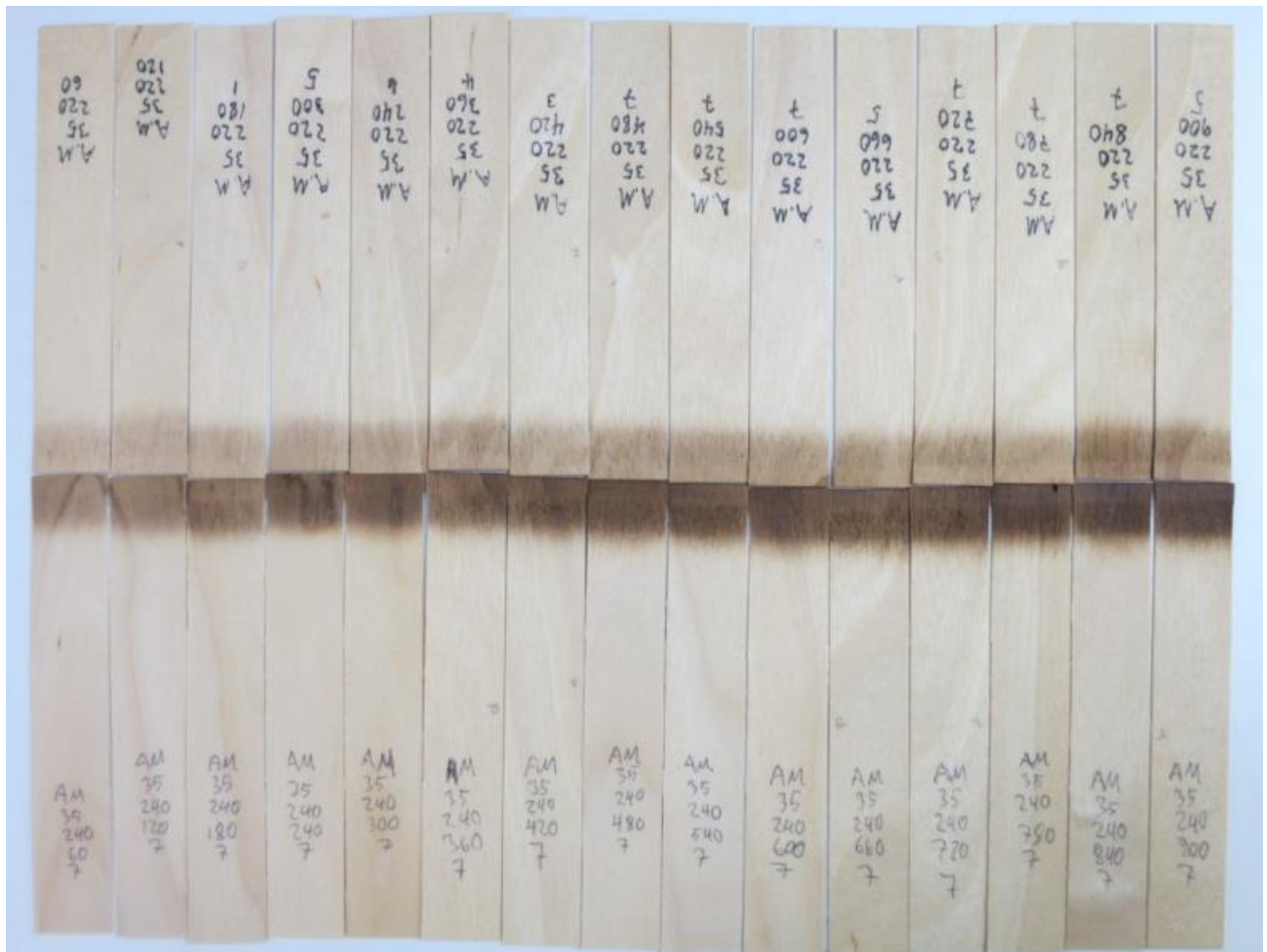


Рис. 3.4. Пресовані листи шпону на ABES за різних температур і часу пресування. Зліва направо: (60 – 900) с. Вище: 220 °С. Внизу: 240 °С.

