

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну

Кафедра технологій деревинних композиційних матеріалів,
целюлози та паперу

УДК 630*816.2

Пояснювальна записка
до дипломної роботи магістра на тему:
**Аналіз властивостей деревинно-полімерних
матеріалів різних способів опорядження**

Виконав: студент групи ТДКМ-61м
Винник Р.І. Винник Р.І.
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент ТДКМ
Ортинська Г.Є. Ортинська Г.Є.
(підпис)

Рецензент: к.т.н. доц. каф. ТЗКСДВМ
(посада, вчене звання, науковий ступінь)
Сошар Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Львів – 2024

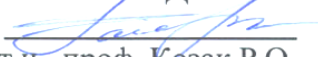
Згідно з формою № Н-9.01
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

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 .

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача 
д.т.н., проф. Козак Р.О.
“ ” 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Виннику Ростиславу Ігоровичу .

1. Тема роботи І8 Аналіз властивостей деревинно-полімерних матеріалів різних способів опорядження к.т.н., доцент ТДКМ Ортинська Галина Євгенівна., затверджені наказом університету від “ 24 ” липня 2024 року № С-477 .
2. Термін подання студентом роботи 16.12.2024 р. .
3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати сировину, способи для виготовлення деревинно-полімерних матеріалів та їх вплив на фізико-механічні властивості. Розглянути способи, що можна застосовувати для опорядження ДПМ, а також проаналізувати їхній вплив на властивості ДПМ .
1. Стан питання та завдання дослідження .
2. Способи опорядження та їх теоретичні перелумови .
3. Способи опорядження ДПМ та їх вплив на властивості .
4. Висновки та рекомендації .
5. Дата видачі завдання 24.07.2024 р. .

Студент  Винник Р.І. .

Керівник роботи  Ортинська Г.Є. .

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі магістра на тему «Аналіз властивостей деревинно-полімерних матеріалів різних способів опорядження», проаналізовано та досліджено як можуть впливати спосіб опорядження на властивості деревинно-полімерних матеріалів.

Дипломна робота магістра складається з трьох розділів.

У першому розділі проаналізовано стан та перспективи розвитку деревинно-полімерних матеріалів. Розглянуто деревинну сировину, термопласти та модифікувальні речовини для виготовлення ДПМ та їх вплив властивості ДПМ. Проаналізовано способи виготовлення ДПМ. Наведено основні переваги та недоліки.

У другому розділі наведено способи опорядження деревини та полімерів. Описано їх особливості. Розглянуто основні теоретичні аспекти формування адгезійних зв'язків.

У третьому розділі приведено вплив способів опорядження на фізико-механічні властивості ДПМ.

Також наведено висновки та рекомендації, список використаної літератури та додатки.

Загальний обсяг дипломної роботи складає 63 сторінки, з них 53 сторінок основного тексту, список літератури із 58 назв та 1 додатку.

Ключові слова: опорядження, деревинно-полімерні матеріали, властивості, обробка плазмою, личкування.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1. Стан та перспективи розвитку виробництва деревинних полімерних матеріалів	7
1.2. Аналіз деревинної сировини для виготовлення ДПМ	11
1.3. Термопласти та модифікувальні речовини	17
1.4. Аналіз способів виготовлення деревинно-полімерних матеріалів	21
1.5. Висновки	26
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ОПОРЯДЖЕННЯ ТА ЇХ ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ	28
2.1 Основні способи опорядження деревини та полімерів	28
2.2. Опорядження деревинних композиційних матеріалів	32
2.3. Адгезія: основні теорії та фактори, що впливають на процес опорядження	33
РОЗДІЛ 3. ВЛАСТИВОСТІ ОПОРЯДЖЕНИХ ДПМ	39
3.1. Особливості опорядження деревинно-полімерних матеріалів	39
3.2. Вплив різних лічкувальних матеріалів на властивості деревинно-полімерних матеріалів	41
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТКИ	54

ВСТУП

Щорічно попит на деревинні термопластичні полімерні матеріали (ДПМ) збільшується на 20%. ДПМ зазвичай містять 45-60% деревини, 35-50% термопластичного полімеру, такого як поліетилен, ізотактичний поліпропілен і полівінілхлорид. Крім цих основних компонентів, технологічні добавки, такі як мастильні матеріали часто додають у невеликих кількостях (1-5%), щоб зменшити тертя між матрицею та розплавленим полімером. В основному ДПМ виготовляються методом екструзії. У цьому процесі використовується деревина, полімер і добавки пропускають через нагріту бочку і перемішують обертовими шнеками. Остаточна форма матеріалу надається матрицею. Інша поширена обробка технології включають лиття під тиском і пресування.

ДПМ традиційно продаються як матеріали, що не потребують опорядження. В результаті велика частина досліджень ДПМ була присвячена вдосконаленню механіки ефективність при одночасному захисті ДПМ від біодеградації та атмосферних впливів майже не розглядаються.

Однак ДПМ набувають все більшої популярності в екстер'єрі. Однак атмосферостійкість ДПМ обумовлює необхідність розробки оздоблення поверхні, яке забезпечувало б як захист, так і естетику.

Найпростішим методом захисту ДПМ від атмосферних впливів є застосування захисного покриття. Хоча технології покриття доступні для деревини та поліолефінів, для ДПМ на даний момент немає остаточної технології покриття.

Багато дослідників намагалися здійснити опорядження деревинно-полімерних полімерів та досліджували їх властивості. Дані дослідження необхідні для розробки раціонального покриття технологія для ДПМ. Щоб спроектувати оптимальну систему покриття, поверхню властивості ДПМ повинні бути добре відомі. Тому досить важливим є ретельне вивчення фізичних і тому необхідні хімічні властивості поверхні ДПМ.

Крім того, адгезію покриттів до ДПМ можна покращити за допомогою попередньої обробки поверхні. Проте всебічної оцінки всіх потенційних поверхневих обробок до теперішнього часу не виконано. Адже різні способи опорядження поверхні впливатимуть на властивості деревинно-полімерного матеріалу.

Метою роботи – аналіз властивостей деревинно-полімерних матеріалів різних способів опорядження.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути перспективи розвитку виробництва деревинних полімерних матеріалів та провести аналіз різних способів їх виготовлення;
- проаналізувати методи опорядження для ДПМ;
- розглянути вплив способів опорядження на властивості ДПМ.

Апробація результатів магістерської роботи. Матеріали роботи доповідались і обговорювались на студентській конференції Національного лісотехнічного університету, м. Львів, 2023.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Стан та перспективи розвитку виробництва деревинних полімерних матеріалів

Завдяки глобальному усвідомленню проблем впливу на навколишнє середовище та мінімізації викидів шкідливих забруднюючих речовин, промисловість деревинних композиційних матеріалів шукає більш екологічні матеріали для своєї продукції. Завдяки використанню переробленого полімеру та відходів на основі деревини, виробництво деревинних полімерних матеріалів (ДПМ) можна вважати екологічною технологією [1].

Концепція ДПМ не є новою, оскільки її сучасне застосування почалося в 1970-х роках, а з 1990-х років популярність ДПМ у Північній Америці зростає через виробництво настилу та перил [2].

Деревинні полімерні матеріали - це композитні вироби, виготовлені з використанням рослинних (деревинних або недеревинних) борошна, волокон, стружки та термопластичних або термореактивних полімерів і невеликої кількості добавок (рис 1.1). ДПМ мають ряд переваг: покращені механічні показники із вищою міцністю та жорсткістю, зменшена щільність та стирання порівняно з композитами із неорганічним наповнювачем [3,4,5] і порівняно з масивною деревиною, вища водостійкість та стійкість до гниття, кращі акустичні характеристики, менша вага, нижчі виробничі витрати та біоруйнування [6, 7]. Вони знаходять широке застосування в автомобільній, суднобудівельній та будівельній промисловості (рис.1.2).

Деревинні полімерні матеріали все частіше використовуються в будівництві. ДПМ використовуються для покрівлі, а також для виготовлення вікон, меблів та ін. У країнах, що розвиваються, ДПМ замінюють масивну деревину для покрівлі через їх високу міцність.

Крім того, під час виготовлення ДПМ застосовується нижча температура пресування порівняно зі звичайними деревинними композиційними матеріалами, що знижує витрати енергії, а також зменшує вплив продукту на навколишнє середовище.



Рисунок 1.1. Загальний склад ДПМ

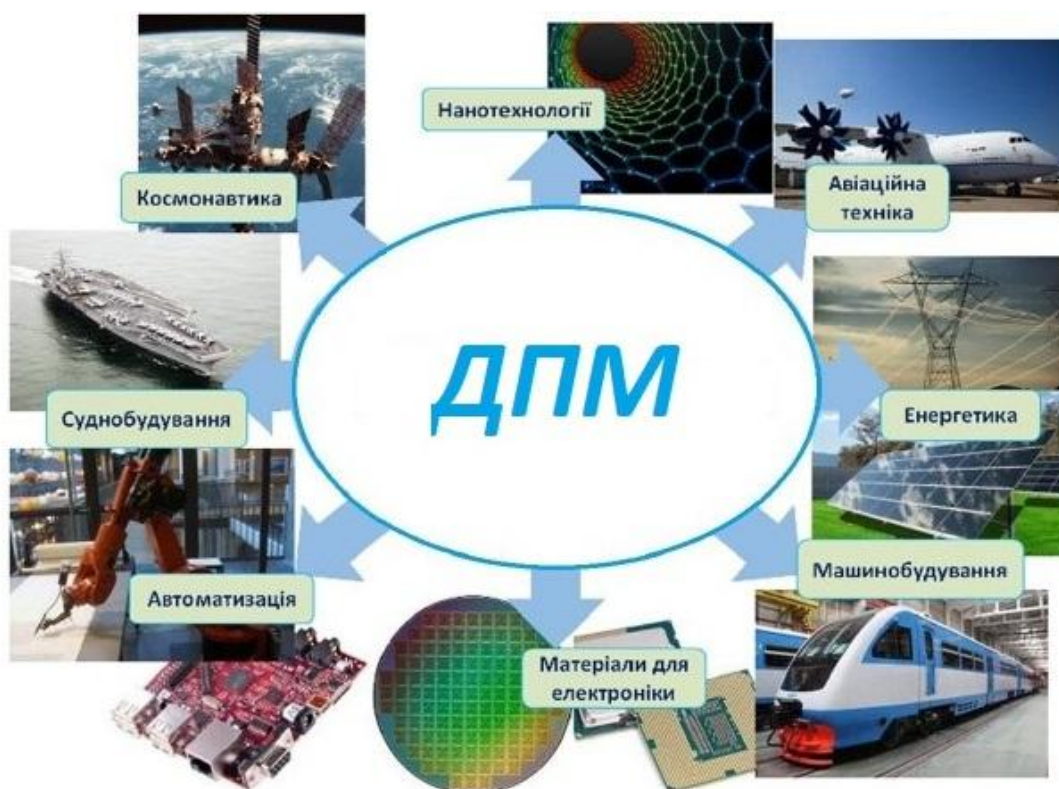


Рисунок 1.2. Сфери застосування ДПМ

ДПМ можна обробляти тими ж інструментами, що й дерев'яні вироби. Цей фактор усуває додаткові інвестиції для виробників, і ризики, пов'язані з їх поверненням.

Загалом, процеси виробництва ДПМ: екструзія, лиття під тиском і пресування або термоформування (пресування) [2]. Крім того, новітні технології виробництва є адитивними, заснованими на процесах екструзії та з лазерним спіканням [2, 8, 9, 10, 11]. Виготовлення може виконуватися в екструдері (одношнековий екструдер, двошнековий екструдер, конічний двошнековий екструдер або екструдер комбінованого типу) способом плоского гарячого пресування в пресах [11, 12]. Параметри пресування при цьому залежать від типу термопластичного полімеру та конфігурації поверхні. Зокрема, таким чином виготовляють плити OSB, MDF.

