

УДК 66.047.75

*Б.Я. Кшивецький^а, Д.П. Кіндзера^б, І.А. Соколовський^а, В.М. Сторожук^а,
О.М. Маєвська^а, Г.В. Сомар^а, А.Р. Кіндзера^а*

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОГЕЗІЙНОЇ І АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ НЕСТРУКТУРОВАНИМИ ТА СТРУКТУРОВАНИМИ ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТНИМИ ПЛІВКАМИ ПРИ СКЛЕЮВАННІ ДЕРЕВИНИ

^а Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

^б Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Методом інфрачервоної спектроскопії показано утворення більшої кількості водневих зв'язків у структурованій полівінілацетатній плівці, ніж у неструктурованій, на підставі чого зроблений висновок про її вищу когезійну міцність. Встановлено, що плівки, які піддавалися вологісним навантаженням (з кількістю сорбованої вологи нижчою за границю набухання клейової плівки), проявлятимуть вищу когезійну міцність у порівнянні з плівками, що не піддавалися вологісним навантаженням, завдяки утворенню більшої кількості водневих зв'язків. На основі отриманих результатів спрогнозовано, що найвищу адгезійну міцність проявлятиме система «структурована плівка після вологісних навантажень/деревний субстрат», що пояснюється зростанням кількості утворених водневих зв'язків між компонентами плівки та целюлозою деревини. Теоретично передбачено, що для забезпечення високої когезійної та адгезійної міцностей полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, насичення вологою повинно бути меншим межі насичення деревного волокна та клейової плівки одночасно.

Ключові слова: полівінілацетатні плівки, водневий зв'язок, інфрачервона спектроскопія, когезійна міцність, адгезійна міцність, клейові з'єднання деревини, клейовий шов.

DOI: 10.32434/0321-4095-2024-154-3-89-97

Вступ

На даний час склеювання, що є одним з ефективних і доволі швидких способів складання деталей та, часто, єдиним способом надійного з'єднання різноманітних матеріалів у складні конструкції та виробу складної форми, розглядається як важлива ланка технологічних процесів виробництва широкого класу продукції машинобудівної, будівельної, приладобудівної, деревообробної, легкої галузей промисловості, радіо- і електротехніки. Очевидним є те, що різноманітність напрямів застосування процесів склеювання визначає різні вимоги до властивостей клеїв. Тому попри наявність достатньо широкого асортименту полімерних клеїв, зокрема,

термореактивних, що являють собою композиції на основі мономерів та реакційно-здатних синтетичних олігомерів (феноло-формальдегідних, фуранових, епоксидних, тощо) [1], та термопластичних, що є композиціями на основі термопластів (полівінілацетату, поліізобутилену та ін.) [2], розробляються еластомерні композиції адгезивного застосування [3].

Асортимент полівінілацетатних дисперсій, які характеризуються здатністю до плівкоутворення, хорошою адгезією до різноманітних поверхонь, високою швидкістю схоплювання та екологічною безпечністю, постійно розширюється на світовому ринку завдяки можливостям регулювання складу композицій для досягнення вищої когезійної

© Б.Я. Кшивецький, Д.П. Кіндзера, І.А. Соколовський, В.М. Сторожук, О.М. Маєвська, Г.В. Сомар, А.Р. Кіндзера, 2024



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Features of the formation of cohesive and adhesive strengths by non-structured and structured polyvinyl acetate films during wood gluing

міцності плівок та адгезійної міцності щодо основи-підкладки, а також для надання їм широкого спектру спеціальних властивостей, що диктуються сучасними потребами споживачів. Модифікації полівінілацетатних дисперсій здійснюють кополімеризацією вінілацетату з більш гідрофобними чи функціональними мономерами, змішуванням з іншими адгезивами або додаванням наповнювачів та затверджувачів [4–7].

На сьогодні для формування клейових з'єднань з деревини широко використовують термопластичні неструктуровані та структуровані полівінілацетатні клеї (дисперсії ПВА на водній основі) [8–10], які також забезпечують належну міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини [11,12], яка характеризується рядом покращених властивостей. Неструктуровані полівінілацетатні клеї – це однокомпонентні клейові композиції, що формують невологостійкі клейові з'єднання деревини і являють собою дисперсії співполімерів вінілацетату з такими мономерами, як етилен, малеїнати тощо. Вказані клеї не потребують додаткової пластифікації, тому знаходять своє застосування.