Випробування на адгезію та міцність за допомогою ABES дають однакові результати з попередніми дослідженнями щодо часу та температури пресування: вища температура і довший час забезпечують міцніші зв'язки, і, крім того, вплив температури є суттєвим [12]. За підвищеної температури до 240 °С хімічні зміни в геміцелюлозах і лігніні відбуваються швидше і ефективніше, утворюючи зв'язок за відносно короткий проміжок часу. Наприклад, пресування за 240 °С протягом 300 с забезпечує в середньому вищу міцність ніж пресування за 220 °С протягом 900 с. Крім того, є підстави припустити, що міцність з'єднання не значно покращується після 900 с, виходячи з форми графіків на рис. 3.1.

Пропорційне середньоквадратичне відхилення є гарним показником загальної якості склеювання, оскільки розшарування листів шпону значно

збільшує стандартне відхилення. Пропорційне стандартне відхилення понад 100 % означає, що середньоквадратичне відхилення більше за середнє, а тому середні значення є дуже приблизними, а формування зв'язку – дуже невизначеним, тому що розшарування листів шпону викликає найбільше відхилення в результатах.

Однак, існує також дисперсія в результатах, викликана іншими факторами, такими як температура замочування колоди і вологість шпону. Крім того, можливі зміни в розмірі площі з'єднання і нерівномірність шпону можуть дещо збільшити стандартне відхилення.

3.2. Виділення та вимірювання тепла на лінії склеювання

На рис. 3.5 показано, що тепло досягає прийняттого рівня менш ніж за 15 с під час використання ABES. Однак температура в лінії з'єднання залишається на кілька градусів нижче бажаної температури до 50 с, можливо, через більш високе споживання енергії, оскільки волога в шпоні випаровується.