Адитивне виробництво або 3D-друк складається з трьох загальних кроків: використання системи автоматизованого проектування (CAD) для моделювання деталі, обробка моделювання в 3D-просторі за допомогою програмного забезпечення для нарізки, а також з друком G-кодів і виробництвом деталі [12]. У промислових масштабах промисловість, яка виробляє ДПМ, або сама з'єднує всю сировину, тобто деревний наповнювач, полімери, добавки.

Завдяки значним перевагам ДПМ, обсяг їх світового ринку оцінювався в 7,97 мільярдів доларів США в 2024 році та, за прогнозами, зростатиме на 11,6% з 2025 по 2032 рік (рис.1.3). Ринок обумовлений зростаючим попитом на стійкі будівельні матеріали, а також збільшенням обсягів ремонту та ремонту. ремонтні роботи в житловому секторі по всьому світу [15, 16, 17, 18].

Ринок ДПМ можна класифікувати залежно від полімеру, що використовується на: поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид та інші. Сегмент поліетилену привернув значний інтерес як в науковців, так і в технологічній сферах, оскільки він може поєднувати властивості деревини з універсальністю, технологічністю та механічними властивостями

поліетилену. У випадку застосування поліетилену, відповідно до вимог і потреб, ДПМ можна формувати в різні форми та розміри. Отже, завдяки цьому він має велике застосування у виготовленні дверей і вікон, що надасть гарного вигляду та тонкого полірування. Крім того, ДПМ є перспективним і економічно вигідним заміником фанери завдяки своїм різноманітним характеристикам [16].

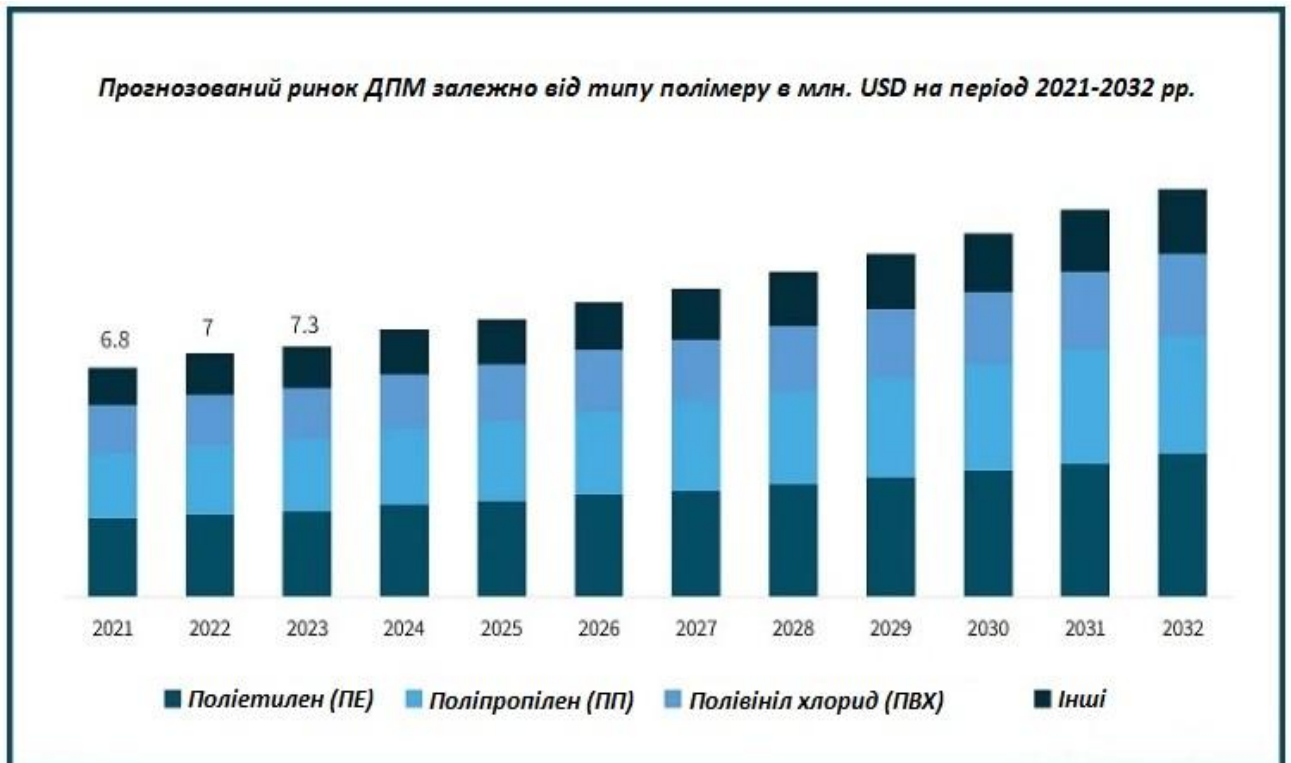


Рисунок 1.3. Прогнозування ринку ДПМ [18]

Чинники, що сприяють цьому потужному зростанню, включають екологічно чисті властивості матеріалу, його переваги перед традиційними деревинними композиційними матеріалами та зростаючий ринок товарів для зовнішнього застосування. Крім того, ремонт та реконструкції житлових приміщень у поєднанні з широким зростанням будівництва та розвитку інфраструктури в усьому світі просунули ринок ДПМ вперед [1, 18].

Деревинні полімерні матеріали мають дуже високий потенціал і є екологічно чистими матеріалами для досягнення довговічності без

надмірного використання токсичних хімічних речовин. У порівнянні з іншими волокнистими матеріалами, рослинні волокна, як правило, придатні для армованого пластику завдяки їх відносно високій жорсткості та міцності, низькій вартості, здатності до біологічного розкладання, низькій щільності, низьким викидам CO₂ та сировині, що щорічно відновлюються.

1.2. Аналіз деревинної сировини для виготовлення ДПМ

Подрібнена деревина є складним матеріалом із точки зору хімічного складу та неоднорідним за фізичними властивостями. Властивості композиційного матеріалу значною мірою залежать від характеристик деревинного наповнювача: його форми, розмірів та вологості. У виробництві термопластів можуть використовуватися різні види наповнювачів. Наприклад, у літературі [19] пропонується застосовувати деревинну муку (дисперсність 0,01–1 мм), тирсу (1–10 мм), рідше стружку (10–20 мм) та деревинні волокна (рис. 1.4.). Великі частинки наповнювача сприяють підвищенню шорсткості поверхні кінцевого матеріалу.

Дослідження композиційних матеріалів (КМ) із вмістом клею 35 % показали, що збільшення розмірів деревинних частинок призводить до покращення фізико-механічних властивостей. Зокрема, міцнісні характеристики матеріалу на основі поліметилметакрилату (ПММА) в 1,3–1,5 рази вищі, ніж у матеріалів на основі поліетилену низького тиску (ПЕНТ) [20]. Однак використання деревинного наповнювача великих розмірів також супроводжується зростанням водопоглинання та набрякання композиційного матеріалу, хоча це й підвищує його міцність на згин і розтяг.



Рисунок 1.4. Загальний вигляд сировини

Рекомендовано використовувати деревинну стружку фракційного та породного складу, аналогічного тому, що застосовується у виробництві стружкових плит (СП). Для хвойних порід оптимальними є розміри стружки: довжина 3–30 мм, ширина 0,3–30 мм, товщина 0,5–1,8 мм. Стружка має бути висушена до вологості 2–3%, оскільки вологий деревинний наповнювач гірше просочується клеєм під час пресування. Крім того, підвищена вологість спричиняє нерівномірний розподіл внутрішніх напружень, що негативно позначається на властивостях кінцевого матеріалу.

Дослідження також показали, що при вологості композиційного матеріалу на основі подрібненої деревини та полівінілхлориду (ПВХ), яка перевищує 1,5%, властивості виробів суттєво погіршуються.

Для виготовлення ДПМ можна використовувати тирсу з розмірами частинок: довжина 3–8 мм, ширина 1–3 мм, товщина 0,1–0,25 мм. Оптимальне співвідношення порід деревини складає 60–70% хвойних і 30–40% листяних [21, 22].

При збільшенні довжини частинок деревинного наповнювача спостерігається підвищення міцності при статичному згині та ударної в'язкості. Максимальні значення міцності при статичному згині досягаються при використанні частинок довжиною до 40 мм.

Порода деревини має незначний вплив на якість деревино-полімерної композиції. Водночас найбільше значення мають форма і розміри частинок наповнювача, які визначають фізико-механічні властивості кінцевого матеріалу.

Значна кількість досліджень [23, 24, 25, 26, 27] присвячена використанню деревинного борошна як наповнювача, з розмірами частинок від 0,1 до 1 мм. Водночас виготовлення такого наповнювача вимагає використання спеціалізованого обладнання, що може ускладнювати виробничий процес.

Для досягнення задовільних фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу, вміст деревинного борошна в складі композиції не повинен перевищувати 50%. Перевищення цього рівня може негативно вплинути на характеристики кінцевого матеріалу.

Широке застосування знайшло використання відходів деревообробних виробництв, зокрема тирси [19, 23, 24, 27, 28]. У дослідженні [29] була використана соснова тирса, яку сортували на три фракції за розмірами: до 2 мм (середній розмір ~1 мм), від 2 до 5 мм (середній розмір ~3 мм) і понад 5 мм (середній розмір ~6 мм). Як матрицю застосовували вторинний поліпропілен (ВПП), отриманий шляхом подрібнення пакувальних стрічок (середній розмір частинок ~5 мм). Ступінь наповнення композиції задавали в межах 30–60 мас. %.

Із підвищенням ступеня наповнення вплив швидкості зсуву на дотичні напруження суттєво знижується. Водночас відносні зміни межі текучості композиції ВПП+тирса зі збільшенням наповнення є менш значними, ніж зміни коефіцієнтів консистенції. Це вказує на те, що композиція з високим вмістом тирси демонструє покращені реологічні властивості, хоча й зі зниженням текучості.

Максимальні значення межі міцності під час статичного та динамічного згинів спостерігаються в ДПМ, виготовлених на основі деревинних частинок розміром 0,5–1,0 мм. Протидія стиску досягає найвищих показників під час

використання частинок розміром 0,25–1,0 мм. Зі зменшенням розміру деревинних частинок відбуваються такі позитивні зміни: збільшується площа контакту між частинками деревини та полімером, а також між самими частинками; зменшуються товщини шарів полімеру; знижуються внутрішні напруження матеріалу, що сприяє полегшенню процесу деформування під час пресування; підвищується армувальна дія деревинних частинок, що покращує фізико-механічні властивості матеріалу.

Однак подальше надмірне зменшення розміру частинок призводить до різкого погіршення фізико-механічних характеристик. Це пов'язано з руйнуванням волокнистої структури частинок, що знижує їх армувальну здатність і негативно впливає на загальну міцність композиції.

Дослідження з використання деревинної стружки різних фракцій [23, 30] для виготовлення ДПМ показали важливість розміру частинок і їх вплив на властивості композиту. У роботі [29] використовували соснову стружку з розмірами частинок: довжина 12–20 мм, ширина 1,1–4,5 мм, товщина 0,1–0,3 мм. Як матрицю застосовували попередньо подрібнений вторинний поліетилен (ВПЕ) із частинками ≤ 2 мм (рис. 1.5).



Рисунок 1.5. Компоненти деревино-полімерного матеріалу

Із підвищенням вмісту деревинної стружки спостерігається різке збільшення водопоглинання та набрякання композиту через зменшення шару полімеру на поверхні деревинних частинок, що полегшує проникнення води в капілярно-пористу структуру деревини.

У разі невеликого вмісту стружки міцність ДПМ знижується через збільшення товщини прошарків полімеру між частинками наповнювача, поступове розчинення деревинного каркасу в полімерній матриці та зниження його армувальної здатності.

Дослідження [23, 41, 42, 43, 44, 45] показали, що деревне волокно має переваги порівняно з тирсою у покращенні фізико-механічних властивостей ДПМ. Волокна класифікували за розмірами:

I тип: довжина 10–20 мм;

II тип: довжина 2–15 мм;

III тип: дрібнодисперсні відходи з розміром частинок 0,2–2 мм і відношенням довжини до товщини в межах 5–25.

