

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

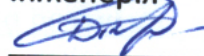
УДК 674.093.26

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра на тему:

“Аналіз досліджень виготовлення деревинних панелей із використанням термопластів як клеїв для деревини”

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



Добровольський П.Р.

(підпис)

Керівник: проф. каф. ТДКМ, д.т.н.

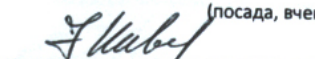


Бехта П.А.

(підпис)

Рецензент: Гудер Ю. І., к. т. н.

(посада, вчене звання, науковий ступінь)



(підпис)

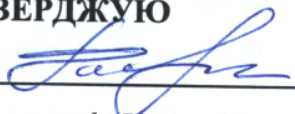
Гудер Ю. І.

(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. Козак Р.О.

“22” грудня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Добровольському Павлові Романовичу

- Тема роботи Аналіз досліджень виготовлення дере-винних панелей із використанням термопластів як клеїв для деревини.
керівник роботи проф. кафедри ТДКМ Бехта Павло Антонович, д.т.н.,
затверджені наказом університету від “28” жовтня 2024 року № С-846
- Термін подання студентом роботи 22.12.2025 р.
- Вихідні дані до роботи Узагальнити й проаналізувати технологію обробки, механізм склеювання та експлуатаційні характеристики деревних плит на термопластичній основі. З’ясувати наявні проблеми цього нового типу плит і визначити тенденції їхнього подальшого розвитку.
- Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)
 - Технологія виготовлення деревних плит на основі термопластиків.
 - Експлуатаційні характеристики деревних плит, склеєних термопластиками.
 - Технічні проблеми деревних плит, виготовлених із термопластичного клею.
 - Висновки
- Дата видачі завдання 01.11.2024 р.

Студент  П.Р. Добровольський
(підпис)

Керівник роботи  П.А. Бехта
(підпис)

Анотація

Коли термопластичні смоли, такі як поліетилен (PE) та поліпропілен (PP), обираються як клеї для склеювання деревних частинок (волокон, трісок, шпону) за допомогою технології гарячого пресування, проблема викидів формальдегіду, яка давно існує в галузі виробництва деревних плит, може бути ефективно вирішена. У магістерській роботі загалом встановлено, що деревні плити, склеєні термопластичними матеріалами, мають відносно вищі механічні характеристики, кращу водостійкість і оброблюваність порівняно з традиційними плитами на основі карбамідо-формальдегідного клею. Проте структура з'єднання між деревиною і термопластичними матеріалами виявилася нестабільною при високих температурах. Порівняно з деревно-пластиковими композитами, виготовленими методом екструзії або литтям під тиском, деревинні плити на термопластичній основі мають переваги у вигляді більшого розміру, ширшого спектра сировини та вищої ефективності виробництва. У магістерській роботі всебічно узагальнено й проаналізовано технологію обробки, механізм склеювання та експлуатаційні характеристики деревних плит на термопластичній основі. Водночас акцентовано на наявних проблемах цього нового типу плит і визначено тенденції їхнього подальшого розвитку, що може надати деревообробній промисловості підґрунтя та рекомендації щодо використання термопластів як екологічно чистих клеїв і ефективного вирішення проблем забруднення повітря в приміщеннях.

Магістерська робота складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків і списку літератури. Загальний обсяг дипломної роботи складає 34 сторінки, з них 24 сторінки основного тексту, список літератури із 91 назви.

Ключові слова: деревинна плита; термопласти; клей; деревно-пластикові фанери; деревно-пластикова стружкова плита; деревинна сировина; лігноцелюлозна сировина; аграрні відходи

ЗМІСТ

1. ВСТУП.....	6
2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ НА ОСНОВІ ТЕРМОПЛАСТИКІВ.....	8
2.1. Сировина.....	8
2.2. Технологія виготовлення деревно-пластикової фанери.....	8
2.3. Технологія виготовлення деревно-пластикової стружкової плити.	10
3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ, СКЛЕЄНИХ ТЕРМОПЛАСТИКАМИ.....	14
3.1. Екологічні характеристики.....	14
3.2. Фізичні та механічні властивості.....	15
3.2.1. Водостійкість.....	15
3.2.2 Механічні властивості.....	17
4. ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КЛЕЮ.....	21
5. ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	26

1. ВСТУП

Розвиток промисловості деревних плит відіграє важливу роль у зменшенні дисбалансу між попитом і пропозицією деревини, збереженні лісових ресурсів та охороні екологічного середовища [1,2,3]. Фанера, волокнисті плити (ВП) та стружкові плити (СП) є трьома основними видами деревних плит, які широко використовуються як альтернативні матеріали у виробництві меблів, облицювальних панелей, будівельних конструкцій з деревини та в інших сферах — завдяки стабільним фізичним властивостям, широкій сировинній базі та хорошим експлуатаційним характеристикам [4].

Однак клеї для деревини — ключовий компонент у виробництві деревних композиційних матеріалів — в основному базуються на формальдегідвмісних речовинах, таких як сечовинно-формальдегідна (UF) смола, фенол-формальдегідна (PF) смола та меламіно-сечовинно-формальдегідна (MUF) смола [5,6]. Ці клеї мають добру адгезію та технологічну зрілість, однак під час виробництва й експлуатації деревних матеріалів вони виділяють формальдегід [7].

У 2004 році Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) перекласифікувало формальдегід із категорії «ймовірно канцерогенний для людини» до категорії «канцерогенний для людини». Європейський Союз, США, Китай та Японія вже ухвалили законодавчі норми, що регулюють допустимий рівень викидів формальдегіду з деревних виробів [8]. Кульмінацією стало впровадження у 2017 році найсуворішого стандарту викидів формальдегіду. Нові допустимі рівні викидів залежать від типу продукту, але обмеження (які не можна перевищувати) становлять від 50 до 100 ppb [9], що суттєво підвищило вимоги до деревних клеїв.

Було докладено значних зусиль для зменшення синтетичних (антропогенних) викидів CH_2O із смол — переважно шляхом зниження молярного співвідношення формальдегід/сечовина (F/U), модифікації складу [10,11] та додавання поглиначів формальдегіду [12]. Однак ці методи не вирішують

проблему на кореневому рівні. Альтернативні смоли без додавання формальдегіду (NAF), такі як смоли на основі сої, крохмалю та лігніну, також привернули значну увагу [13,14], але займають незначну частку на ринку через низьку водостійкість, нестабільність та обмежену технологічну придатність [15,16,17].

Останніми роками використання термопластичних смол для склеювання деревини стало перспективним методом виробництва деревних плит завдяки їхнім перевагам: екологічності, гнучкості, водостійкості та технологічній оброблюваності [18,19,20,21,22]. Дослідження термопластиків як деревних клеїв розпочалося у 1990-х роках і вперше було запропоноване доктором Нап із Кіотського університету [23]. Він зазначив, що поліпропілен (PP) та модифікований PP мають унікальні адгезійні властивості при взаємодії з деревними компонентами.

У Китаї вивчення використання різних термопластиків як клеїв для деревини розпочалося в середині 1990-х років за ініціативи професора Wang з Китайської академії лісового господарства [24]. У 2005 році результати досліджень фанери на термопластичному з'єднанні отримали національний патент на винахід Китаю, що підтвердило наявність незалежних прав інтелектуальної власності. У 2006 році продукт було визнано національною ключовою новинкою Китаю.