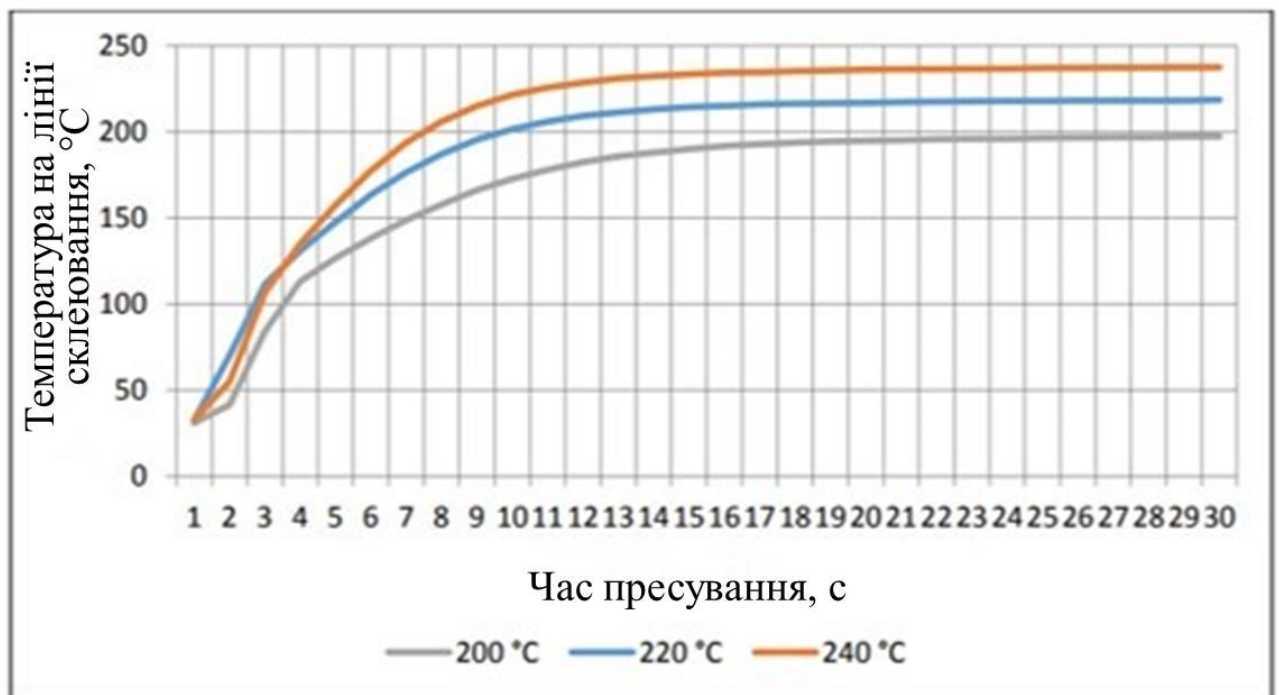


Рис. 3.5. Виділення тепла на лінії склеювання зразків ABES, спресованих за різних температур

Виходячи з результатів, тепло досягає лінії склеювання настільки швидко, що його вплив на результати міцності є незначним. Тим не менш, вплив часу підвищення температури на час пресування 60 с є пропорційно найбільшим. Результати на рис. 3.6 показують, що зовнішні шари шпону, розташовані ближче до поверхні, прогріваються швидше, ніж внутрішні шари. Коли досягається максимальна температура, найтепліший шар є найнижчий, а найхолоднішим - верхня лінія зв'язку. Це пов'язано з тим, що спричинено приблизно на 20 °С вищою температурою на нижній пресувальній плиті.

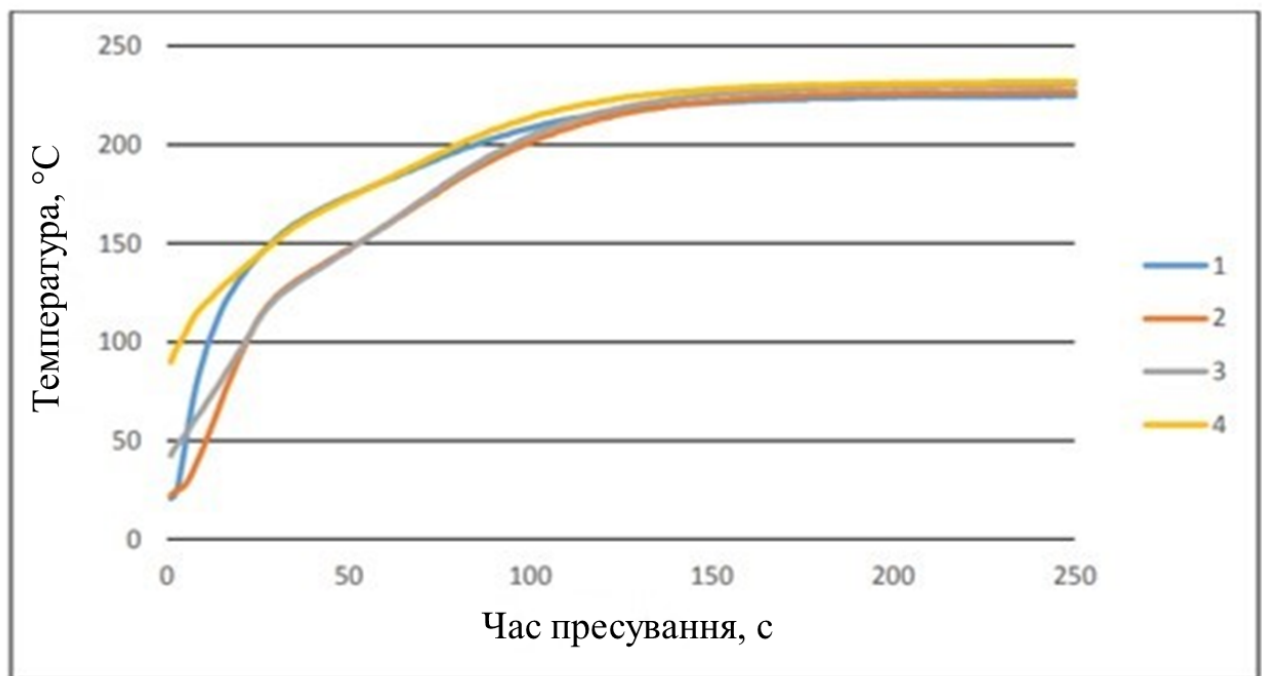


Рис. 3.6. Виділення тепла вздовж лінії склеювання паралельно сформованої 5-и шарової фанери. Цифри 1 – 4 позначають лінії з'єднання зверху вниз відповідно.