Волокна довжиною 10–20 мм (I тип) забезпечують найвищу міцність під час статичного згинання.

Суміш фракцій II і III типів у співвідношенні 1:1 показує максимальні значення ударної в'язкості, водостійкості та мінімальне водопоглинання (3%).

Отже, використання деревного волокна, особливо в оптимальних пропорціях, значно покращує фізико-механічні властивості композиту порівняно з тирсою, забезпечуючи кращу міцність, водостійкість та зменшене водопоглинання.

Переробка деревиннополімерних матеріалів на основі крупнодисперсної подрібненої деревини (наприклад, подрібнених кусків шпону) та дрібнодисперсного порошкоподібного в'язучого (емульсійного або суспензійного полівінілхлориду – ПВХ) ускладнюється через схильність суміші до розділення на компоненти.

Для екструзії ДПМ здебільшого використовують деревинне борошно, оскільки воно забезпечує більш рівномірний розподіл наповнювача в матриці. Проте застосування дрібнодисперсних частинок значно збільшує витрати термопластичного полімеру та технологічних добавок через різке

зростання питомої поверхні частинок із підвищенням дисперсності наповнювача.

Оптимальні результати отримують при змішуванні дрібнодисперсної фракції деревини з крупнодисперсною у співвідношенні 35–75%, що забезпечує прес-композиції із задовільними фізико-механічними властивостями.

Для зменшення розділення компонентів суміші рекомендується додавати 0,5–2,5% тонковолокнистих добавок. Для покращення ударної в'язкості в матеріал вводять капроновий корд.

У разі плоского пресування композицій з подрібненої деревини вологість матеріалу повинна становити 2–6%.

Для екструзії вологість деревинних частинок не повинна перевищувати 1,5%, оскільки утворення водяної пари призводить до появи мікротріщин і мікропор, що значно погіршує фізико-механічні властивості готового ДПМ.

Ці рекомендації дозволяють зменшити негативні впливи та забезпечити високу якість кінцевих виробів із ДПМ.

Деревинно-полімерні композити (ДПК) класифікують за вмістом деревинного наповнювача, що суттєво впливає на їх властивості [24]:

Композити з невисоким вмістом деревини (до 15%).

Деревинний наповнювач виконує роль модифікувальної добавки. Полімерна матриця залишається слабоорієнтованою. Частинки деревини розділяють граничні шари полімеру, що зумовлює зниження міцності під час розтягування та ударної в'язкості зі збільшенням частки наповнювача.

Композити з підвищеним вмістом деревинного наповнювача (15–50%).

Властивості композиту визначаються товщиною полімерного шару між частинками деревини. У зоні поблизу деревинних частинок полімер має орієнтовану структуру, яка поступово переходить у слабоорієнтовану, а далі – в повністю неорієнтовану. Зміни властивостей із варіацією вмісту наповнювача є незначними.

Композити з високим вмістом деревинного наповнювача (50–60%).

Полімер здебільшого перебуває в орієнтованому стані, утворюючи міцний каркас із деревинних частинок, вкритих полімерним шаром.

Властивості таких композитів значною мірою залежать від структури деревинних частинок, що утворюють основу матеріалу.

Ця класифікація дозволяє визначити оптимальну композицію матеріалу залежно від необхідних властивостей готового виробу.

Основним недоліком ДПМ є їх низька ударна міцність порівняно з вихідним ненаповненим полімером. Однак цей недолік можна компенсувати шляхом введення спеціальних модифікувальних добавок у композицію або шляхом личкування виробів декоративними плівками та тканинами, що покращують зовнішній вигляд і механічні властивості матеріалу [45].

З економічної точки зору використання деревинних частинок великих розмірів є вигідним, оскільки вони дешевші у виробництві. Однак їх використання може призвести до підвищення шорсткості поверхні виробу, нерівномірності властивостей та зниження продуктивності обладнання через меншу насипну щільність таких частинок. Експериментально встановлено, що оптимальний розмір деревинних частинок для досягнення бажаних властивостей матеріалу становить 3–6 мм.

1.3. Термопласти та модифікувальні речовини

Найбільше число робіт по наповненню деревини термопластам присвячені поліолефінам, а саме поліетилену низького тиску (ПЕНТ), високого тиску (ПЕНВ), а також вторинному поліетилену (відходи). Для виготовлення деревино-полімерної композиції також можна використовувати: поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ), полістирол (ПС), поліметилметакрилат (ПММА) та їхні вторинні матеріали.

В якості вихідних термопластичних клеїв [1, 21] використовували: поліетилен низького тиску (ПЕНТ) у вигляді високодисперсного порошку з розміром частинок 200 мкм, а також у формі плівки (вживаної) з розміром

частинок 10×10 мм. Поліметилметакрилат (ПММА) у вигляді гранул з діаметром частинок 1–2 мм і порошку з розміром частинок 150 мкм.

Проведено дослідження щодо виготовлення деревинно-полімерних матеріалів на основі сумішей полімерів. Зокрема, у роботах вивчено властивості ДПМ, створених із використанням таких сумішей термопластичних полімерів: поліетилену та полістиролу або поліетилену, полістиролу та полівінілхлориду.

Фізико-механічні показники цих матеріалів порівнювали з показниками ДПМ, виготовлених на основі окремих полімерів. Виявилось, що властивості композитів на основі сумішей є гіршими, що пояснюється термодинамічною несумісністю полімерів різної хімічної природи. Така несумісність призводить до погіршення взаємодії між компонентами, що негативно впливає на однорідність і міцність отриманого матеріалу.

Використання гранульованих термопластів або полімерних матеріалів у вигляді плівки знижує ймовірність отримання однорідної пресмаси, що ускладнює забезпечення високої міцності композитів. Нерівномірний розподіл клею в об'ємі композиційного матеріалу сприяє утворенню зон з підвищеним напруженням, що призводить до передчасного руйнування матеріалу.

У роботі [3] описано використання полівінілхлориду (ПВХ) як в'язучого компонента у виробництві деревинно-полімерних плит. Вміст ПВХ у композиції становив 50–60%. Плити, виготовлені на основі немодифікованого ПВХ, характеризувалися низькими фізико-механічними показниками. Проте додавання модифікувальних добавок значно покращило їх властивості, суттєво підвищивши міцність і інші експлуатаційні характеристики матеріалу.

Результати досліджень [25] свідчать, що зі збільшенням вмісту полімеру в композиції фізико-механічні властивості матеріалу покращуються. Найінтенсивніше це підвищення спостерігається в інтервалі, коли вміст полімеру в композиції зростає від 30 до 40%. У цей період деревинні

частинки ще зберігають між собою контакт, при цьому утворюється полімерне середовище, яке значно підсилює структуру матеріалу.

Для покращення фізико-механічних властивостей ДПМ до складу композиції додають різноманітні модифікувальні речовини. Деревинні полімерні матеріали, виготовлені на основі вторинного поліетилену (ВПЕ), демонструють добрі фізико-механічні показники при вмісті деревинного наповнювача до 50% від маси. Однак подальше збільшення вмісту наповнювача призводить до різкого зниження водостійкості та погіршення міцнісних характеристик матеріалу. Таким чином, для збереження належних експлуатаційних властивостей ДПМ зі збільшенням частки деревинного наповнювача необхідно вводити модифікувальні добавки, які компенсують негативні ефекти.

Як модифікатори ДПМ можуть використовуватися різноманітні речовини, такі як полівініловий спирт (ПВС), стеаринова кислота, поліетиленовий віск ПВ-200, парафін, бітум, рідке скло, дисперсія полівінілацетату (ПВА), а також карбамідоформальдегідна смола (КФС) [36]. Їхній вміст у складі композиції становить 0,5–7%.

Дослідження показали, що бітум, дисперсія ПВА, рідке скло та поліетиленовий віск лише незначно впливають на підвищення міцності та водостійкості матеріалу. Використання карбамідоформальдегідних смол сприяє покращенню міцності ДПМ, однак у зазначених кількостях не забезпечує достатньої водостійкості композиції. Найбільш ефективними модифікаторами виявилися полівініловий спирт і парафін, які суттєво підвищують фізико-механічні показники матеріалу, зокрема його водостійкість та тривкість.

Введення парафіну до складу деревинно-полімерних мас (ДПМ) сприяє покращенню експлуатаційних характеристик матеріалу. Зокрема, із підвищенням вмісту парафіну зростає водостійкість композиції, оскільки парафін утворює на поверхні деревинних частинок захисний шар, що запобігає проникненню води в капілярно-пористу структуру деревини.

Парафін також позитивно впливає на механічні властивості ДПМ, оскільки, як низькомолекулярний аналог поліетилену, він знижує в'язкість розплаву полімеру. Це забезпечує краще змочування деревинного наповнювача та покращує механічне зчеплення між полімерною матрицею й деревинними частинками.

Однак концентрація парафіну понад 10% є недоцільною. При такому вмісті подальше покращення міцності матеріалу сповільнюється, а межа міцності під час статичного згинання та ударна в'язкість починають знижуватися. Водночас показник водостійкості при цій концентрації досягає свого максимуму. Таким чином, для досягнення оптимального балансу між механічними та водостійкими властивостями використання парафіну рекомендується в межах до 10% масової частки [37, 38, 39, 40].

Введення модифікувальних добавок та регулювання дисперсності вихідних полімерів є ефективними методами покращення міцності й інших експлуатаційних характеристик деревинно-полімерних матеріалів (ДПМ). Ці процеси сприяють оптимізації умов взаємодії між компонентами композиції на границі розділу, що підвищує активність поверхні деревинного наповнювача.

З фізико-хімічної точки зору, при нагріванні та дії тиску деревина, як органічна речовина, зазнає часткового термічного розкладу. Утворення груп C=O, COOH та легко гідролізованих полісахаридів і олігосахаридів сприяє утворенню продуктів конденсації та полімеризації, які діють як природний клей. Це підвищує міцність, пластичність та водостійкість матеріалу під час формування ДПМ [39, 41, 42, 43, 44, 45].

Введення модифікувальних добавок дозволяє значно зменшити вміст полімерної матриці в композиції до 25–30%, при цьому фізико-механічні властивості матеріалу зберігаються або навіть покращуються. Таким чином, застосування добавок підвищує ефективність виробництва ДПМ, знижуючи витрати на полімерну складову, зберігаючи при цьому високі експлуатаційні показники.

1.4. Аналіз способів виготовлення деревинно-полімерних матеріалів

Вибір методу виготовлення деревинно-полімерних матеріалів (ДПМ) є важливим етапом, оскільки він визначається конфігурацією виробу, його функціональним призначенням та умовами експлуатації. До найбільш поширених методів виготовлення ДПМ належать:

екструзія – використовується для отримання погонажних виробів, таких як панелі, плінтуси, профілі. Процес полягає у пропусканні композиції через фільтеру з подальшим охолодженням і формуванням;

пресування – застосовується для виготовлення плитних матеріалів, таких як меблеві щити, підлогові покриття. Це забезпечує високу щільність і однорідність виробів;

лиття під тиском – дозволяє виготовляти пустотілі вироби та вироби зі складною геометрією, наприклад, корпуси, контейнери чи декоративні елементи;

термоформування – підходить для створення виробів зі складною поверхнею або деталей із заданими структурними елементами [46, 47].

На рисунку 1.2 наочно показано, як різні методи виготовлення ДПМ відповідають різним типам виробів, враховуючи їхні форми, структуру та функції. Кожен метод має свої переваги та обмеження, які залежать від властивостей використовуваних матеріалів та специфічних вимог до готових виробів.

Метод лиття під тиском є одним із найпоширеніших способів виготовлення ДПМ, завдяки його численним перевагам і широкому застосуванню. Відбувається шляхом видавлювання пластифікованої суміші ДПМ у прес-форму під високим тиском. Основні етапи процесу: плавлення полімерної матриці, розплавлення та текучість суміші під тиском, ущільнення в прес-формі, застигання готового виробу.