Методи виготовлення та характеристики деревних плит на основі термопластиків активно досліджуються та вдосконалюються в останні роки [25–35]. Метою цієї роботи є узагальнення сучасного прогресу у сфері деревних композицій на термопластичному з'єднанні з акцентом на технології обробки, механізмах склеювання та фізико-механічних властивостях. Крім того, в роботі окреслено наявні проблеми та майбутні напрями розвитку термопластиків як деревних клеїв.

2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ НА ОСНОВІ ТЕРМОПЛАСТИКІВ

2.1. Сировина

Під дією певного тиску розплавлені термопластики демонструють унікальні адгезійні властивості при взаємодії з деревиною або іншими рослинними компонентами. Для компаундування з деревиною можуть використовуватись як первинні (нові), так і вторинні (перероблені) термопластики, однак температура їх плавлення повинна бути нижчою за температуру термічного розкладу деревини (200 °C).

Серед досліджуваних термопластичних смол — поліпропілен (PP), поліетилен (PE), полівінілхлорид (PVC), полістирол (PS) [35] і полі-β-гідроксибутират (PHB) [36]. Термопластики не містять розчинників і випускаються в різних формах: гранули, порошки, листи, плівки, дроти та блоки. Різні форми деревини, зокрема шпон, деревні частинки та волокна, можуть безпосередньо склеюватися з термопластиками.

У більшості існуючих досліджень для склеювання деревного шпону з метою виготовлення деревно-пластикової фанери найчастіше обирали саме термопластичні плівки [29,33,34,35]. Для склеювання деревних частинок активно використовували як плівки, так і порошки з термопластичних матеріалів [27,31,32].

2.2. Технологія виготовлення деревно-пластикової фанери

Подібно до виробництва комерційно доступних плит середньої щільності (МДФ), деревостружкових плит або фанери, деревні плити на термопластичному з'єднанні можуть виготовлятися за традиційною технологією гарячого пресування [24]. При цьому етап нанесення клею повністю відсутній, проте після вилучення з гарячого преса плиту необхідно негайно піддати холодному пресуванню [35,36,37,38].

Процес виготовлення деревно-пластикової фанери є відносно простим, як показано на рисунку 1. Достатньо розмістити термопластичну плівку між кожними двома шарами деревного шпону, після чого матеріал проходить етапи гарячого та холодного пресування. Під час гарячого пресування термопластична плівка нагрівається та розплавляється, проникаючи в пористу структуру деревного шпону, а потім охолоджується та твердне, утворюючи мікроструктуру інтерфейсної фази у вигляді «клейового цвяха» (рисунок 2). У процесі нагрівання термопластик переходить із рідкого стану в твердий, виконуючи роль деревного клею.

Міцність з'єднання залежить як від умов гарячого пресування, так і від властивостей поверхні деревини. Через особливості термопластичної плівки під час формування інтерфейсу деревини з пластиком неминуче виникає усадка. Залишкові напруження, спричинені усадкою, повинні бути компенсовані під час холодного пресування, інакше при зовнішньому навантаженні може легко виникнути розшарування або руйнування інтерфейсу [39,40].

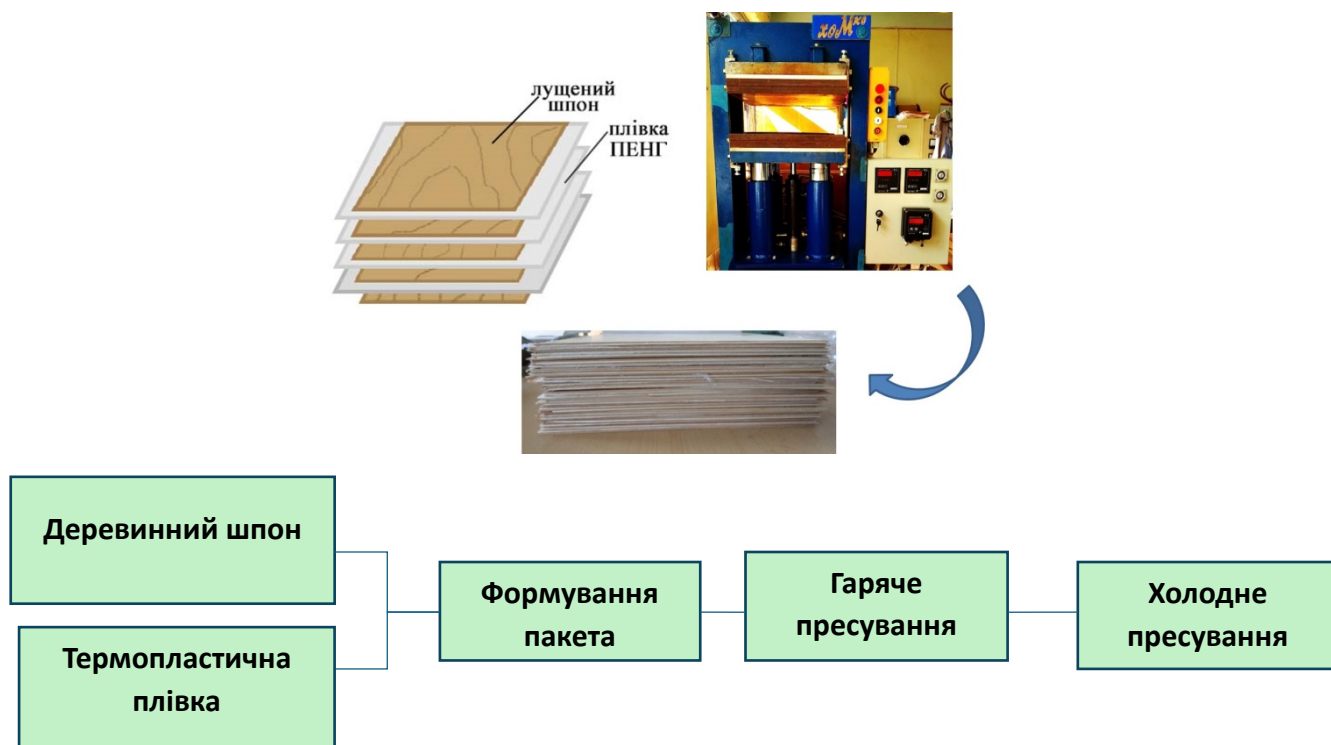


Рисунок 1 – Схема виготовлення деревно-пластикової фанери.

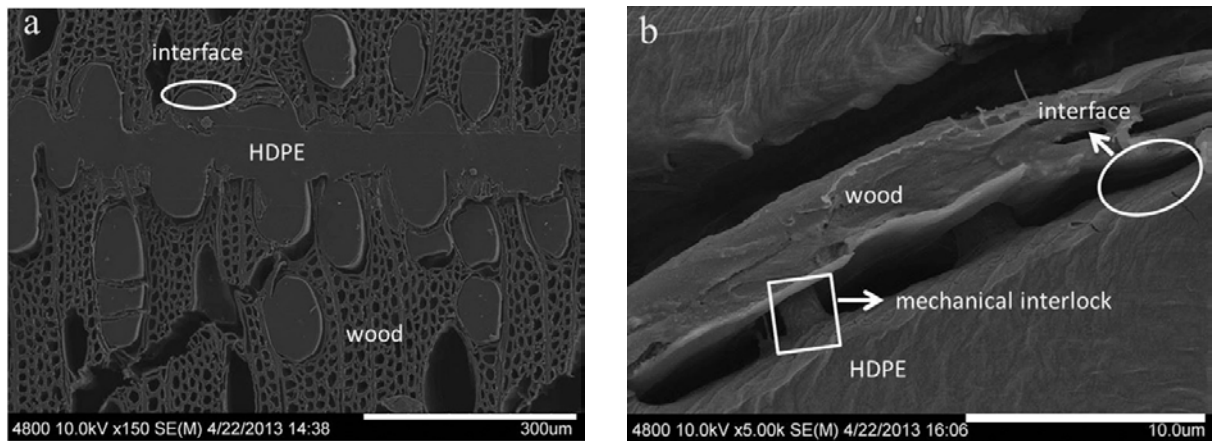


Рисунок 2 – Відтворено за джерелом [26]. Інтерфейс з'єднання між плівкою HDPE (поліетилен високої щільності) та деревним шпоном: (а) збільшення $\times 150$; (б) збільшення $\times 5000$.