Внутрішні шари фанери досягають плато приблизно за 150 с і це було основою для вибору часу пресування для випробувань фанери. Крім того, подібне плече можна побачити за температури приблизно 120 °С на кривих ліній внутрішніх зв'язків, про що повідомляють Cristescu et al. [43]. Різниця між зовнішнім і внутрішнім шарами, ймовірно, спричинена парою, якій важко виходити з середини фанери, а також втратою маси деревини, яка починається

приблизно за однакової температури [17, 44]. Однак криві зразків ABES на рис. 3.6 показують подібний тип поведінки, особливо за температур пресування 200 і 220 °С. Крива за температури 240 °С продовжує зростати з тим самим нахилом. Гаряче пресування в ABES дозволяє парі випаровуватися досить вільно, оскільки лише два листи шпону склеюються, а невелика площа склеювання зменшує утворення пари, порівняно з фанерою. Тому є ознаки того, що на зростання температури за 120 °С може впливати переважаюча температура за межами шпону. Тим не менш, це результати лише одного вимірювання, і вони потребують більш ретельного вивчення, перш ніж робити висновки.

3.3. Результати випробувань фанери

Результати в цьому розділі є приблизними, і статистичний аналіз не проводився через експериментальний характер тестування. Параметри були обрані на основі ABES з метою масштабування та порівняння результатів. Всі листи шпону були одержані з кряжа, який був пропарений за температури 20 °С, оскільки вони показали кращі показники міцності в тестах ABES.

Час пресування 7,5 хв створює міцніші зв'язки в середині фанери, ніж час пресування на 10 хв довший, як показано на рис. 3.7. Крім того, 220 °С і 7,5 хв були єдиною групою, яка змогла сформувати міцне з'єднання і не продемонструвала розшарування або руйнування з'єднань до початку випробувань.