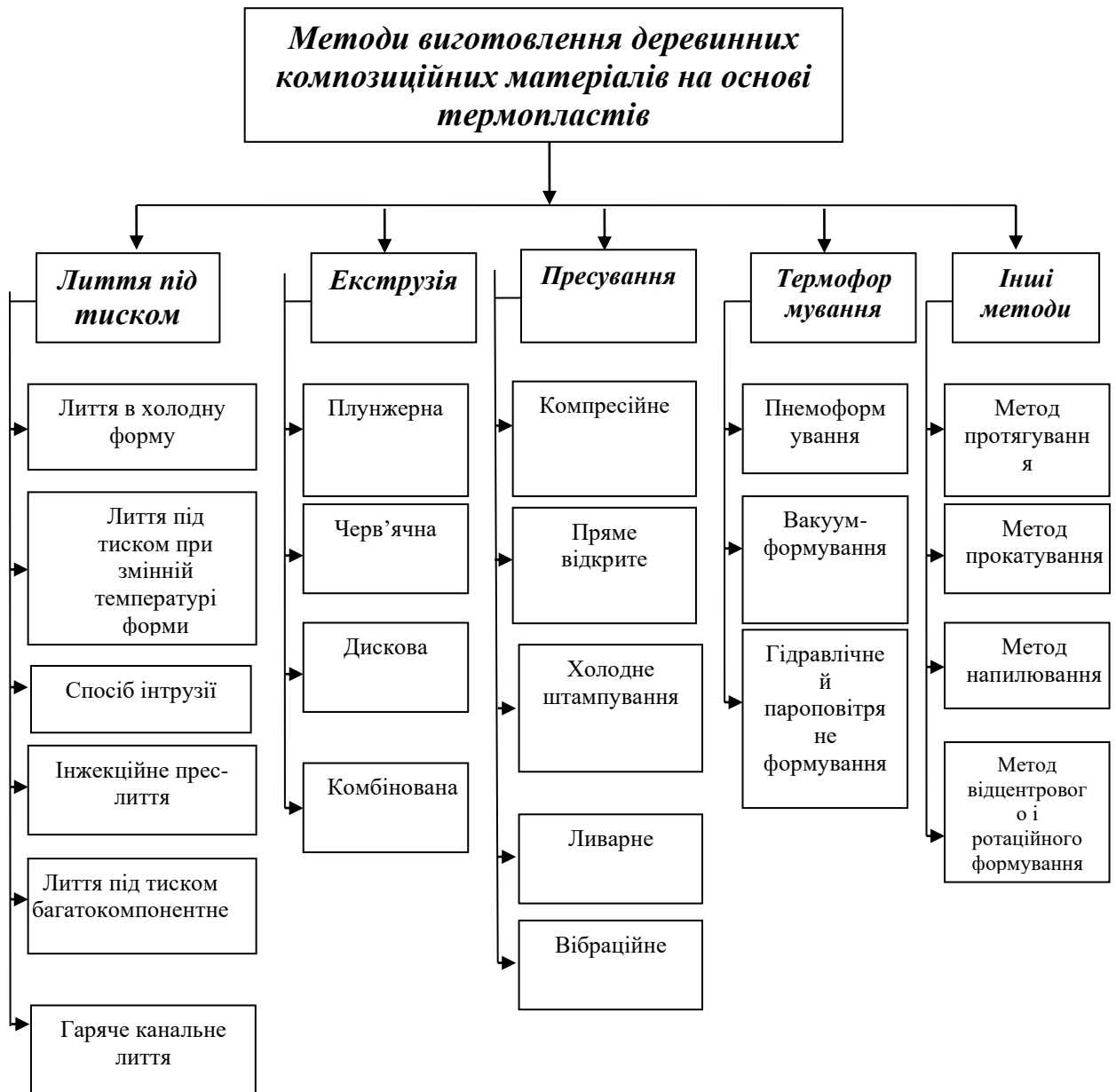


Рисунок 1.5. Методи виготовлення деревинних композиційних матеріалів на основі термопластів [47]

Даний метод характеризується високою продуктивністю та можливістю швидкого виготовлення великої кількості виробів, збільшення асортименту форм та високою точністю розмірів без необхідності додаткової механічної обробки. Крім того раціонально використовуються матеріали і відсутність великої кількості відходів.

Лиття під тиском підходить для повністю автоматизованого виробництва, що мінімізує витрати на ручну працю, однак дане обладнання є досить дорогим, використання прес-форм обмежує розміри готового виробу.

Таким чином, лиття під тиском широко використовується для виробництва різноманітної продукції, особливо виробів складної форми, що вимагають високої точності та однорідної структури.

Метод екструзії є одним із найпоширеніших способів виготовлення композиційних матеріалів на основі термопластичних полімерів. Його переваги, універсальність та можливість виготовлення різноманітних виробів зробили цей метод популярним у виробництві деревинно-полімерних матеріалів.

Екструзія – це неперервний метод формування виробів, що передбачає перетискання пластифікованої суміші термопласту з деревинними частинками через профільний отвір спеціальної конфігурації з подальшою фіксацією форми виробу [23, 47]. Основними стадіями процесу є: завантаження матеріалу та транспортування, плавлення матеріалу під дією температури, дозування суміші, відбувається точний контроль кількості матеріалу, що подається в зону формування, перетискання через профільний отвір, формування виробу відбувається шляхом продавлювання розплавленого матеріалу через профільну матрицю, охолодження та фіксація форми [47].

Основні способи екструзії:

- плунжерна екструзія (використовує пряме натискання за допомогою плунжера для проштовхування суміші);
- черв'ячна екструзія (найпоширеніший метод, де матеріал переміщується й пластифікується за допомогою обертового черв'яка);
- дискова екструзія (матеріал переміщується за допомогою обертання дисків, що створюють необхідний тиск);
- комбінована екструзія (поєднання декількох принципів для підвищення ефективності процесу).

Цей метод ідеально підходить для виготовлення погонажних виробів (наприклад, профілів, панелей, труб) та забезпечує їх стабільну якість.

Незважаючи на ряд переваг даного методу (висока продуктивність, формування профільних виробів необмеженої довжини, висока якість продукції, можливість швидко адаптуватися до виробництва різних форм, навіть у незначних партіях, високий рівень автоматизації, енерго- і трудоощадність), наявні певні недоліки: обмежений поперечний переріз виробів, тобто метод не підходить для масивних деталей, використання виключно дрібнодисперсної сировини (деревинного борошна або тирси), висока вартість обладнання, складність налаштування процесу, що вимагає кваліфікованих спеціалістів.

Пресування є найпростішим і широко використовуваним методом виготовлення ДПМ. Цей метод здійснюється на різних типах обладнання: гідравлічних пресах, прес-автоматах, багатопверхових пресах і роторних лініях [47].

Попередньо підготовлена суміш термопласту та деревинних частинок завантажується в прес-форму. В прес-формі відбувається ущільнення матеріалу під дією тиску, після чого він охолоджується, зберігаючи отриману форму.

Основні методи плоского пресування:

- компресійне пресування — традиційний метод, що забезпечує рівномірне ущільнення матеріалу під дією тиску;
- пряме відкрите пресування — використовується для виготовлення виробів без складної геометрії; відзначається економічністю;
- холодне штампування — метод, що дозволяє формувати матеріал без нагрівання, забезпечуючи низькі витрати енергії;
- ливарне пресування — включає попереднє розплавлення суміші та її заливання у прес-форму для подальшого затвердіння;
- вібраційне пресування — передбачає ущільнення матеріалу за рахунок комбінації тиску та вібрацій, що забезпечує високу щільність виробу.

Можливість застосування тільки дрібнодисперсних частинок як сировини.

В таблиці 1.1 наведено порівняльну характеристику різних методів виготовлення ДПМ.

Таблиця 1.1.

Порівняння методів виготовлення ДПМ

Метод	Переваги	Недоліки
Лиття під тиском	Висока продуктивність, можливість виготовлення виробів складної конфігурації, точність розмірів, відсутність додаткової обробки	Обмеженість форми виробів прес-формою, дороге обладнання, складність налагодження
Екструзія	Висока продуктивність, можливість виготовлення профільних виробів необмеженої довжини, точність розмірів, висока якість поверхні	Невеликі поперечні розміри виробів, використання тільки дрібнодисперсних частинок, дороге обладнання, складність налагодження
Пресування	Простота, економічність, висока продуктивність, можливість виготовлення великої кількості виробів одночасно	Обмежена форма і розмір виробів, потреба в охолодженні, низька точність
Термоформування	Можливість виготовлення об'ємних виробів з відкритим вільним об'ємом, недороге та нескладне обладнання, економічність, низька трудомісткість	Низька продуктивність, використання високих тисків, неоднорідне формування, необхідність обробки внутрішніх поверхонь виробів, мала точність

Проаналізувавши різні методи виготовлення ДПМ, то найбільш поширеним є екструзія. Однак пресування, також займає лідируючу позицію, завдяки високій продуктивності, економічності. Зроблено, кроки щодо виготовлення ДПМ шляхом плоского пресування. Це дасть змогу наблизити виробництво ДПМ до виготовлення традиційних композиційних матеріалів, зокрема стружкових плит.

1.5. Висновки

Проте у даних матеріалах наявні певні недоліки: значна несумісність полімерної матриці та природних наповнювачів, що призводить до нерівномірного диспергування та зниження показників механічних властивостей (додаванням відповідних модифікувальних речовин можна сприятливо змінити властивості);

Для отримання ДПМ із високими фізико-механічними властивостями пропонується використовувати деревинне борошно, тирсу або стружку як наповнювач та вторинний поліетилен, поліпропілен або поліетиленметакрилат як полімерну матрицю. Оптимальний вміст полімеру становить 40-60%. Оскільки, саме вміст полімеру та вид деревинного наповнювача впливають на властивості ДПМ.

Аналізуючи результати попередніх досліджень, можна зробити висновок, що для виготовлення деревинно-полімерних композицій доцільно використовувати деревинні наповнювачі з об'ємною густиною, близькою до густини термопластів. Такими наповнювачами можуть бути деревинне борошно, тирса та стружка.

Як полімер для таких композицій рекомендується використовувати порошкоподібний або гранульований вторинний поліетилен (ВПЕ), поліпропілен (ПП) або поліетиленметакрилат (ПММА) з вмістом полімеру в межах 40-60%. Така пропорція полімеру забезпечує отримання композиційного матеріалу з хорошими фізико-механічними властивостями.

ДПМ, які характеризуються низкою переваг над деревинними композиційними матеріалами на основі термореактивних смол, зокрема: підвищеною водостійкістю, нетоксичністю, хімічною стійкістю та можливістю їх повторного використання. Однак, з метою використання ДПП у виробництві меблів їх доцільно личкувати. Окрім того, операція личкування ДПМ дозволила б значно підвищити їх механічні властивості. Опорядження ДПМ різними матеріалами можна покращити їх властивості і, тим самим, значно розширити галузі їх застосування.

Мета роботи – аналіз властивостей деревинно-полімерних матеріалів різних способів опорядження.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути перспективи розвитку виробництва деревинних полімерних матеріалів та провести аналіз різних способів їх виготовлення;
- проаналізувати методи опорядження для ДПМ;
- розглянути вплив методів опорядження на властивості ДПМ.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ОПОРЯДЖЕННЯ ТА ЇХ ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ

2.1. Основні способи опорядження деревини та полімерів

У обробці деревини технології опорядження відіграють важливу роль у покращенні як естетичних, так і експлуатаційних властивостей деревинних виробів. За останні роки технології покриттів для деревини значно змінилися, і наразі найбільш поширеними є водорозчинні покриття з низьким вмістом летких органічних сполук (ЛОС). Цей перехід обумовлений екологічними вимогами, оскільки зниження викидів ЛОС є важливим для зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище.