2.3. Технологія виготовлення деревно-пластикової стружкової плити

Комбінування деревного борошна з термопластиками за допомогою методів екструзії або лиття під тиском стало стандартною практикою. У деревно-пластикових композитах (WPC), виготовлених за цими двома технологіями, термопластик виступає як суцільна (безперервна) фаза, а деревне борошно — як дисперсна фаза, що забезпечує міцність і жорсткість [41]. WPC-матеріали можуть набувати різних форм, розмірів і кольорів і широко використовуються в промисловості [42].

Однак використання процесу екструзії є обмеженим для великорозмірних частинок через високу вартість обладнання [43], а виготовлення багатовимірних виробів можливе лише методом лиття під тиском [44,45].

Щоб подолати ці обмеження, було розроблено концепцію склеювання деревних частинок термопластиками за допомогою технології гарячого пресування (як показано на рисунку 3) [46–50]. Плити, виготовлені за цією технологією, називаються деревно-пластиковими стружковими плитами.

З одного боку, цей метод має переваги у вигляді вищої продуктивності та нижчого тиску пресування. Частка деревних компонентів у плиті може досягати до 80% за об'ємом, при цьому зберігається природна структура деревини. З іншого боку, за допомогою цієї технології можна отримувати плити великого розміру — довжиною до 2440 мм, шириною 1220 мм і товщиною від 3 до 40 мм [51].

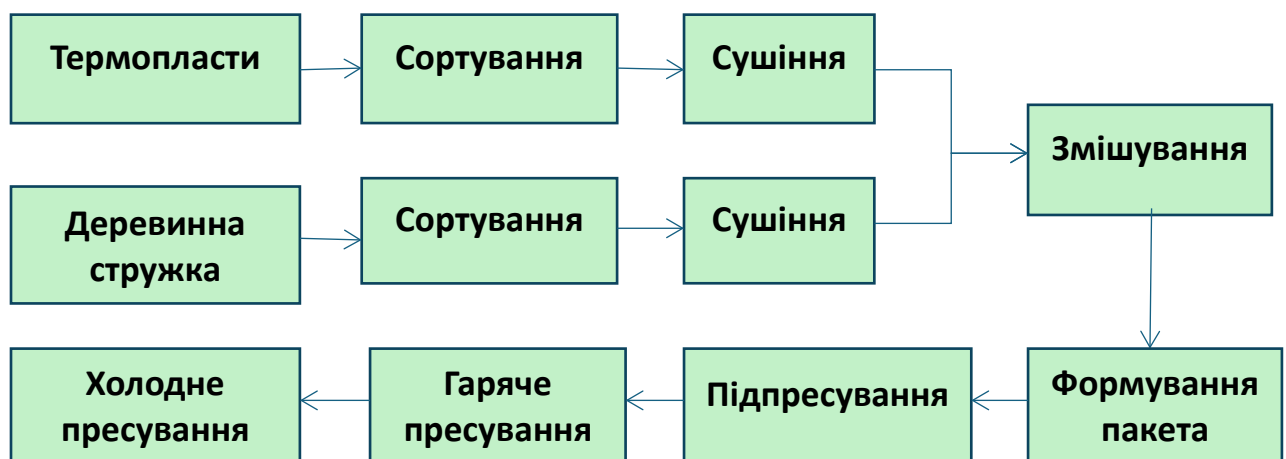


Рисунок 3 – Схема виготовлення деревно-пластикової стружкової плити.

Для деревно-пластикової стружкової плити як матриця можуть використовуватись звичайні деревні тріски або інші тріски, виготовлені з аграрних відходів, таких як бамбук, солома чи стебла бавовнику [52]. Завдяки широкому спектру сировини, отримання однорідної суміші трісок і термопластиків стало одним із ключових аспектів технології виготовлення деревно-пластикових стружкових плит [53,54].

Надзвичайно важливо правильно підібрати вологість, розмір частинок і їхню форму. Загальне правило змішування полягає в тому, що великі тріски слід поєднувати з великими частинками термопластика, а дрібні тріски — з дрібними частинками термопластика. Збільшення співвідношення

довжина/діаметр волокна дає змогу створити більшу площу контакту між волокном і полімерною матрицею, що покращує властивості композиту [55,56].

Qi [31,57] виготовив орієнтовані композити з бавовникових стебел та HDPE (поліетилен високої щільності). Було встановлено, що механічні властивості композитів, виготовлених із довгих волокон бавовнику, у 2–3 рази вищі, ніж у тих, що виготовлені з коротких або гранульованих частинок бавовнику.

Водночас, при використанні вторинного (переробленого) пластику, необхідно також зважати на вартість обробки. Для широко використовуваних пластикових відходів, таких як PE та PP, ідеальним способом підготовки є сортування, очищення та подрібнення перед використанням.

Оскільки під час виготовлення деревно-пластикової стружкової плити не додається жодного клею з початковою липкістю, а деревні частинки та термопластик лише фізично змішуються, їх з'єднання залишається досить слабким і розпорошеним. Тому формування рівномірного мату зі змішаних компонентів та ефективне транспортування під час складання є ще одним важливим викликом у виробництві деревно-пластикових плит [58].

Li та ін. [59] виготовили армовані деревним волокном композити на основі PP за допомогою плоского гарячого пресування та лиття під тиском (compression molding). Результати показали, що при вмісті деревного волокна 80% обидва методи забезпечували хорошу міцність на згин і ударну міцність. При цьому композити, виготовлені методом compression molding, мали вищу щільність і кращу міцність на згин, тоді як плити, отримані методом плоского гарячого пресування, показали кращу змочуваність поверхні та вищу ударну міцність.

Варто зазначити, що ефективне з'єднання деревини з термопластиком можливе лише тоді, коли термопластик достатньо розплавлений, щоб легко проникати в пори деревних трісок. Саме тому етап попереднього підігріву під

низьким тиском є необхідним у процесі виготовлення деревно-пластикових стружкових плит [60].

З метою утилізації аграрних і лісових відходів Не та ін. [52] виготовили композити РР з наповненням у вигляді порошку рисової соломи, лушпиння, деревини та бамбука, а також їх сумішей, використовуючи два методи: змішане пресування (mixed compression molding) та шарове пресування (layered compression molding).

- У методі змішаного пресування поліпропілен спочатку змішували з порошками, а потім формували вироби.
- У методі шарового пресування порошки безпосередньо накладали на плівку РР.

Результати показали, що механічні властивості, водопоглинання та вологопоглинання композитів РР, виготовлених методом змішаного пресування, були кращими, ніж у композитів, виготовлених методом шарового пресування. При змішаному методі наповнювач рівномірно розподіляється в розплавленій матриці РР. Натомість деревні плити, виготовлені методом шарового пресування, мають слабкий інтерфейс між термопластиком і наповнювачем.