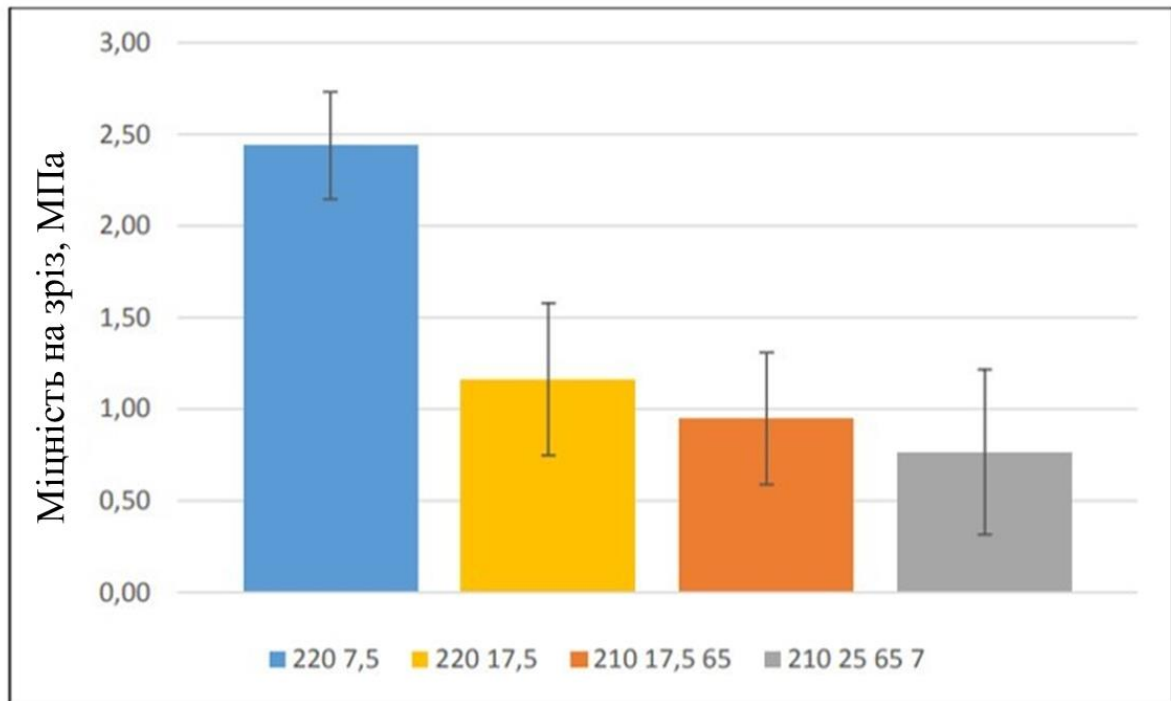


Рис. 3.7. Міцність на зріз самосклеєної фанери з паралельним розташуванням листів шпону. Параметри склеювання: тиск – 5 МПа; температура – 210 °С, 220 °С; час – 7,5; 17,5; 25 хв. 65: шпон з відносною вологістю 65%. Остання колонка – фанера, виготовлена з 7-и шарів шпону. Смуги похибок є стандартними відхиленнями. Кількість зразків для кожного із стовпчиків зліва направо відповідно 13, 14, 6, 6.

Було встановлено, що всі руйнування під час випробування на міцність на зріз відбувалися вздовж лінії з'єднання, а не в середині деревини. Більш тривалий час пресування пакетів шпону призвів до незначного розкриття швів, що спричинило низьку міцність на зріз. Використання шпону з більшою вологістю призвело до розриву фанери під час пресування за 220 °С. Тому температура пресування була знижена до температури 210 °С і протягом 2 хв поступово знімали тиск (табл. 2.1). Поступове скидання тиску використовувалося для того, щоб повільніше випускати пару із середини фанери, щоб не спричинити розривання листа. Незважаючи на те, що розривання листа фанери вдалося уникнути, фактичне з'єднання залишилося слабким.

Для 7-и шарової фанери час пресування було збільшено до 25 хв, щоб забезпечити достатньо часу для прогрівання внутрішніх ліній склеювання. Додатково було застосовано поступове зменшення тиску протягом 3 хв. Всі зразки фанери, які були протестовані, виготовлені із березового шпону з паралельним розташуванням волокон. Фанера, виготовлена з листів шпону з перпендикулярним розташуванням волокон, майже відразу розшарувалася після відкриття преса.

Порівняння результатів на рис. 3.7 з результатами тестування ABES показало, що результати не є повністю порівняними. Результати ABES свідчать про те, що довший час пресування покращує склеювання. Однак, пресування п'ятишарової фанери викликало більше розшарування, оскільки час пресування був збільшений. Нерівномірний розподіл тепла в середині фанери міг вплинути на результати, оскільки нижня сторона фанери була майже обвуглена, в той час як верхня сторона виглядала більш рівномірно забарвленою. Розкриття швів відбулося в межах нижнього шпону. Розривання більш вологого шпону і розкриття швів вказують на те, що вищий вміст вологи знижує здатність шпону з'єднуватися при виробництві фанери. Крім того, тривалий час пресування в поєднанні з високою температурою може призвести до часткового розшарування шпону вологістю 6 %.

Ruonen et al. [20] також повідомили, що внутрішній тиск пари підвищується до кінця гарячого пресування, що призводить до розшарування. Крім того, внутрішній паровий тиск деревинних композитів починає швидко зростати після 500 с гарячого пресування, а також підвищення температури пресування збільшує тиск пари [45].