До поширених дерев'яних покриттів належать волокнисті плити, фанера, стружкові плити та орієнтовано-стружкові плити. Ці матеріали часто покриваються такими матеріалами, як полівінілацетатні (ПВА) та акрилові фарби. Окрім водорозчинних покриттів, в промисловості використовуються й покриття, на основі розчинників таких як акрилові, алкідні, нітроцелюлозні та поліуретанові, залежно від бажаного покриття та специфіки застосування. Ці покриття забезпечують покращену стійкість та довговічність, що є важливим для деревинних виробів, що піддаються впливу агресивного середовища.

Перед нанесенням лаків/фарб необхідно підготувати поверхню деревини механічними методами, такими як шліфування або фрезерування. Цей етап необхідний для забезпечення гладкої та рівної поверхні. Шліфування чи фрезерування допомагає очистити поверхню деревини, усуваючи дефекти і забезпечуючи надійне зчеплення з покриттям.

Нанесення лакофарбових матеріалів на поверхню деревини призводить до створення межі між матеріалом покриття та деревиною. Хімічний склад деревини, а також морфологія її поверхні впливає на процес змочування та адгезії на межі між лаком/фарбою (у рідкій фазі) та деревним матеріалом [49]. Існує кілька факторів, які впливають на якість деревини з покриттям, а

саме: геометрія поверхні підкладки, в'язкість опоряджувальних матеріалів, вологість деревини та ін.

Опорядження полімерів

У покритті пластмас використовуються різноманітні смоли та розчинники. Основними смолами є акрилові, поліуретанові, полівінілацетатні (ПВА), меламінові та поліестерові смоли, а розчинниками — вода, бутиловий спирт, ізопропіловий спирт і метиловий ефір пропіленгліколю. Ці матеріали домінують у галузі покриттів для пластмас [49, 50, 51].

На 2000 рік покриття на основі розчинників становили 43% від загального обсягу споживання, тоді як водорозчинні покриття та порошкові покриття — 26% і 12% відповідно [51]

Процес покриття полімерних субстратів зазвичай поділяється на три основні етапи:

Грунтування (25 мкм). Перше покриття, що наноситься на пластмасу, — це грунтовка. Вона виконує кілька функцій: сприяє адгезії між субстратом та наступними шарами, усуває дефекти поверхні, зменшує пористість і покращує якість поверхні субстрату [50, 51].

Базове покриття (13-45 мкм). Після грунтування наноситься базове покриття. Це покриття допомагає приховати колір грунтування та субстрату, забезпечуючи рівномірну основу для нанесення фінішного верхнього покриття .

Фінішне покриття (45-51 мкм): Останній шар — фінішне покриття, часто прозоре. Воно є важливим для захисту субстрату від деградації під впливом УФ-випромінювання, покращує хімічну стійкість і захищає від подряпин, пошкоджень та тріщин [49, 50, 51]

Ці три шари разом забезпечують як естетичний вигляд, так і функціональний захист полімерних поверхонь.

Загалом покриття полімерної є загалом поділяється на три частини – грунтовка (25 μ), базове покриття (13–45 μ) і верхнє покриття (45–51). μ). Поверхня основи спочатку покривається грунтовкою, яка діє як адгезія

промотор, усуває дефекти поверхні, зменшує пористість і покращує якість поверхні. Потім на ґрунтовку наноситься базовий шар, щоб приховати колір ґрунтовки/підкладки.

Для покриття полімерів застосовується такі речовини: акрил, поліуретан, полівінілацетат, меламін, бутиловий спирт, ізопропіловий спирт, метиловий ефір пропіленгліколю [49, 50].

Нарешті поверх базових шарів наноситься прозоре покриття для захисту основи від УФ-деградації та надання їм хімічної стійкості, стійкості до сколів і подряпин тощо [50, 51]

Поліолефіни є полімерами з низькою поверхневою енергією і не мають полярної складової; це так тому фарбувати такі полімерні поверхні складно. Вимірювання адгезії різних фарб до полімерів можна зробити висновок, що поверхні з більшою вільною енергією (>35 мН/м) було б легше фарбувати, і потрібно встановити кореляції між адгезійною здатністю і термодинамічні властивості фарбувального середовища. [53]

Загальні методи опорядження поверхні включають полум'я, холод-плазма, корона, кислотне травлення, УФ, електронний промінь, іонний промінь, ексимерний лазер та інші обробки у середовищі реактивних газів. Фарбу необхідно наносити відразу після обробки поверхні уникнути втрати поверхневої активності. Проте на сьогоднішній день, важливими є ще такі методи опорядження, їх розглянемо нижче.

Обробка холодною плазмою

Рекомендовано обробку холодною плазмою в присутності кисню, аміаку, фтору, азоту, аргону та інші матеріали (силани, силосани тощо), виконані в вакуумній камері. Електромагнітна енергія передається частотою або типом зв'язку модель, яка створює сійво з об'єктами, розташованими посередині.

Недоліком є те, що через високу зшивку поверхня підкладки може поводитися механічно некогерентно до матеріалу. Киснева плазма взаємодіє з поліетиленом по ланцюгу розщеплення та призводить до створення

оксигенованих полярних функціональних груп С-О, С=О, СООН (Дрновська та ін., 2003), що залежне від часу старіння. Поверхня, оброблена плазмою, досить поширена, а гідрофобне відновлення контактного кута поліетилену набагато менше, ніж поліпропілену, і це, ймовірно, було пов'язано з перехресним зшиванням, викликаним плазмою в поліетилені.

УФ-обробка

Ультрафіолетові лампи з довжиною хвилі 250-400 нм широко використовуються для зміни властивостей полімерних поверхонь (Ryntz 1998). Зазвичай виконується в присутності кисню, озону, а також у присутності або відсутності іншого фотоініціатора. Енергія носій, фотон, активує хімічну речовину, яка потім витісняє атом водню з полімерного ланцюга; тим самим створюючи вільні радикали. Зшивання та фрагментація це два шляхи.. Найбільш поширеним є бензофенон (БФ). використовується фотоініціатор, оскільки він поглинає ультрафіолетове світло при 340-360 нм, вивільняючи водень із полімерної підкладки для генерації вільний радикал [50, 51]. Вільний радикал вступає в реакцію з нанесеним покриттям, щоб збільшити адгезію.

Метод	Переваги	Недоліки
Холодна плазма	- Ефективно створює полярні функціональні групи (С-О, С=О). - Підвищує адгезію до фарб і покриттів.	Може призводити до надмірної зшивання, що погіршує когерентність поверхні.
УФ-обробка	Ефективно активує поверхню. - Підвищує адгезію до фарб і лаків за використання фотоініціаторів.	- Вимагає спеціального обладнання. - Залежність від параметрів процесу (довжина хвилі, тривалість)
Корона	Простота методу. - Може використовуватися для багатьох полімерів	Менш ефективний для гідрофобних полімерів у порівнянні з плазмою чи УФ-обробкою
Типи покриттів (акрил, поліуретан)	Захищають від УФ, хімічного впливу, механічних пошкоджень. - Універсальність для різних полімерів.	- Висока вартість у порівнянні з традиційними покриттями. - Можлива залежність від матеріалу субстрату

2.2. Опорядження деревинних композиційних матеріалів

Плитні матеріали, які використовуються у сучасному виробництві меблів (стружкові плити (СП), волокнисті плити середньої щільності (MDF), волокнисті плити (ВП), опоряджують за допомогою непрозорого та імітаційного методів формування плівок:

- личкування паперово-смоляними плівками;
- личкування декоративними паперово-шаровими пластиками;
- личкування полімерними плівками;
- нанесення пігментованих лакофарбових матеріалів та порошоків.

Для личкування плит паперово-смоляними плівками використовують два різних процеси: ламінування і каширування [54]. Як паперово-смоляну плівку використовують декоративний папір, просочений спеціальною полімерною смолою з подальшим сушінням, у процесі якого відбувається часткове або повне затвердіння паперу. На даний час композиції для отримання паперово-смоляних плівок виготовляють на основі меламінокарбамідоформальдегідних смол і просочувальних речовин, які мають високі декоративні та якісні показники.

Ламінування – фізико-хімічний процес личкування плитних матеріалів паперово-смоляними плівками під дією температури (140-210°C) і тиску (2.5-2.8 МПа). При цьому декоративно-захисний шар на плиті утворюється за

Каширування – фізичний процес личкування плитних матеріалів повністю затверділими паперово-смоляними плівками (з опорядженням чи без опорядження лаками) із попереднім нанесенням на плиту-основу клейової композиції. Умови, за яких проходить процес каширування, значно м'якші: температура 20-150 °C і тиск 0.5-1.5 МПа. Принципова відмінність цих двох методів опорядження полягає в тому, що при кашируванні готове декоративне покриття приклеюється на поверхню, а при ламінуванні воно створюється під час пресування за рахунок хімічних процесів і невіддільне від плити-основи [54].

Декоративні паперово-шарові пластики (ДПШП) також широко застосовуються для личкування плитних матеріалів. Основою для виробництва ДПШП є па-пір, який, окрім функцій армуючого наповнювача, надає кінцевому продукту пластичність, механічну міцність, а, головне, декоративні властивості. В якості зв'язуючого для ДПШП використовуються різні полімерні смоли: ме-ламіноформальдегідні, карбамідо (амідо-)формальдегідні, фенолформальдегідні, а також їх композиції. Окрім цих смол застосовуються поліефірні зв'язуючі. За способом отримання ДПШП діляться на ламінат високого тиску ((HPL) і ламінат середнього тиску (CPL). Властивості ДПШП: механічна міцність: міцність на згин – не менше 90 МПа, модуль пружності – не менше 5600 МПа; термічна стійкість: максимальна робоча температура від 80 °С до 180 °С (короткотривалий нагрів до 300°С). Одним із найбільш ефективних методів створення захисно-декоративних покриттів на плиті є їх опорядження постформованим ДПШП.

Розроблення відповідної системи покриття для ДПМ вимагає глибокого розуміння властивостей поверхні, хімічний склад поверхні та змочуваність зокрема, оскільки ці властивості безпосередньо стосуються адгезії фарби до ДПМ.

2.3. Адгезія: основні теорії та фактори, що впливають на процес опорядження

Розроблення відповідної системи покриття для ДПМ вимагає глибокого розуміння властивостей поверхні, хімічний склад поверхні та змочуваність зокрема, оскільки ці властивості безпосередньо стосуються адгезії фарби та личкувального матеріалу до ДПМ.

Основи процесу адгезії базуються на складному комплексі явищ, серед яких ключову роль відіграє формування адгезійних зв'язків. Хоча природа адгезії та її закономірності досліджуються інтенсивно на об'єктах різної

природи — від металів і скла до деревини і полімерів — наразі єдина універсальна теорія адгезії відсутня.

Механічна теорія адгезії виникла однією з перших теорій, що пояснюють явище адгезії, стала механічна теорія, запропонована Мак-Беном. Вона акцентує увагу на тому, що міцність адгезивного з'єднання залежить від: пористості поверхні матеріалу; в'язкості клею або фарби.

Згідно з цією теорією, проникнення опоряджувального матеріалу у мікропори сприяє створенню механічного замикання, що підвищує міцність з'єднання. Проте теорія має обмеження, оскільки не враховує хімічну природу матеріалів, що склеюються, і самого клею. Наприклад, надмірне проникнення низьков'язких клеїв може призводити до утворення переривчастого клейового шару, що суттєво знижує міцність з'єднання. Навпаки, високої міцності можна досягти навіть при склеюванні гладких і непористих поверхонь.

Ефективне опорядження можливе лише за умови належної змочувальної здатності опоряджувальних матеріалів до поверхні. Якщо опорядження здійснюється за допомогою фарб чи лаків, то рідина повинна: рівномірно розподілятися поверхнею; проникати у пори матеріалу; після затвердіння утворювати міцне з'єднання.

Якщо рідина не забезпечує достатнього змочування, це може призвести до утворення крапель, що зменшують контактну площу між опоряджувальною рідиною і матеріалом. Це своєю чергою знижує силу адгезії. Важливими факторами, що впливають на змочування, є:

- стан поверхні матеріалу;
- її чистота та геометрія;
- хімічний склад поверхні.