3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ, СКЛЕЄНИХ ТЕРМОПЛАСТИКАМИ

Виготовлення деревних плит на термопластичному з'єднанні методом гарячого пресування в лабораторних умовах загалом повторює стандартні промислові процеси виробництва композитів. Отримані вироби за своїми властивостями близькі до комерційної фанери, плит MDF (середньої щільності) та стружкових плит (СП). У порівнянні з плитами, виготовленими з використанням природних клеїв, ці матеріали мають кращу водостійкість та відносно просту технологію обробки.

3.1. Екологічні характеристики

У процесі виготовлення деревних композитів, склеєних термопластиками, термопластики виконують роль деревного клею. Оскільки традиційні формальдегідвмісні клеї повністю замінені, найбільш визначальною рисою таких плит є екологічність.

У таблиці 1 наведено вміст вільного формальдегіду в деревно-пластиковій стружковій плиті, визначений за двома різними методами випробування [58]. Значення, отримані обома методами, значно нижчі, ніж передбачено стандартом *«Граничний рівень виділення формальдегіду з деревно-облицювальних матеріалів і продукції»*.

Варто зазначити, що невелика кількість формальдегіду, яка все ж виявляється у виробках, походить із самої деревини і називається біогенним формальдегідом [61]. Усі органічні компоненти деревини беруть участь у утворенні та вивільненні біологічного формальдегіду, основним джерелом якого є лігнін.

Крім того, було встановлено, що сумарна швидкість виділення летких органічних сполук (TVOC) з деревних плит на основі термопластичних смол

становить лише 0,01 мг/(м²·год), що також значно нижче допустимих значень, зазначених у відповідних стандартах [62,63].

Таблиця 1. Екологічні характеристики деревно-пластикової стружкової плити.

Показник випробування / Метод випробування	Значення тесту	Стандартне значення
Формальдегід / тест перфоратором	0,2 мг/100 г	≤ 9 мг/100 г
Формальдегід / десикаторний тест	0,2 мг/л	≤ 1,5 мг/л
TVOC (загальна летка органічна сполука) / 72 години випаровування	0,01 мг/(м ² ·год)	≤ 0,5 мг/(м ² ·год)

3.2. Фізичні та механічні властивості

3.2.1. Водостійкість

Термопластичні смоли, особливо поліолефінові пластики, зазвичай є гідрофобними матеріалами. Вони не поглинають воду, що забезпечує термопластиково-зв'язаним деревним композитам відмінну водостійкість. Під час процесу склеювання термопласти не лише заповнюють пористу структуру деревини, а й покривають частину гігроскопічної поверхні дерева. В результаті швидкість проникнення води в деревину сповільнюється, а вологість, що проникає в дерево, зменшується відповідно.

Wang та ін. [58] досліджували водостійкість кількох видів деревних плит і виявили, що товщина набухання (TS) термопластиково-зв'язаних плит після 2 та 24 годин була меншою за 3%. Після 2 годин замочування в киплячій воді

внутрішня міцність зчеплення (IBS) таких плит була вищою, ніж у традиційних деревних плит із декоративним шаром з клею.

Fang та ін. [25] показали, що водостійкість фанери, склеєної ПЕ-плівкою, значно краща, ніж у фанери, склеєної уреа-формальдегідною (UF) смолою. Після 168 годин замочування водопоглинання та товщинне розширення фанери з ПЕ-плівкою становили відповідно 85,8% і 7,7%, що на 18,8% та 4,9% менше, ніж у фанери на основі UF смоли.

Завдяки низькому рівню розширення та гарній розмірній стабільності в умовах підвищеної вологості, деревні композити з термопластиками мають широкі перспективи застосування у виробництві цементної опалубки та зовнішній упаковці.

Як показано в Таблиці 2, чим більша кількість термопластикової смоли, тим краща водостійкість деревної плити. Проте надмірне використання термопластику може негативно вплинути на механічні властивості панелі.

Таблиця 2. Водостійкість деяких деревно-пластикових панелей, склеєних термопластиками [25,33,34,65].

Тип плити	Дозування клею	Набрякання за 24 год, (%)	Міцність склеювання, (МПа)/ Клас міцності
СП (тополя) склеєні переробленим ПЕ	30–70%	0,8–8,0	1,0–2,5
СП (тополя) склеєні переробленим ПП	30–70%	1,9–12,0	1,1–2,5
СП (тополя) склеєні переробленим ПС	30–70%	1,3–17,4	4,0–4,4
Фанера (тополя), склеєна ПЕ плівкою	184 г/м ²	5,9	Клас II
Фанера (евкаліпт), склеєна ПП плівкою	150 г/м ²	6,8	Клас I
Фанера (евкаліпт), склеєна ПВХ плівкою	320 г/м ²	—	Клас II
Фанера (тополя), склеєна UF смолою	320 г/м ²	6,5	Клас II
Фанера, склеєна UF смолою (евкаліпт)	320 г/м ²	7,5	Клас II

Для деревно-пластикових плит більшість дослідників вказують, що оптимальна стійкість до вигину досягається при вмісті деревних частинок у діапазоні 40–60%. Для деревно-пластикової фанери, коли товщина плівки перевищує 0,1 мм (дозування клею близько 100 г/м² у подвійній клейовій лінії), вона відповідає вимогам міцності для внутрішніх виробів (тип II).

3.2.2. Механічні властивості

Термопласти мають перевагу унікальної адгезії при композитуванні з деревними компонентами [66,67,68,69]. Оскільки між термопластиками та деревиною не відбувається хімічної реакції, основним механізмом зв'язування у термопластичних деревних композитах є механічне зачеплення.

При виборі певного термопластика як клею для деревини, необхідно визначити відповідну температуру гарячого пресування [22,25,35,70]. Температура гарячого пресування впливає на в'язкість термопластика. Вважається, що чим нижча в'язкість, тим глибше проникнення матеріалу [71]. Зазвичай температура гарячого пресування повинна бути на 15–35 °С вищою за температуру плавлення термопластика, щоб він повністю проник у порожнини та міжклітинні простори деревини, утворюючи більше так званих «клеєвих цвяхів».

Luedtke та співавт. [72] показали, що фанера, склеєна полі(молочною кислотою) (PLA) при температурі вище 160 °С, мала вищу міцність на розрив, ніж при 140 °С. Це пов'язано з тоншою клейовою лінією та більшим переміщенням PLA від неї, що відповідає нижчій в'язкості розплаву за високої температури. Глибше проникнення PLA сприяло кращому фізичному зачепленню PLA з ультраструктурою деревини.

Однак варто звернути увагу, що товщина клейової лінії суттєво впливає на якість і характеристики клею. Якщо температура гарячого пресування

занадто висока, може відбутися надмірне проникнення, що погіршить міцність термопластичних деревних композитів [38,70].

Через високу в'язкість термопластики зазвичай довго досягають повністю розплавленого стану і поступово поширюються по поверхні шпону, завершуючи процес проникнення. Fang та співавт. [37] виготовили фанеру без формальдегіду, використовуючи плівку ПЕ як клей, і встановили, що час та температура гарячого пресування взаємодіють і впливають на міцність фанери на зріз.

Властивості деревних плит, склеєних термопластиками, тісно пов'язані з типом термопластику та його дозуванням, що наведено у Таблиці 3 [25,36,64,66,73].