3.4. ВИСНОВКИ

У даній роботі було досліджено вплив температури і часу пресування на здатність березового шпону склеюватися за допомогою ABES та виготовлення фанери. За результатами аналізу виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримано такі висновки:

1 З'ясовано, що хімічні компоненти деревини (целюлоза, геміцелюлози, лігнін та екстрактивні речовини) під дією температури та вологи змінюють свій хімічний склад та вступають в реакції один з одним, і таким чином переміщуючись до лінії склеювання можуть виконувати роль клею. Звідси випливає, що деревина має здатність склеюватися без використання клею.

2 За результатами ABES, шпон одержаний за температури пропарювання кряжа 20 °C має здатність склеюватися та утворювати міцне з'єднання, ніж шпон одержаний за температури пропарювання кряжа 70 °C. Вищий вміст вологи перешкоджає утворенню зв'язку і спричиняє занадто високий тиск пари в середині фанери.

3 Температура пресування виявилася впливовим фактором у формуванні зв'язку: гаряче пресування за 240 °C було достатнім для швидшого формування міцного зв'язку, ніж пресування за 220 °C. Враховуючи внутрішній тиск пари, який може зростати надто сильно у фанері протягом тривалого часу пресування, може бути важливим і впливати на можливість формування з'єднання якомога швидше.

4 На основі результатів випробувань ABES і фанери встановлено, що коротший час пресування може забезпечити відносно хороше з'єднання в листах шпону фанери, якщо температура пресування достатньо висока для формування міцного з'єднання.

5 Важливо враховувати самоадгезію, щоб переконатися, що напрямок волокон точно паралельний в межах склеєних листів шпону. Результати, отримані для паралельно сформованих пакетів шпону у виготовленні фанери, свідчать про те, що результати ABES-тестування не повністю можна застосовувати у більших масштабах. Зі збільшенням площі з'єднання, збільшується також вплив внутрішнього тиску пари та інших факторів, які стають все більш значущими. Тому, наприклад, оптимізація параметрів пресування за допомогою ABES для фанери великих розмірів не є точною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бехта П. А. Технологія виробництва фанери: Навчальний посібник. Київ: ІЗІН, 1996. 280 с.
2. Бехта П.А. Виробництво і обробка лушеного та струганого шпону: Навчальний посібник. Київ: ІСДО, 1995. 296 с.
3. Бехта П.А. Виробництво фанери: Підручник. Київ: Основа, 2003. 320 с.
4. Гупало О.П., Тушницький О.П. Хімія деревини: підручник, 2-ге видання, випралене і доповнене. Київ: Знання, 2008. 276 с.
5. Esteves, V. M. & Pereira, H. M. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *BioResources*. 4(2008):1. pp. 370 – 404.
6. Klemm, D., Heublein, B., Fink, H-P., & Bohn, A. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie*. 44(2005): 22. pp. 3358 – 3393.
7. Bhuiyan, M. T. R., Hirai, N., & Sobue, N. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. *Journal of Wood Science*, 46(2000):6. pp. 431 – 436.
8. Zaman, A., Alén, R., & Kotilainen, R. Thermal Behavior of Scots Pine (*Pinus Sylvesteris*) and Silver Birch (*Betula Pendula*) at 200 – 230 °C. *Wood Fiber Sci*. 32(2000):2. pp. 138 – 143.
9. Cristescu, C. & Karlsson, O. Changes in Content of Furfufals and Phenols in Self-bonded Laminated Boards. *BioResources*. 8(2013): 3. pp. 4056 – 4071.
10. Hakkou, M., Pétrissans, M., Gérardin, P., & Zoulalian, A. Investigations of the Reasons for Fungal Durability of Heat-treated Beech Wood. *Polymer Degradation and Stability*. 91(2006):2. pp. 393 – 397.
11. Alvarez, C., Rojas, O., Rojano, B., & Ganán, P. Development of SelfBonded Fiberboards from Fiber of Leaf Plantain: Effect of Water and Organic Extractives Removal. *BioResources*. 10(2015):1. pp. 672 – 68.
12. Cristescu, C. Bonding Veneers Using Only Heat and Pressure: Focus on Bending and Shear Strength. Licentiate Thesis. Luleå University of Technology. Division of Wood Science and Technology. Skellefteå, 2008. 55 p.