Дослідження показали, що підвищення температури може покращити змочувальні властивості клею, забезпечуючи повніший молекулярний контакт між адгезивом і субстратом. Це, у свою чергу, підвищує міцність з'єднання. Наприклад, у роботах [18, 19] вказується, що покращення

змочування при підвищених температурах сприяє більш ефективній взаємодії. Особливо значущі результати щодо впливу змочування на адгезійну міцність отримані для недеревинних підкладок [54, 55].

Механічна теорія адгезії не здатна пояснити можливість опорядження непористих матеріалів, таких як скло, метал, пластмаси. Це обмеження спрямовує дослідників на розробку більш комплексних теорій адгезії.

Адсорбційна теорія адгезії, розроблена Мак-Лареном, Дебройном та іншими [54, 55], пояснює формування адгезійного з'єднання специфічною міжмолекулярною взаємодією, обумовленою наявністю вільної поверхневої енергії як у адгезиві, так і у субстраті. Ця теорія розглядає утворення клейового шару як багатостадійний процес. Вона враховує вплив різної полярності адгезиву і субстрату, їх діелектричну проникність, а також тип і кількість функціональних груп, які створюють міжмолекулярні сили.

Молекулярна теорія адгезії, розроблена Берліним А.А. і Басіним В.Е. [54], є логічним продовженням адсорбційної теорії. Основна відмінність — визнання можливості утворення хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом. Ця теорія враховує хімічну будову матеріалів і пояснює фактори, які впливають на адгезію, зокрема хімічну взаємодію.

Дифузійна теорія, запропонована Воюцьким С.С. [54], пояснює адгезійні зв'язки через дифузію молекул одного полімеру у молекули іншого в зоні контакту. Вона зосереджена на кінетиці утворення адгезійного з'єднання. Проте ця теорія не враховує природу контактних поверхонь, силу адгезії та характер зв'язків між адгезивом і субстратом. Вона є корисною для пояснення взаємодії між полімерами, але має обмеження у застосуванні до інших матеріалів, таких як деревина.

Електрична теорія адгезії зосереджується на ролі електростатичних сил притягання, що виникають у подвійних електричних шарах між контактуючими поверхнями. При контакті матеріалів з різними енергетичними станами можливий перехід електронів з одного матеріалу на інший, що створює протилежні заряди в граничних шарах. Цей механізм

сприяє високій міцності адгезійного з'єднання. Теорія також пояснює вплив швидкості розриву на величину адгезії [54, 55].

Електрорелаксаційна теорія враховує широкий спектр хімічних і міжмолекулярних зв'язків. Вона розглядає адгезію як функцію багатьох факторів: характеру сил взаємодії між контактуючими точками; кількості точок контакту; відстані між контактуючими точками; фактичної площі контакту; діелектричної проникності середовища [55].

Ця теорія пропонує системний підхід до розуміння процесу адгезії, враховуючи як фізичні, так і хімічні аспекти.

Хімічна теорія пояснює адгезію через хімічні зв'язки між полімерами, які утворюються при відстані між атомами до 0,2 нм. Опоряджувальні матеріали з низькою молекулярною масою добре змочують поверхню, забезпечуючи адгезію, але мають слабкі когезійні властивості, що обмежує їх міцність.

Релаксаційна теорія розглядає адгезію через релаксацію напружень, що виникають на етапах формування та експлуатації з'єднання. Здатність до розслаблення цих напружень є ключовим фактором для забезпечення міцності та стійкості з'єднань.

Мікрореологічна теорія описує процес затікання адгезиву в пори та тріщини субстрату, що впливає на площу контакту. Адгезивний контакт утворюється завдяки молекулярним силам і хімічним зв'язкам між матеріалами.

Жодна з існуючих теорій не може повністю описати всі аспекти адгезії. Це створює труднощі у виборі опоряджувального матеріалу, прогнозуванні їх характеристик і оптимізації технології опорядження.

Адгезія та змочування є взаємопов'язаними аспектами одного явища, яке виникає при контакті рідини з твердим тілом. Змочування є наслідком адгезії та відбувається на межі трьох фаз: твердої, рідкої і газоподібної. Взаємодія цих фаз під час контакту призводить до змочування поверхні твердого тіла рідиною.

Поверхневий натяг — це сила, що діє по дотичній до поверхні рідини, спрямована на скорочення її поверхні до мінімальних розмірів, утворюючи краплю або сферу. Кут θ , що утворюється між дотичною до поверхні рідини та змоченою поверхнею твердого тіла, називається крайовим кутом. Він завжди вимірюється від дотичної в напрямку до рідини. Іншими словами, крайовий кут визначає нахил поверхні рідини до твердого тіла, яке вона змочує, наприклад, деревини чи інших матеріалів [54].

На основі екстерементальних досліджень встановлено, що на змочуваність впливають такі фактори: умови приготування адгезиву, його в'язкість і концентрація, поверхневий натяг, число рН, порода деревини і вологість, вміст в ній екстрактивних та інших речовин.

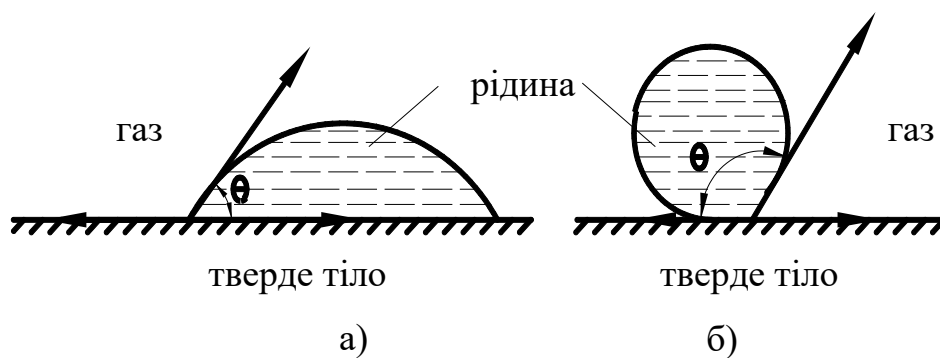


Рис.2.1. Крайовий кут у системі тверде тіло – рідина – газ:

а – рідина змочує поверхню; б – рідина не змочує поверхню [54].

Відомо, що адсорбційні явища зазвичай відбуваються самовільно в нормальних умовах, оскільки зменшення поверхневої енергії системи сприяє їх перебігу. Для того щоб рідина ефективно змочувала тверде тіло, вона повинна знижувати його поверхневу енергію [55].

Значення кута змочування дає змогу оцінити, наскільки добре рідина розподіляється та контактує з поверхнею деревини або іншого субстрату. Крайовий кут змочування є показником, що дозволяє передбачити можливість змочування у конкретній системі, а також визначити характер

взаємодії між клеєм і поверхнею. Це, у свою чергу, впливає на адгезійну міцність клейового з'єднання.

РОЗДІЛ 3. СПОСОБИ ОПОРЯДЖЕННЯ ДПМ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ

3.1. Особливості опорядження деревино-полімерних матеріалів

Деревинно-полімерні матеріали містять гідрофобну матрицю та гідрофільні лігноцелюлозні волокна. Здатність поглинати вологу в основному зумовлена наявністю гідроксильних груп у лігноцелюлозних волокнах. Властивості ДПМ тісно пов'язані з вмістом деревини. Дійсно, саме наявність деревини впливає на проникність вологи та дифузії води [12–14].

З іншого боку, лігнін, гідрофобний компонент деревинного волокна, поглинає менше води, ніж інші компоненти деревини [15]. Водопоглинання ДПМ можна пояснити двома механізмами. По-перше, це пористі натуральні волокна, які підвищують гідрофільність ДПМ і сприяють поглинанню води. Другий механізм зумовлений неоднорідністю поверхні матеріалів, що породжує порожнечі та тріщини на межі розділу. Таким чином, це сприяє надходженню води в композит [16] (рис.3.1).

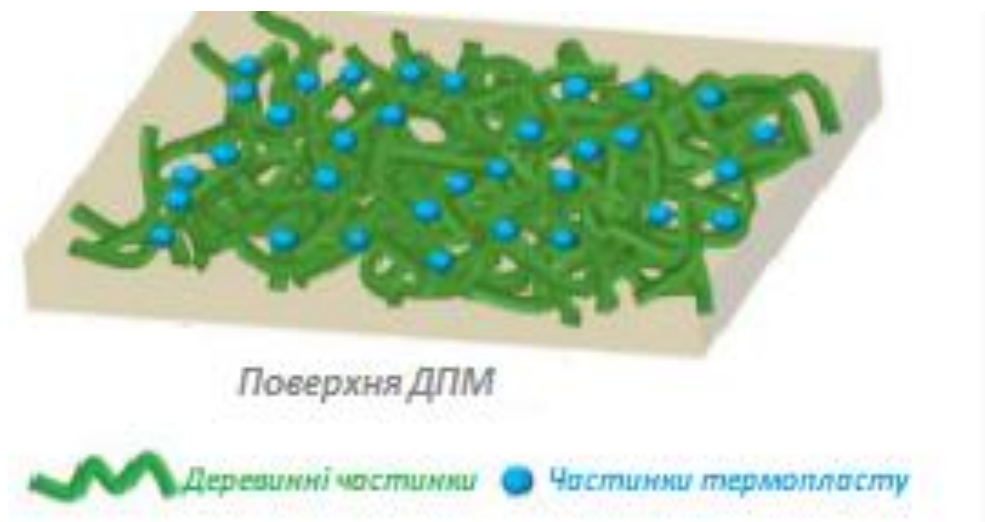


Рис..3.1. Схематичне зображення поверхні ДПМ

Гідрофобний полімер захищає композити від води, капсулюючи таким чином деревні волокна, зменшуючи водопоглинання.

Наразі неможливо задовільно покрити поверхні ДПМ фарбами на водній основі. Причиною цього є низька поверхнева енергія, що призводить до поганого змочування поверхні та відсутності закріплення матеріалу на водних розчинників [52, 56].

Фарби на основі органічних розчинників, які іноді називають «масляними» або «алкідні» фарби, містять значно вищий рівень органіки, ніж фарби на водній основі. Відповідні покриття можуть забезпечити виняткову стійкість до подряпин, а також забезпечують поверхню, яку легко мити. Відповідні покриття можуть герметизувати ДПМ для запобігання поглинанню вологи, цвілі зростання та зменшення фізичних властивостей. Використання систем покриття може схеми оздоблення або ремонту подряпин чи пошкоджень протягом часу використання [51].

Були розроблені дослідження на ДПМ наносили фарби на основі розчинника або води методом напилення. Кількість нанесеної фарби на поверхні ДПМ становила 200 г/м^2 . Технологія нанесення покриття, новий процес нанесення покриття на деревний пластик композити практично будь-якого кольору, забезпечуючи їм стійкість до вицвітання, збереження тепла, цвіль, цвіль, плями та стирання [52, 56]

Фізичні властивості ДПМ перевірені відповідно до стандартів ASTM. Результати показали, що вироблений ДПМ мав діапазон щільності $0,63\text{-}0,73 \text{ г/см}^3$, вміст вологи $26\text{-}3,63\%$, водопоглинання після 24-годинного замочування $15,34\%\text{-}24,15\%$ і розбухання $0,94\%\text{-}3,74\%$.

Досліджено механічні властивості деревинно-полімерних матеріалів, опромінених плазмою та покритих поверхнею. ДПМ були зроблені методом лиття під тиском з використанням деревного волокна, як армування та поліпропілену як матриці. Згодом на випробовуваних зразках проводили плазмову обробку з подальшим покриттям поверхні шляхом занурення в рідину акрилової смоли, що містить гомогенно дисперговані окислені целюлозні нановолокна. Результати вказують на збільшення шорсткості поверхні після плазмового опромінення, але покриття поверхні зразків

акриловою фарбою та зменшило шорсткість поверхні на ~50% порівняно з необробленими зразками.