ПЕ (поліетилен) — один із найпоширеніших термопластиків з простою структурою. Через низьку ціну та хорошу водостійкість він широко вивчається для використання в деревній промисловості [18,25,29,30,57,70,74]. Дослідження показали, що жорсткість ПЕ нижча, ніж у термосетного UF-клею, але пластичність ПЕ дозволяє фанері, склеєній плівкою ПЕ, краще витримувати вигин і має вищий показник міцності на вигин (MOR). Міцність склеювання та модуль пружності фанери зі шпону тополі, склеєної плівкою ПЕ, були приблизно на тому ж рівні, що й у фанери, склеєної UF-клеєм (різниця менше 1%).

Через високу температуру розм'якшення ПЕ та погану сумісність з деревом, фанера з ПЕ-плівкою підходить лише для внутрішнього використання (клас II). При тестуванні за стандартом для зовнішніх матеріалів (трицикловий тест: 4 години кип'ятіння, сушіння 20 годин при 63 °C, повторне кип'ятіння 4 години) плівка ПЕ повністю відділялася від деревини.

Таблиця 3. Механічні властивості фанери, склеєної різними клеями [22,30,35,36,69].

Клей	Температура гарячого пресування (°C)	Міцність зчеплення типу II (МПа)	Міцність зчеплення типу I (МПа)	Міцність на вигин MOR (МПа)	Модуль пружності MOE (МПа)
ПЕ плівка	152	1,5	0	82,8	7480
ПП плівка	180	1,9	1,4	109,3	13 890
ПВХ плівка	183	1,1	0,5	65,1	8600
ПС	140	1,25	—	79,7	5253
РНВ	170	1,19	—	58,3	6001
UF смоли	115–120	1,3–1,4	0	75,7–94,5	7520–13 019

PP (поліпропілен) має кращу стійкість до високих температур, ніж PE, але вимагає більшої енерговитратності при виготовленні плит. Лі та співавт. [75] виготовили фанеру з евкаліпта, використовуючи плівку PP. Міцність на зсув при розтягуванні після зовнішнього старіння становила 1,4 МПа (стандарт вимагає мінімум 0,7 МПа).

Xia [32,76] виготовила орієнтовані композити з бавовняних стебел і PP та HDPE за однакових умов (температура гарячого пресування 185 °C, час 15 хв, щільність 0,7 г/см³). Механічні властивості та водостійкість обох композитів були кращими, ніж у звичайних MDF і СП. Значення міцності на зсув після 24 годин було менше 3%. При фіксованій кількості термопластику 15% статична міцність на вигин, модуль пружності та міцність внутрішнього склеювання орієнтованих PP-композитів становили 60,60 МПа, 5074,4 МПа і 1,48 МПа відповідно, що на 33%, 13% та 13% вище за PE-композити.

При вмісті термопластика понад 15% механічні властивості обох композитів погіршувалися, але водостійкість покращувалася.

ПВХ (полівінілхлорид) має перевагу більш низької ціни та більшої доступності порівняно з РР і РЕ [33,77,78] і успішно застосовується у виробництві фанери.

4. ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ДЕРЕВНИХ ПЛИТ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КЛЕЮ

Фізико-механічні властивості цієї нової без формальдегіду вільної деревної плити можуть задовольняти вимоги міцності для різних застосувань за умови контролю параметрів технологічного процесу. Їхні технологічні та екологічні переваги підтверджують можливість поступової заміни традиційної фанери, СП або MDF.

Однак термопласти мають властивість плавитися і розм'якшуватися при високих температурах. Коли температура наближається або перевищує температуру плавлення термопластика, структура зв'язку між термопластиком і деревиною не зберігається, і міцність плити втрачається [25,79].

При використанні термопластиків як клеїв інша значна проблема — це їхня несумісність з деревиною [18,26,29,36,47]. Як показано на рисунку 2b, на межі з'єднання утворюється великий зазор. Тому поліпшення сумісності між термопластиком і деревним матеріалом, а також підвищення стійкості до високих температур буде ключовим завданням у майбутньому.

Було опубліковано численні огляди, присвячені покращенню взаємодії на межі волокно-пластик [41,80,81,82]. Найпопулярнішими і найбільш докладно описаними методами є: термічна обробка, плазмова обробка, лужна обробка, силанізація, ацетилювання, малеація, акрилювання або обробка ізоціанатами.

Для деревно-пластикових плит методи модифікації, що успішно застосовуються у WPC (деревно-пластикові композити), переважно підходять і тут. Водночас для системи з деревного шпону і пластикової плівки межові методи обмежені через розміри матеріалів.

Ми зосередимось на деяких ефективних методах для деревно-пластикової фанери.

Надання деревному шпону або пластиковій плівці нових хімічних властивостей було доведено як найефективніше рішення [30,83,84]. Zhou та співавт. [29,85] за допомогою промислової плазмової установки атмосферного тиску модифікували поверхню пластикових пакетів, гактивуючи кисневі та азотовмісні функціональні групи. Завдяки підвищенню полярності поверхні та змочуваності була успішно виготовлена формальдегіду вільна фанера з високою міцністю зв'язку (0,82 МПа).

Fang та співавт. [26] ввели біфункціональну структуру гідролізату вінілтриметоксисилану на деревний шпон і встановили хімічний місток між шпоном та плівкою ПЕ. Розмір зазору на межі зменшився до молекулярного масштабу, що призвело до збільшення міцності на зріз на 293,2%. Температура, при якій міцність плити різко знижувалась, підвищилась з 140 до 180 °С, що свідчить про покращення термічної стабільності композиту.

Фізична модифікація також привертає значну увагу через свої унікальні переваги. Для покращення проникнення термопластика у деревину деякі дослідники використовували саморобну машину для прокатування, щоб нанести щільні сліпі отвори на поверхню шпону [86]. Цей метод сприяв утворенню стабільнішої мікроструктури «дендритного клеєвого цвяха» і покращував міцність зв'язку та розмірну стабільність панелі, склеєної ПЕ-плівкою.

Перфорування термопластичної плівки також сприяло збільшенню механічного зачеплення між пластиком і деревиною [87], оскільки пришвидшувало теплопередачу під час гарячого пресування.

Проте ефективність цих методів низька, і міцність самого шпону або плівки може зменшуватися.

Термічна обробка не лише руйнує геміцелюлозу в деревині, а й викликає міграцію або випаровування різних екстрактивних речовин на поверхню деревини [88]. Тому розглядаються альтернативні методи модифікації для

покращення сумісності шпону і гідрофобного термопластика без забруднення навколишнього середовища.

Однак висока температура зазвичай знижує модуль пружності деревини. Ключовою технологією термічної обробки є вибір оптимальних параметрів, таких як температура і середовище обробки, щоб ефективно змінити властивості поверхні шпону, не погіршуючи його механічні характеристики.

До теперішнього часу повідомлялося про покращення розмірної стабільності, вологостійкості та біостійкості [89,90,91], але покращення згинальних властивостей було мінімальним.

У майбутньому необхідно зосередитися на розробці екологічно безпечних методів модифікації з низьким енергоспоживанням і вартістю, які будуть придатні для промислового виробництва. Одночасно потрібно детальніше вивчати механізми різних методів модифікації, щоб розширити знання про розробку високопродуктивних екологічних клеїв для деревини.

5. ВИСНОВКИ

Деревні плити, склеєні термопластиками і виготовлені методом гарячого пресування, мають такі переваги, як відсутність викидів формальдегіду та відмінна водостійкість. Це робить їх ідеальним матеріалом для меблів, підлогового покриття та інших застосувань. На сьогодні проведено велику кількість систематичних досліджень цих нових плит, проте залишаються деякі проблеми, які потребують подальшої уваги.