13. Cristescu, C. Bonding Laminated Veneers with Heat and Pressure Only. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products "Ecowood". Porto. Portugal. 2006. pp. 339 – 348.
14. Ruponen, J., Rautkari, L., Belt, T., & Hughes, M. Factors Influencing Properties of Parallel Laminated Binderless Bonded Plywood Manufactured from Rotary Cut Birch (*Betula pendula* L.). *International Wood Products Journal*. 5(2014): 1. pp. 11 – 17.
15. Ando, M. & Sato, M. Manufacture of Plywood Bonded with Kenaf Core Powder. *Journal of Wood Science*. 55(2009): 4. pp. 283 – 288.
16. Cristescu, C., Sandberg, D., Ekevad, M., & Karlsson, O. Influence of Pressing Parameters on Mechanical and Physical Properties of Self-bonded Laminated Beech Boards. *Wood Material Science & Engineering*. 10(2015b): 2. pp. 205 – 214.
17. Cristescu, C. Self-Bonding of Beech Veneers. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. Division of Wood Science and Technology. Luleå, 2015. 96 p.
18. Karlsson, O., Yang, Q., Sehlstedt-Persson, M., & Morén, T. Heat treatments of high temperature dried Norway spruce boards: Saccharides and furfurals in sapwood surfaces. *BioResources*. 7(2012):2. pp. 2284 – 2299.
19. Repellin, V. & Guyonnet, R. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. *Holzforschung*, 59(2005):1. pp. 28 – 34.
20. Ruponen, J., Čermák, P., Rhême, M., & Rautkari, L. Reducing moisture sensitivity of linear friction-welded birch (*Betula pendula* L.) wood through thermal modification. *Journal of Adhesion and Science Technology*. 29(2015a):22. pp. 2461 – 2474.
21. Ruponen, J., Rautkari, L., Ohlmeyer, M., & Hughes, M. Self-bonded Birch Plywood (*Betula pendula* L.): Studies on Internal Gas Pressure during Hot Pressing and on Post-manufacture Thermal Modification. In *Wood 2015: Innovations in Wood Materials and Processes*. Brno, Czech Republic, May 19 – 22 2015. Mendel University in Brno. 2015b. pp. 82 – 83.

22. Gerhards, C. C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. *Wood and fiber*, 14(1982):1. pp. 4 – 36.
23. Pintiaux, T., Viet, D., Vandenbossche, V., Rigal, L., & Rouilly, A. Binderless materials obtained by thermo-compressive processing of lignocellulosic fibers: a comprehensive review. *BioResources*, 10(2015):1. pp. 1915 – 19.
24. Okuda, N., Hori, K., & Sato, M. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (II): effects on the binderless board properties. *Journal of Wood Science*. 52(2006):3. pp. 249 – 254.
25. Sundqvist, B. Colour changes and acid formation in wood during heating. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. Division of Wood Material science. Luleå, 2004. 50 p.
26. Bekhta, P. & Niemz, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57(2003):5. pp. 539 – 546.
27. Todorovic, N. V., Popović, Z., Milić, G., & Popadić, R. Estimation of heattreated beechwood properties by color change. *BioResources*, 7(2012):1. pp. 799 – 815.
28. Cristescu, C., Sandberg, D., Hagman, O., & Karlsson, O. Could color predict the hardness of hot-pressed self-laminated beech boards? *Pro Ligno*. 11(2015c):4. pp. 150 – 156.
29. Kocaefe, D., Poncsak, S., & Boluk, Y. Effect of Thermal Treatment on the Chemical Composition and Mechanical Properties of Birch and Aspen. *BioResources*. 3(2008):2. pp. 517 – 537.
30. Sundqvist, B. Colour changes and acid formation in wood during heating. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. Division of Wood Material science. Luleå, 2004. 50 p.
31. Blomberg, J., Persson, B., & Blomberg, A. Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density. *Wood Sci. Technol.* 39(2005):5. pp. 339 – 350.