Плазмова обробка та покриття поверхні наноматеріалами також збільшили міцність на розрив на 5,4–7,1%, 3,5–3,7% та 3,0–3,6% відповідно, у той час як їх деформація руйнування мала тенденцію до зменшення. Порівняно з необробленими зразками, зразки з поверхневим покриттям загалом показали вищу міцність на розрив. Цей висновок є підтвердженням того, що збільшення міцності значною мірою залежить від адгезії між поверхнею зразка та шаром покриття, ніж від покращення шорсткості поверхні. Таким чином, можна зробити висновок, що поверхнєве покриття може мати велике значення для підвищення механічних характеристик ДПМ.

Цей висновок є підтвердженням того, що спостережуване збільшення міцності значною мірою залежить від адгезії між поверхнею зразка та шаром покриття, ніж від покращення шорсткості поверхні. Таким чином, можна зробити висновок, що поверхнєве покриття може мати велике значення для підвищення механічних характеристик ДПМ.

3.2. Вплив різних личкувальних матеріалів на властивості деревинно-полімерних матеріалів

Виготовлення деревинно-полімерних матеріалів відбувалося за допомогою вторинного поліетилену (ВПЕ) та деревинних частинок вологістю 2–3%. Співвідношення деревинних частинок і ВПЕ становило 60:40. Личкувальні матеріали поділялися на дві групи:

- *Натуральні*: березовий лушений шпон; дубовий струганий шпон.
- *Синтетичні*: фенольна просочена плівка; поліетиленова плівка (ПЕ); шар вторинного поліетилену (ВПЕ) [57, 58].

Формування двосторонньо личкуваного деревинно-полімерного пакету здійснювали згідно рис. 3.2, а;б. На лист березового лушеного шпону або дубового струганого шпону або фенольної просоченої плівки або

поліетиленової плівки або шар ВПЕ розміщували попередньо змішану деревинно-полімерну композицію, а зверху накладали лист березового лущеного шпону або дубового струганого шпону або фенольної просоченої плівки або поліетиленової плівки або шар ВПЕ.

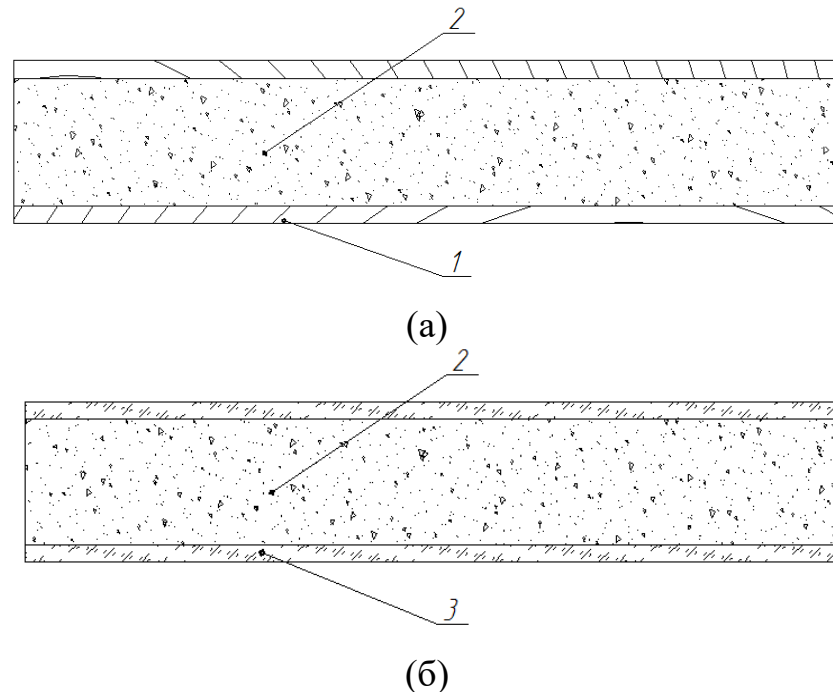


Рисунок 3.2. Двостороннє личкування: (а) – березовим лущеним шпоном / дубовим струганим шпоном / фенольною просоченою плівкою / поліетиленовою плівкою; (б) – шаром ВПЕ: 1 – березовий лущений шпон / дубовий струганий шпон / фенольна просочена плівка / поліетиленова плівка; 2 – деревинно-полімерна композиція; 3 – шар ВПЕ

Виготовлення деревинно-полімерних матеріалів (ДПМ) здійснювали за допомогою лабораторного преса. Розміри готових плит становили $250 \times 230 \times 8$ мм. Параметри пресування були такими: тиск – 3,5 МПа; температура – 180°C ; тривалість пресування – 8,0 хв [57, 58].

Після завершення пресування ДПМ охолоджували в холодному пресі до температури $30\text{--}40^\circ\text{C}$. Для порівняння, за аналогічних параметрів пресування виготовляли не личковані ДПМ.

Личкування даними матеріалами сприяє підвищенню межі міцності при статичному згинанні, що показано в таблиці 3.1. Найвищі показники міцності спостерігаються у ДПМ, опоряджених березовим лущеним шпоном. Зокрема,

при односторонньому опорядженні ДПМ березовим луценим шпоном межа міцності під час статичного згинання зростає в 4,9–6,0 рази вдовж волокон і в 1,6–1,7 разів впоперек волокон, залежно від розташування личкувального матеріалу (зверху чи знизу) під час випробувань.

Нижчі результати межі міцності при статичному згинанні спостерігаються при односторонньому личкуванні ДПМ дубовим струганим шпоном (збільшення в 4,3–5,3 рази вздовж волокон і в 1,53–1,55 рази впоперек волокон). У роботі [35] під час одностороннього покриття струганим шпоном межа міцності при статичному згинанні зросла на 63%. Найвище значення межі міцності було отримано в плитах, личкованих п'ятьма шарами струганого шпону, де межа міцності становила 52,2 МПа, що втричі більше порівняно з неличкованими плитами [35]. У даному випадку найвище значення межі міцності при статичному згинанні для плит, личкованих березовим луценим шпоном, становило 33,6 МПа. У роботі [35] межа міцності для неличкованої плити була 18,5 МПа, а в нашому попередньому дослідженні [57] - лише 5,6 МПа. Це можна пояснити різницею в умовах виготовлення та матеріалах, що використовуються в дослідженнях.

Таблиця 3.1

Властивості деревинно-полімерних матеріалів личкованих натуральним шпоном

Показники	Існуючий спосіб	Запропонований спосіб			
		Личкування луценим шпоном		Личкування струганим шпоном	
		двостороннє		двостороннє	
		впоперек волокон	вздовж волокон	впоперек волокон	вздовж волокон
Межа міцності під час статичного згинання, МПа	5,6	12,7	47,2	9,1	31,0
Водопоглинання, %	23,5	37,0		38,6	
Набрякання, %	10,1	19,2		21,8	

Таблиця 3.2

Властивості деревинно-полімерних матеріалів личкованих синтетичними матеріалами

Показники	Існуючий спосіб	Запропонований спосіб		
		Личкування поліетиленовою плівкою	Личкування фенольною плівкою	Личкування шаром подрібненого вторинного поліетилену
		двостороннє	двостороннє	двостороннє
Межа міцності під час статичного згинання, МПа	5,6	13,2	10,0	13,2
Водопоглинання, %	23,5	12,9	23,3	7,4
Набрякання, %	10,1	9,1	8,8	5,4

Межа міцності при статичному згинанні деревинно-полімерних матеріалів, покритих різними плівками, суттєво зросла. Зокрема:

- для матеріалів із фенольно просоченою плівкою — у 1,7 раза;
- для матеріалів із поліетиленовою плівкою — у 2,0–2,2 раза;
- для матеріалів із шаром високощільного поліетилену (ВПЕ) — приблизно в 1,8 раза.

У дослідженні [36] також проаналізовано вплив різних шарів шпону на міцність і модуль пружності при статичному згинанні плит. Виявлено, що розташування шпону у зовнішніх шарах підвищувало міцність у напрямку більшої осі плити, збільшуючи межу міцності та модуль пружності на 65–72%. Водночас міцність у напрямку меншої осі знижувалася на 23–30%.

Двостороннє личкування деревинно-плитних матеріалів (ДПМ) різними типами покриттів — фенольною просоченою плівкою, поліетиленовою (ПЕ) плівкою та шаром високощільного поліетилену (ВПЕ) — значно знижує водопоглинання та набрякання за товщиною. Зокрема: при використанні фенольно просоченої плівки набрякання за товщиною зменшується на 13%, а

водопоглинання — на 1%; при застосуванні поліетиленової плівки набрякання за товщиною зменшується на 10%, а водопоглинання — на 45%.

Покриття шаром ВПЕ забезпечує найбільше зменшення: набрякання за товщиною скорочується на 46%, а водопоглинання — на 68%.

Таким чином, вибір відповідного покриття значно покращує вологозахисні властивості ДПМ, що дозволяє підвищити їхню довговічність та стійкість до впливу вологи.

Поліетилен (ПЕ) має високу водостійкість, і його водопоглинання за 24 години становить всього 0,10 %. Завдяки цьому ПЕ створює на поверхні ДПМ водостійкий шар (плівку), який запобігає поглинанню води та набряканню матеріалу [57, 58].

На відміну від поліетилену (ПЕ), лушений березовий та струганий дубовий шпон є природними матеріалами, що характеризуються здатністю до значної адсорбції води. Це зумовлює підвищене набрякання матеріалу по товщині та збільшення водопоглинання деревинно-полімерних матеріалів (ДПМ), що можна пояснити високою гідрофільністю деревини.

Личкування деревинно-полімерних матеріалів є можливим і відкриває нові перспективи для їх застосування у меблевому виробництві та інших галузях. Завдяки цьому личковані ДПМ можуть слугувати альтернативою стружковим плитам, які часто містять токсичні компоненти.

Порівняно з неличкованими аналогами, личковані ДПМ демонструють значно кращі фізико-механічні характеристики. Розроблені схеми формування деревинно-полімерного пакету для виробництва личкованих ДПМ мінімально впливають на межу міцності плит при статичному згинанні, проте значно підвищують їхню водостійкість. Розглянуті схеми формування деревинно-полімерного пакету для виробництва личкованих ДПМ впливають менше на межу міцності плит під час статичного згинання, але значно покращують їх водостійкість.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Деревинні полімерні матеріали мають дуже високий потенціал і є екологічно чистими матеріалами для досягнення довговічності без надмірного використання токсичних хімічних речовин. У порівнянні з іншими волокнистими матеріалами, рослинні волокна, як правило, придатні для армованого пластику завдяки їх відносно високій жорсткості та міцності, низькій вартості, здатності до біологічного розкладання, низькій щільності, низьким викидам CO₂ та сировині, що щорічно відновлюються.

Деревинно-полімерні матеріали містять гідрофобну матрицю та гідрофільні лігноцелюлозні волокна. Здатність поглинати вологу в основному зумовлена наявністю гідроксильних груп у лігноцелюлозних волокнах. Властивості ДПМ тісно пов'язані з вмістом деревини.

З економічної точки зору використання деревинних частинок великих розмірів є вигідним, оскільки вони дешевші у виробництві. Однак їх використання може призвести до підвищення шорсткості поверхні виробу, нерівномірності властивостей та зниження продуктивності обладнання через меншу насипну щільність таких частинок. Оптимальний розмір деревинних частинок для досягнення бажаних властивостей матеріалу становить 3–6 мм.

Технологія нанесення покриття, новий процес нанесення покриття на деревний пластик композити практично будь-якого кольору, забезпечуючи їм стійкість до вицвітання, збереження тепла, цвіль, цвіль, плями та стирання.

Личкування поверхні деревинно-полімерних матеріалів усіма досліджуваними личкувальними матеріалами (луццением та струганим шпоном, синтетичними плівками) сприяє підвищенню межі міцності при статичному згинанні.

Найвищі показники межі міцності спостерігалися при використанні натурального шпону, зокрема луцценого березового та струганого дубового. Вищі показники міцності відзначалися у напрямку вздовж волокон шпону. Личкування фенольною просоченою плівкою, поліетиленовою (ПЕ) плівкою

та шаром вторинного поліетилену (ВПЕ) забезпечувало незначне підвищення межі міцності при статичному згинанні.