1. Щодо типів термопластиків, віддають перевагу первинним та вторинним пластикам, серед яких найбільше досліджені поліпропілен (PP) і поліетилен (PE). Температура гарячого пресування для виготовлення композитів досить висока (понад 140 °C). Щоб пом'якшити дефекти, спричинені усадкою пластику, для виготовлення деревних плит, склеєних термопластиком, необхідно додавати обладнання для формування з охолодженням. Загалом виробничі витрати на термопластикові деревні плити вищі, ніж на традиційні плити, склеєні формальдегідними смолами.
2. Несумісність між термопластиком і деревиною негативно впливає на механічні властивості. Через це деревні плити, склеєні термопластиками, можуть застосовуватися переважно у неструктурних конструкціях, які не зазнають навантаження. На сьогодні перевірено багато методів модифікації, які довели свою ефективність у подоланні несумісності гідрофільної деревини та гідрофобних термопластиків, але механізми їх підсилення потребують подальшого вивчення.
3. Для деревно-пластикових плит або плит на основі волокна, склеєних термопластиками, відсутні достатні дані і теоретична підтримка щодо отримання однорідної суміші при мінімальних витратах, забезпечення рівномірного розподілу суміші при формуванні та підборі параметрів холодного пресування залежно від виробничих процесів.

4. Оцінка властивостей деревних плит із термопластиковим клеєм переважно зосереджена на міцності зв'язку, стійкості до згину та водостійкості, тоді як дослідження вогнестійкості, стійкості до плісняви і ультрафіолетового старіння практично відсутні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, J.; Cao, X.; Liu, H. A Review of the Long-term Effects of Humidity on the Mechanical Properties of Wood and Wood-based Products. *Eur. J. Wood Prod.* **2021**, *79*, 245–259.
2. Papadopoulos, A. Advances in Wood Composites. *Polymers* **2019**, *12*, 48.
3. Švajlenka, J.; Kozlovská, M. Evaluation of the Efficiency and Sustainability of Timber-based Construction. *J. Clean. Prod.* **2020**, *259*, 120835.
4. Liu, R.; Liu, M.; Qu, Y.; Huang, A.; Ma, E. Dynamic Moisture Sorption and Formaldehyde Emission Behavior of Three Kinds of Wood-based Panels. *Eur. J. Wood Prod.* **2018**, *76*, 1037–1044.
5. Treu, A.; Bredesen, R.; Bongers, F. Enhanced Bonding of Acetylated Wood with an MUF-based Adhesive and a Resorcinolformaldehyde-based Primer. *Holzforschung* **2020**, *74*, 382–390.
6. Tang, Q.; Tan, H.; Wei, Q.; Cui, H.; Guo, W.; Zhou, G. Preparation of Low Formaldehyde Emission of High-density Fiberboard and Its Properties. *J. For. Eng.* **2019**, *4*, 26–30.
7. Pizzi, A.; Mittal, K.I. *Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded*; Taylor & Francis: Oxfordshire, UK, 2003.
8. Salthammer, T.; Mentese, S.; Marutzky, R. Formaldehyde in the Indoor Environment. *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 2536–2572.
9. Formaldehyde Emission Standards for Composite Wood Products; RIN 2070-AJ44; Environmental Protection Agency (EPA): Washington, DC, USA, 2016.
10. Park, B.; Lee, S.; Roh, J. Effects of Formaldehyde/Urea Mole Ratio and Melamine Content on the Hydrolytic Stability of Cured Urea-melamine-formaldehyde Resin. *Eur. J. Wood Prod.* **2009**, *67*, 121–123.
11. Que, Z.; Furuno, T.; Katoh, S.; Nishino, Y. Effects of Urea-formaldehyde Resin Mole Ratio on the Properties of Particleboard. *Build. Environ.* **2007**, *42*, 1257–1263.

12. Hematabadi, H.; Behrooz, R.; Shakibi, A.; Arabi, M. The Reduction of Indoor Air. Formaldehyde from Wood Based Composites Using Urea Treatment for Building Materials. *Constr. Build. Mater.* **2012**, *28*, 743–746.
13. Pang, H.; Wang, Y.; Chang, Z.; Xia, C.; Han, C.; Liu, H.; Li, J.; Zhang, S.; Cai, L.; Huang, Z. Soy Meal Adhesive with High Strength and Water Resistance Via Carboxymethylated Wood Fiber-induced Crosslinking. *Cellulose* **2021**, *28*, 3569–3584.
14. Karthuser, J.; Biziks, V.; Mai, C.; Militz, H. Lignin and Lignin-Derived Compounds for Wood Applications—A Review. *Molecules* **2021**, *26*, 2533.
15. Pizzi, A. Recent Developments in Eco-efficient Bio-based Adhesives for Wood Bonding: Opportunities and Issues. *J. Adhes. Sci. Technol.* **2006**, *20*, 829–846.
16. Yang, I.; Kuo, M.; Myers, D.; Pu, A. Comparison of Protein-based Adhesive Resins for Wood Composites. *J. Wood Sci.* **2006**, *52*, 503–508.
17. Sellers, T. Wood Adhesive Innovations and Applications in North America. *Forest Prod. J.* **2001**, *51*, 12–22.
18. Fang, L.; Chang, L.; Guo, W.; Wang, Z. Overview on Adhesives and Relevant Modification for Environmentally-Friendly Plywood. *China Wood Ind.* **2012**, *26*, 22–27.
19. Wilkowski, J.; Borysiuk, P.; Górski, J.; Czarniak, P. Analysis of relative machinability indexes of wood particle boards bonded with waste thermoplastics. *Drewno* **2013**, *56*, 139–144.
20. Grinbergs, U.; Kajaks, J.; Reihmane, S. Usage of Ecologically Perspective Adhesives for Wood Bonding. *Sci. J. Riga Technol. Univ. Mater. Sci. Appl. Chem.* **2010**, *22*, 114–117.
21. Kajaks, J.; Reihmane, S.; Grinbergs, U.; Kalnins, K. Use of innovative environmentally friendly adhesives for wood veneer bonding. *Proc. Est. Acad. Sci.* **2012**, *61*, 207–211.
22. Kajaks, J.; Bakradze, G.; Viksne, A.; Reihmane, S.; Kalnins, M.; Krutohvastov, R. The use of polyolefins-based hot melts for wood bonding. *Mech. Compos. Mater.* **2009**, *45*, 643–650.

23. Han, G.S. Preparation and Physical Properties of Moldable Wood-Plastic Composites. Ph.D. Thesis, Kyoto University, Kyoto, Japan, 1990.
24. Wang, Z.; Guo, W. Environment-Friendly Plywood Production Process. CN Patent 1103284C, 5 December 2000.
25. Fang, L.; Chang, L.; Guo, W.; Ren, Y.; Wang, Z. Preparation and Characterization of Wood-plastic Plywood Bonded with High Density Polyethylene Film. *Eur. J. Wood Prod.* **2013**, *71*, 739–746.
26. Fang, L.; Xiong, X.; Wang, X.; Chen, H.; Mo, X. Effects of Surface Modification Methods on Mechanical and Interfacial Properties of High-density Polyethylene-bonded Wood Veneer Composites. *J. Wood. Sci.* **2017**, *63*, 65–73.
27. Lin, T.; Guo, W.; Gao, L.; Chang, L.; Wang, Z. Effect of Cotton Stalk Pattern and Screening Size on Properties of Cotton Stalk/Recycled Plastic Composite Panels. *J. For. Environ.* **2011**, *31*, 5.
28. Lin, T.; Guo, W.; Gao, L.; Wang, Z. Effect of Particle Size on Properties of Cotton Stalk-Recycled Plastic Composites. *J. Southwest For. Univ.* **2011**, *31*, 78–82.
29. Yu, P.; Zhang, W.; Chen, M.; Zhou, X. Plasma-treated Thermoplastic Resin Film as Adhesive for Preparing Environmentally friendly Plywood. *J. For. Eng.* **2020**, *5*, 41–47.
30. Tang, L.; Zhang, Z.; Qi, J.; Zhao, J.; Feng, Y. The Preparation and Application of a New Formaldehyde-free Adhesive for Plywood. *Int. J. Adhes. Adhes.* **2011**, *31*, 507–512.
31. Qi, C.S. Fabrication of Oriented Biomass-High Density Polyethylene Composites using Hot Pressing Process and Its Molding Mechanism. Ph.D. Thesis, Northwest A&F University, Xianyang, China, 2013.
32. Xia, N. Fabrication and Manufacturing Mechanism of Oriented Cotton Stalk-Polypropylene Film Boards. Ph.D. Thesis, Northwest A&F University, Xianyang, China, 2013.