32. Fang, C. H., Mariotti, N., Cloutier, A., Koubaa, A., & Blanchet, P. Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(2012):1-3. pp. 155 – 163.
33. Kärkkäinen, M. Puutieteen perusteet. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Karisto Oy. Hämeenlinna, Finland. 2003. 451.
34. Morsing, N. Densification of Wood: The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain. Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark. 2000. 138 p.
35. Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., & Rowel, R. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood. *Wood and Fiber Science*. 25(1993):3. pp. 224 – 235.
36. Navi, P. & Girardet, F. Effects of Thermo-Hydro-Mechanical Treatment on the Structure and Properties of Wood. *Holzforschung*. 54(2000):3. pp. 287 – 293.
37. Bekhta, P., Proszkyk, S., Krystofiak, T., Mamonova, M., Pinkowski, G., & Lis, B. Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers. *Wood Material Science & Engineering*. 9(2014):4. pp. 233 – 245.
38. Mansouri, H. R., Leban, J. M., & Pizzi, A. High density panels obtained by welding of wood veneers without any adhesives. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(2010):8 – 10. pp. 1529 – 1534.
39. Rohumaa, A., Hunt, C. G., Hughes, M., Frihart, C. R., & Logren, J. The influence of lathe check depth and orientation on the bond quality of phenol- 57 formaldehyde–bonded birch plywood. *Holzforschung*. 67(2013):7. pp. 779 – 786.
40. Laine, K., Rautkari, L., & Hughes, M. The effect of process parameters on the hardness of surface densified Scots pine solid wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(2013):1. pp. 13 – 16.
41. Rautkari, L., Kamke, F. A., & Hughes, M. Density profile relation to hardness of viscoelastic thermal compressed (VTC) wood composite. *Wood Sci. Technol.* 45(2011):4. pp. 693 – 705.
42. Wescott J. M., Birkeland M. J., Traska A. E., Frihart C. R., & Dally B. N. New Method for Rapid Testing of Bond Strength for Wood Adhesives. In: *Proceedings of the 30th Annual Meeting of The Adhesion Society, Inc.* 2007. pp. 219 – 221.

43. Cristescu, C., Neyses, B., Sandberg, D., & Söderström, O. Modelling of Temperature Distribution in Self-bonded Beech-veneer Boards During Hotpressing. *Pro Ligno*. 11(2015a): 4. pp. 97 – 103.
44. Wannapeera, J., Fungtammasan, B., & Worasuwannarak, N. Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 92(2011):1. pp. 99 – 105.
45. Thomen, H. Modeling the physical processes in natural fiber composites during batch and continuous pressing. Doctoral Thesis. Oregon State University. Department of Forest Products. 2000. 187 p.
46. Regert, M. Investigating the history of prehistoric glues by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Separation Science*. 27(2004): 3. pp. 244 – 254.
47. Nicholson, C., Abercrombie, J., Botterill, W., Brocato, R., Detzel, J., Fitzpatrick, J. Jr, Martin, C., Messer, M., Mohr, F., Robins, B., Toback, A., & Weichsel, R. History of Adhesives. *ESC Reports*. 1(1991): 2. 4p.
48. Sellers, T. *Plywood and Adhesive Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York. 1985.
49. Malaka, T. & Kodama, A. Respiratory Health of Plywood Workers Occupationally Exposed to Formaldehyde. *Archives of Environmental Health*. 45(1990): 5. pp. 288 – 294.
50. Salthammer, T., Mantese, S., & Marutzky, R. Formaldehyde in the Indoor Environment. *Chemical Reviews*. 110(2010): 4. pp. 2536 – 2572.
51. Bekhta, P., Chernetskyi, O., Kusniak, I., Bekhta, N., & Bryn, O. (2022). Selected Properties of Plywood Bonded with Low-Density Polyethylene Film from Different Wood Species. *Polymers*, 14. <https://doi.org/10.3390/polym14010051>