Личкування натуральним шпоном сприяло зниженню водостійкості. Двостороннє личкування фенольною просоченою плівкою, ПЕ плівкою та шаром ВПЕ суттєво знижувало водопоглинання та набрякання за товщиною плит.

Таким чином, проведений аналіз підтвердив, що опоряджувальні матеріали, які зазвичай використовуються для фанери, стружкових і волокнистих плит, можуть успішно застосовуватися для опорядження деревинно-полімерних матеріалів. Отримані результати відкривають нові можливості для розширення сфери використання ДПМ та надають важливу інформацію для подальших досліджень і практичного застосування цих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Borah, J.S.; Kim, D.S. Recent development in thermoplastic/wood composites and nanocomposites: A review. *Korean J. Chem. Eng.* 2016, 33, 3035–3049. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
2. Gardner, D.J.; Han, Y.; Wang, L. Wood–Plastic Composite Technology. *Curr. For. Rep.* 2015, 1, 139–150. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
3. Bledzki, A.K.; Gassan, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Prog. Polym. Sci.* 1999, 24, 221–274. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
4. Malkapuram, R.; Kumar, V.; Negi, Y.S. Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites. *J. Reinf. Plast. Compos.* 2009, 28, 1169–1189. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. Braghiroli, F.L.; Passarini, L. Valorization of biomass residues from forest operations and wood manufacturing presents a wide range of sustainable and innovative possibilities. *Curr. For. Rep.* 2020, 6, 172–183. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
6. Wolcott, M.; Muszynski, L. Materials and wood-based composites. In *Wood Engineering Challenges in the New-Millennium-Critical Research Needs, Proceedings of the Pre-Conference Workshop for ASCE Structures, Vancouver, BC, Canada, 23–24 April 2008*; American Society of Civil Engineers: Reston, VA, USA, 2008. [[Google Scholar](#)]
7. Geeta Pokhrel, Douglas J. Gardner Yousoo Han Properties of Wood–Plastic Composites Manufactured from Two Different Wood Feedstocks: Wood Flour and Wood Pellets *Polymers* 2021, 13(16), 2769; <https://doi.org/10.3390/polym13162769>
8. Wendel, B.; Rietzek, D.; Kuhnlein, F.; Feulner, R.; Hulder, G.; Schmachtenberg, E. Additive processing of polymers. *Macromol. Mater. Eng.* 2008, 293, 799–809. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
9. Gebhardt, A. *Understanding Additive Manufacturing*; Hanser Publications: Munich, Germany, 2011; pp. 1–164. [[Google Scholar](#)]
10. Jiang, K.; Guo, Y.; Bourell, D.L. Study on the microstructure and binding mechanisms of selective laser sintered wood plastic composite. In *Proceedings of the 24th International SFF Symposium—An Additive Manufacturing Conference, Austin, TX, USA, 12–14 August 2013*; pp. 497–504. [[Google Scholar](#)].
11. N. Ayrilmis, J. T. Benthien, H. Thoemen and R. H.White, Properties of flat-pressed wood plastic composites containing fire retardants, *Journal of Applied Polymer Science*, 2011. 122: p.
12. N. Ayrilmis, S. Jarusombuti, Flat-pressed wood plastic composite as an alternative to conventional wood based panels, *Journal of Composite Materials*, 2011. 45: p. 103-112.

13. Ibrahim, M.; Badrishah, N.S.; Sa'ude, N.; Ibrahim, M.I. Sustainable natural bio composite for FDM feedstocks. *Appl. Mech. Mater.* 2014, 607, 65–69. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Lamm, M.E.; Wang, L.; Kishore, V.; Tekinalp, H.; Kunc, V.; Wang, J.; Gardner, D.J.; Ozcan, S. Material extrusion additive manufacturing of wood and lignocellulosic filled composites. *Polymers* 2020, 12, 2115. [Google Scholar] [CrossRef]
15. Wood—Plastic Composite Market Size, Share & Industry Analysis, by Material (Polyethylene, Polypropylene, Polyvinyl Chloride and Others), by Application (Decking, Automotive, Sliding & Fencing, Technical Application, Furniture, Consumer Foods and Others), and Regional Forecast, 2020–2027. Available online: <https://www.fortunebusinessinsights.com/wood-plastic-composite-market-102821> (accessed on 23 September 2020).
16. Global Wood Plastic Composites Market: By Type, Product, Application, Size, Share, Trends, Analysis, Segment and Forecast 2016–2022. Available online: <https://www.zionmarketresearch.com/report/wood-plastic-composites-market> (accessed on 7 February 2017).
17. <https://www.fortunebusinessinsights.com/wood-plastic-composite-market-102821>
18. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wood-plastic-composites-market>
19. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Навчальний посібник. – Київ: ІЗМН, 1998. – 236с.
20. Klyosov A.A. *Wood Plastic Composites*. New Jersey: John Wiley & Sons, Hoboken, 2007, 726 p.
21. Бехта П.А., Лютий П.В. Деревинно-полімерні композити на основі термопластичних полімерів / Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 8. – С. 11-17.
22. Rowell R.M. *Handbook of wood chemistry and wood composites* / R.M. Rowell. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 487 p.
23. Бехта П.А. Вплив різного типу модифікувальних добавок і їх сумішей на властивості деревинно-полімерних плит / П.А. Бехта, П.В. Лютий. // Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 9. – С. 194-199.
24. Schmidt H. Processing and flexural properties of surface reinforced flat pressed WPC panels / H. Schmidt, J.T. Benthien, H. Thoemen // *European Journal of Wood and Wood Products* – Vol. 71, 2013. – P. 591-597.24.

25. K. Bledzki, V. E. Sperber and O. Faruk, Natural and wood fibre reinforcement in polymers, *Rapra Review Reports*, 2002. 13(8) : 158 p.
26. K. Segerholm. Characteristics of wood plastic composites based on modified wood- moisture properties, biological resistance and micromorphology. Doctoral Thesis KTH Building Materials Technology, Stockholm, Sweden 2012.
27. K. Segerholm Wood plastic composites made from modified wood. Licentiate Thesis in Building Materials Technology. Stockholm, Sweden, 2007, 23 p.
28. N. C. Lindfors and J. Salo, A novel nontoxic wood-plastic composite cast, *The Open Medical Devices Journal*, 2012. 4: p. 1-5.
29. Wood plastic composites Study – technologies and UK market opportunities: research report, *The Waste and Resources Action Programme*, 2003. : 101 p.
30. R. E. Ibach and C. M. Clemons, Effect of acetylated wood flour or coupling agent on moisture, UV and biological resistance of extruded woodfiber-plastic composites, *Wood Protection 2006 – Session III*, 2006. : p.139-147.
31. P. S. H'ng, A. N. Lee and H. C. Meng, Physical and bending properties of injection moulded wood plastic composites boards, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2008. 3(5) : p. 13-19.
32. P. S. H'ng, A. N. Lee, C. M. Hang, S. H. Lee, A. Khalina and M. T.Paridah, Biological durability of injection moulded wood plastic composite boards, *Journal of Applied Sciences*, 2010. 11(2) : p. 384-388.
33. N. Ayrilmis, J. T. Benthien, H. Thoemen and R. H.White, Properties of flat-pressed wood plastic composites containing fire retardants, *Journal of Applied Polymer Science*, 2011. 122: p.
34. N. Ayrilmis, S. Jarusombuti, Flat-pressed wood plastic composite as an alternative to conventional wood based panels, *Journal of Composite Materials*, 2011. 45: p. 103-112.
35. N Bekhta P.A., Lyuty P. Effect of wood fillers type and different modifiers on the properties of WPC flat pressing. *Conference Abstracts of 11th*

International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites & Nanotechnology in Wood Composites Symposium, May 16-18, 2011, Madison, Wisconsin, USA. Conference abstracts. P. 62.

36. J. T. Benthien and H. Thoemen, Effects of raw materials and process parameters on the physical and mechanical properties of flat pressed WPC panels, *Composites: Part A*, 2012. p. 570-576.

37. Kargarfard and A. Jahan-Latibari, Application of recycled polyethylene in combination with Urea-Formaldehyde resin to produce water resistant particleboard, *Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology August 27-31, 2012 - Beijing, China*.

38. H. Thoemen, M. Irle and M. Sernek. *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London, 2010, 152 p.

39. J. E. Winandy, N. M. Stark and C. M. Clemons, Considerations in recycling of wood-plastic composites, *5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, 2004. : A6-1–A6-9*.

40. Simonsen, M. Camille, C. M. Freitag, A. Antonio Silva and J. J. Morrell, Wood/plastic ratio: Effect on performance of borate biocides against a brown rot fungus, *Holzforschung*, 2004. 58: p. 205-208.

41. M. Botros, Development of new generation coupling agents for wood-plastic composites, *Intertech Conference: The Global Outlook for Natural and Wood Fiber Composites, 2003. : 17 p*.

42. N. M. Stark, Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites, *Intertech Conference “Functional fillers for thermoplastics & thermosets”*, 1997. : 16 p.

43. V. Radojević, B. Andjelković and R. Aleksić, Investigation of some performance of wood fiber base composite materials, *The Scientific Journal Facta Universitatis: Series Working and Living Environmental Protection*, 2006. 3(1): p. 9-13.

44. J. A. Younquist, Unlikely partners The marriage of wood and nonwood materials, *Forest Products Journal*, 1995. 45(10): p. 25-30.

45. B.H. Liang, L. Mott, S. M. Shaler and G. T. Caneba, Properties of transfer-molded wood-fiber/polystyrene composites, *Wood and Fiber Science*, 1994. 26(3): p. 382-389.
46. E. Saliklis and K. White, Testing, modeling and constructing wood-plastic composite. Catalan vaults, 6th International Conference on Computation of Shell and Spatial Structures IASS-IACM 2008: "Spanning Nano to Mega", 2008. : p. 1-4.
47. Лютий П.В. Закономірності впливу технологічних параметрів на властивості композиційних матеріалів із деревинних відходів і термопластичних полімерів, Львів, 2011. 185 с.
48. Sardashti, Wheat Straw-Clay-Polypropylene Hybrid Composites, Master of Applied Science thesis, University of Waterloo, 2009. : 163 p.
49. Barun Shankar Gupta Development of a coating technology for wood plastic composites, Washington State University, 2006, p. 116.
- 50 V. Norvydas and D. Minelga, Strength and Stiffness Properties of Furniture Panels Covered with Different Coatings, *Materials Science (MEDŽIAGOTYRA)*, 2006. 12(4) : p. 328-332.
- 51 Ryntz R. A.: "Adhesion to Plastics-Molding and Paintability", Global Press, 1998
52. Ayrimis N., Akkus M., Akbulut T. Surface quality of wood plastic composites coated with solvent and water based paints / *International scientific journal "Machines. Technologies. Materials."* Issue 4, P.P. 33-35 (2016)
53. Gupta B.S., Laborie M.P.: "Development of Surface Finishes for Wood Plastic Composites", MS Thesis, 2006.
54. Бехта П.А. Технологія виробництва фанери: Навчальний посібник. – Київ: ІЗМН, 1996. – 280с.
55. Bernard M. Collett A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields / Bernard M. Collett // *Wood Science and Technology*. – 1972. – v.6 – P. 1-42.

56. Rejeb M., Koubaa A., Elleuch F., Godard F., Migneault S., Khlif M., Mrad H. Effects of Coating on the Dimensional Stability of Wood-Polymer Composites Coatings 2021, 11, 711. <https://doi.org/10.3390/coatings11060711>.

57. Патент України на винахід № 101550. Личкований деревинно-полімерний матеріал і спосіб його виготовлення / Бехта П.А., Лютий П.В. – Опубл. 10.04.13. Бюл. № 7.– Львів: РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 14.

58. Патент України на винахід № 102724. Спосіб виготовлення личкованих деревинно-полімерних матеріалів / Бехта П.А., Лютий П.В. – Опубл. 12.08.13. Бюл. № 15.

Д о д а т к и