33. Wang, D.D. A Study of the Manufacturing and Strengthening Mechanism of Composite Materials Made from Eucalyptus Veneer and Polyvinyl Chloride (PVC) Film. Ph.D. Thesis, Beijing Forestry University, Beijing, China, 2016.
34. Li, X.F. Research on the Pressing Crafts and Strengthening Mechanism of Composite Materials from Eucalyptus Veneer and Polypropylene (PP) Film. Ph.D. Thesis, Beijing Forestry University, Beijing, China, 2015.
35. Demirkir, C.; Öztürk, H.; Çolakoğlu, G. Effects of Press Parameters on Some Technological Properties of Polystyrene Composite Plywood. *Kast. Univ. J. For. Fac.* **2017**, *17*, 517–522.
36. Chen, Z.; Wang, C.; Cao, Y.; Zhang, S.; Song, W. Effect of Adhesive Content and Modification Method on Physical and Mechanical Properties of Eucalyptus Veneer–Poly- γ -Hydroxybutyrate Film Composites. *For. Prod. J.* **2018**, *68*, 419–429.
37. Fang, L.; Chang, L.; Guo, W.Z. Analysis of Optimization Manufacturing Technology of Poplar Plywood Glued with High Density Polyethylene Film. *China Wood Ind.* **2013**, *27*, 17–20.
38. Fang, L.; Zeng, J.; Liao, X.; Zou, Y.; Shen, J. Tensile Shear Strength and Microscopic Characterization of Veneer Bonding Interface with Polyethylene Film as Wood Adhesive. *Sci. Adv. Mater.* **2019**, *11*, 1223–1231.
39. Kucher, M.; Yakovleva, O.; Chyzhyk, J. Thermal Expansion and Shrinkage of Unidirectional Composites at Elevated Temperatures. *Strength Mater.* **2020**, *52*, 790–797.
40. Peng, X.; Zhang, Z. Hot-pressing Composite Curling Deformation Characteristics of Plastic Film-reinforced Pliable Decorative Sliced Veneer. *Compos. Sci. Technol.* **2018**, *157*, 40–47.
41. Wang, H.; Zhang, X.; Guo, S.; Liu, T. A Review of Coextruded Wood–plastic Composite. *Polym. Compos.* **2021**, *42*, 4174–4186.
42. Zhang, L.; Chen, Z.; Dong, H.; Fu, S.; Ma, L.; Yang, X. Wood Plastic Composites Based Wood Wall’s Structure and Thermal Insulation Performance. *J. Bioresour. Bioprod.* **2021**, *6*, 65–74.

43. Chen, H.; Chen, T.; Hsu, C. Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. *Eur. J. Wood Prod.* **2006**, *64*, 172–177.
44. Ayrilmis, N.; Benthien, J.; Thoemen, H.; White, R. Effects of fire retardants on physical, mechanical, and fire properties of flat-pressed WPCs. *Eur. J. Wood Prod.* **2012**, *70*, 215–224.
45. Benthien, J.; Thoemen, H. Effects of Raw Materials and Process Parameters on the Physical and Mechanical Properties of Flat Pressed WPC Panels. *Compos. Part A Appl. Sci.* **2012**, *43*, 570–576.
46. Ayrilmis, N.; Jarusombuti, S. Flat-pressed Wood Plastic Composite as an Alternative to Conventional Wood-based Panels. *J. Compos. Mater.* **2011**, *45*, 103–112.
47. Friedrich, D. Thermoplastic Moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A Review on Physical and Mechanical Behaviour under Hot-pressing Technique. *Compos. Struct.* **2021**, *262*, 113649.
48. Borysiuk, P.; Zbieć, M.; Jencyk-Tołłoczko, I.; Jabłoński, M. Thermoplastic bonded composite chipboard Part 1—Mechanical properties. In *Proceedings of the 8th International Science Conference: “Chip and Chipless Woodworking Processes”*, Zvolen, Slovakia, 6–8 September 2012; pp. 393–398.
49. Zbieć, M.; Borysiuk, P.; Mazurek, A. Thermoplastic bonded composite chipboard Part 2—Machining tests. In *Proceedings of the 8th International Science Conference: “Chip and Chipless Woodworking Processes”*, Zvolen, Slovakia, 6–8 September 2012; pp. 399–405.
50. Borysiuk, P.; Wilkowski, J.; Krajewski, K.; Auriga, R.; Skomorucha, A.; Auriga, A. Selected Properties of Flat-pressed Woodpolymer Composites for High Humidity Conditions. *Bioresources* **2020**, *15*, 5156–5178.
51. Satyanarayana, K.; Arizaga, G.; Wypych, F. Biodegradable Composites Based on Lignocellulosic Fibers—An Overview. *Prog. Polym. Sci.* **2009**, *34*, 982–1021.

52. He, C.; Hou, R.; Xue, J.; Zhu, D. Performances of PPWood-plastic Composites with Different Processing Methods. *Trans. CSAE* **2012**, *28*, 145–150.
53. Schmidt, H.; Benthien, J.; Thoemen, H. Processing and Flexural Properties of Surface Reinforced Flat Pressed WPC Panels. *Eur. J. Wood Prod.* **2013**, *71*, 591–597.
54. Guo, W.; Wang, Z. Application and Production Technology of Wood Plastic Particleboard. *China Wood-Based Panels* **2014**, *7*, 1–4.
55. Rahman, K.; Islam, M.; Ratul, S.; Dana, N.; Musa, S.; Hannan, M. Properties of Flat-pressed Wood Plastic Composites as A Function of Particle Size and Mixing Ratio. *J. Wood Sci.* **2018**, *64*, 279–286.
56. Migneault, S.; Koubaa, A.; Erchiqui, F.; Chaala, A.; Englund, K.; Wolcott, M. Effects of Processing Method and Fiber Size on the Structure and Properties of Wood-plastic Composites. *Compos. Part A Appl. S.* **2009**, *40*, 80–85.
57. Qi, C.; Guo, K.; Gu, R.; Liu, Y. Preparation Technology of Oriented Cotton Stalk Bunches/High Density Polyethylene Composite Panels. *Trans. CSAE* **2010**, *26*, 265–300.
58. Wang, Z.; Guo, W.; Gao, L. Properties, Applications and Development Trends of Wood-plastic Composite Particleboard. *China Wood-Based Panels* **2005**, *5*, 12–16.
59. Li, Z.; Wang, W. Preparation and Properties of Polypropylene Based Composites with High Wood Fibers Content. *J. For. Eng.* **2017**, *2*, 9–15.
60. Borysiuk, P.; Mamiński, M.; Parzuchowski, P.; Zado, A. Application of Polystyrene as Binder for Veneers Bonding—The Effect of Pressing Parameters. *Eur. J. Wood Prod.* **2010**, *68*, 487–489.
61. Tasooji, M.; Wan, G.; Lewis, G.; Wise, H.; Frazier, C. Biogenic Formaldehyde: Content and Heat Generation in the Wood of Three Tree Species. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2017**, *5*, 4243–4248.
62. Indoor Decorating and Refurbishing Materials—Limit of Formaldehyde Emission of Wood-based Panels and Finishing Products; GB 18580-2001; Standardization Administration: Beijing, China, 2001.

63. Technical Requirement for Environmental Labeling Products Wood Based Panels and Finishing Products; HJ 571-2010; Standardization Administration: Beijing, China, 2010.
64. Xia, N.; Chen, X.; Guo, K. Optimal Film Content Improving Mechanical and Water Absorption Properties of Oriented Cotton Stalk-plastic Boards. *Trans. CSAE* **2015**, 31, 303–309.
65. Wang, Z.; Zhao, X.; Guo, W. Process Factors and Performances of Recycled Plastic-Wood Fiber Composites. *J. Beijing For. Univ.* **2005**, 27, 1–5.
66. Bekhta, P.; Müller, M.; Hunko, I. Properties of Thermoplastic-Bonded Plywood: Effects of the Wood Species and Types of the Thermoplastic Films. *Polymers* **2020**, 12, 2582.
67. Sun, Y.; Guo, L.; Liu, Y.; Wang, W.; Song, Y. Glue Wood Veneer to Wood-fiber-high-density-polyethylene Composite. *Int. J. Adhes. Adhes.* **2019**, 95, 102444.
68. Liu, Y.; Li, X.; Wang, W.; Sun, Y.; Wang, H. Decorated Wood Fiber/high Density Polyethylene Composites with Thermoplastic Film as Adhesives. *Int. J. Adhes. Adhes.* **2019**, 95, 102391.
69. Shen, T.; Sun, Y.; Liu, Y.; Wang, W.; Shan, W. Study on Preparation and Adhesion Property of Veneer Overlaid Wood Flour/high Density Polyethylene Composites. *J. For. Eng.* **2020**, 5, 101–107.
70. Chang, L.; Tang, Q.; Gao, L.; Fang, L.; Wang, Z.; Guo, W. Fabrication and Characterization of HDPE Resins as Adhesives in Plywood. *Eur. J. Wood Prod.* **2016**, 76, 325–335.
71. Kamke, F.; Lee, J. Adhesive Penetration in Wood—A review. *Wood Fiber Sci.* **2007**, 39, 205–220.
72. Luedtke, J.; Gaugler, M.; Grigsby, W.; Krause, A. Understanding the Development of Interfacial Bonding within PLA/wood-based Thermoplastic Sandwich Composites. *Ind. Crop. Prod.* **2019**, 127, 129–134.
73. Fang, L.; Yin, Y.; Han, Y.; Chang, L.; Wu, Z. Effects of Number of Film Layers on Properties of Thermoplastic Bonded Plywood. *J. For. Eng.* **2016**, 1, 45–50.

74. Bekhta, P.; Sedliačik, J. Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers* **2019**, *11*, 1166.
75. Li, X.; Ren, C.; Wei, W.; Zhang, S. Pressing Crafts and Mechanical Properties of Eucalyptus Veneer/Polypropylene (PP) Film Composites. *J. Northeast For. Univ.* **2015**, *43*, 87–90.
76. Xia, N.; Chen, Q.; Guo, K. Fabrication Technology Optimization of Oriented Cotton Stalk-polypropylene Film Boards. *Trans. CSAE* **2015**, *31*, 308–314.
77. Gao, Y.L. Process Optimization of Plywood Made of PVC Film and Eucalyptus Veneer. Master's Thesis, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, China, 2018.
78. Wu, Y. Process Optimization of PVC Film and Eucalyptus Veneer to Prepare Composite Plywood. *Int. Wood Ind.* **2020**, *50*, 62–67.
79. Tian, F.; Chen, L.; Xu, X. Dynamical Mechanical Properties of Wood-High Density Polyethylene Composites Filled with Recycled Rubber. *J. Bioresour. Bioprod.* **2021**, *6*, 152–159.
80. Peng, X.; Zhang, Z.; Zhao, L. Analysis of Raman Spectroscopy and XPS of Plasma Modified Polypropylene Decorative Film. *J. For. Eng.* **2020**, *5*, 45–51.
81. George, J.; Sreekala, M.; Thomas, S. A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites. *Polym. Eng. Sci.* **2001**, *41*, 1471–1485.
82. Mohit, H.; Arul Mozhi Selvan, V. A comprehensive review on surface modification, structure interface and bonding mechanism of plant cellulose fiber reinforced polymer based composites. *Compos. Interfaces* **2018**, *25*, 629–667.
83. Xia, N.; Li, F.; Liu, K.; Shao, Y.; Xing, S.; Guo, K.Q. Effects of Coupling Agents on the Properties of Cotton Stalk-polypropylene Film Boards. *Bioresources* **2020**, *15*, 8617–8630.
84. Wei, S.; Zhang, S.; Fei, B.; Zhao, R. Effect of Monomer Type on Polydopamine Modification of Bamboo Flour and the Resulting Interfacial Properties of Bamboo Plastic Composites. *Ind. Crop. Prod.* **2021**, *171*, 113874.

85. Zhou, X.; Cao, Y.; Yang, K.; Yu, P.; Chen, W.; Wang, S.; Chen, M. Clean Plasma Modification for Recycling waste Plastic Bags: From Improving Interfacial Adhesion with Wood Towards Fabricating Formaldehyde-free Plywood. *J. Clean. Prod.* **2020**, 269, 122196.
86. Ye, C.; Yang, W.; Xu, J.; Chen, Z.; Liao, R.; Zhong, Z. Hot-pressing Technology of Formaldehyde-free Plywood Made by Veneers with Rolling Holes and High-density Polyethylene Film. *J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.)* **2015**, 43, 76–82.
87. Li, Z.; Qi, X.; Gao, Y.; Zhou, Y.; Chen, N.; Zeng, Q.; Fan, M.; Rao, J. Effect of PVC Film Pretreatment on Performance and Lamination of Wood-plastic Composite Plywood. *RSC Adv.* **2019**, 9, 21530–21538.
88. Gu, L.; Ding, T.; Jiang, N. Development of Wood Heat Treatment Research and Industrialization. *J. For. Eng.* **2019**, 4, 1–11.
89. Ayrilmis, N.; Jarusombuti, S.; Fueangvivat, V.; Bauchongko, P. Effect of Thermal-Treatment of Wood Fibres on Properties of Flat-pressed Wood Plastic Composites. *Polym. Degrad. Stabil.* **2011**, 96, 818–822.
90. Follrich, J.; Muller, U.; Gindl, W. Effects of Thermal Modification on the Adhesion between Spruce Wood and a Thermoplastic Polymer. *Eur. J. Wood Prod.* **2006**, 64, 373–376.
91. Fang, L.; Chang, L.; Guo, W.; Chen, Y.; Wang, Z. Effect of High Temperature on Properties of Wood/Plastic Plywood. *China Wood Ind.* **2014**, 28, 5–8.