Зважаючи на зростаючі вимоги щодо клейових композицій, промисловістю розширюється виробництво структурованих полівінілацетатних клеїв, які являють собою одно- чи двокомпонентні клейові композиції, які здатні формувати рідкосітчасту структуру клейового шва.

Однокомпонентні полівінілацетатні структуровані клеї містять у своєму складі лише невеликий відсоток затверджувача, що при їх застосуванні дозволяє дещо підвищити водостійкість клейових з'єднань. Однак, термін зберігання таких клеїв є достатньо коротким. Двокомпонентні полівінілацетатні структуровані клеї складаються з полівінілацетатної дисперсії та затверджувача, які змішуються у певному відсотковому співвідношенні перед використанням. Затверджувачами у таких клеях слугують низькомолекулярні слабко-кислі продукти конденсації резорцину з формальдегідом (співвідношення дисперсія:затверджувач становить 5:1), або водні розчини кислот (співвідношення дисперсія:затверджувач становить 20:1). Наприклад, клеї торгових марок KW-100 та KW-80 (виробництво Німеччини), одержані з полівінілацетатної дисперсії з додаванням до них продуктів конденсації резорцину з формальдегідом, забезпечують стійкість з'єднань деревини до дії киплячої та холодної води, відповідно. Підвищеним попитом серед споживачів користуються клейові композиції фірм-виробників Rakoll, Каскол, Klebchemie (торгова марка

Kleiberit), Jowat (торгова марка «Йоваколь»: Jowaccol 102.20, Jowaccol 102.21 та інші), які спеціалізуються на виробництві двохкомпонентних клейових композицій на основі полівінілацетатної дисперсії, в яких затверджувачами є багатокомпонентні сполуки. Такі клеї забезпечують підвищену водо- і атмосферостійкість клейових з'єднань деревини, що дає змогу їх застосування в умовах підвищеної вологості. Зважаючи на зростання асортименту термопластичних полівінілацетатних клеїв з покращеними властивостями, науковий інтерес викликають дослідження спрямовані на встановлення особливостей структурування клейових плівок, сформованих з полівінілацетатних клейових композицій без додавання та з додаванням затверджувачів, а також механізмів формування адгезійної міцності між субстратом і клейовим швом.

В роботі [13] вказується на кілька послідовних стадій формування клейового шва термопластичних клейових з'єднань деревини на основі полівінілацетатних клейових композицій: утворення міжфазного контакту між клейовою композицією (адгезивом) та деревиною (субстратом); процесу адсорбції макромолекул адгезиву із його об'єму поверхнею деревини; процесу переходу рідкої клейової суміші у в'язко-текучий стан, тобто структуроутворення полімеру, який супроводжується додатковим утворенням адгезійних і когезійних зв'язків; твердіння клейового з'єднання – перехід клею із в'язко-текучого стану у твердий (склоподібний) з утворенням клейової плівки.

Таким чином, початкова міцність клейових з'єднань деревини, за певних умов формування клейового шва, залежить від когезійної міцності, яка забезпечується за рахунок зчеплення між молекулами та атомами самої клейової композиції, та адгезійної міцності, що забезпечується за рахунок міжфазних зв'язків між клейовим швом і поверхнями деревини [1]. Виходячи з вищесказаного, очевидним є те, що висока когезійна міцність у клейовій плівці та міцна адгезія клейової композиції до деревини, що характеризується власною когезійною міцністю, є важливими факторами для формування високоякісних клейових з'єднань деревини.

Встановлено, що механізм формування полівінілацетатних клейових плівок відзначається особливостями, пов'язаними з утворенням водневих зв'язків між компонентами клейової композиції, що забезпечує доволі високу міцність клейових ліній з'єднання [8]. Отже, склад полівінілацетатної клейової композиції, зокрема ско-

регований вмістом затверджувача, впливатиме на формування когезійної міцності клейової плівки, що проявлятиметься можливим утворенням більшої чи меншої кількості водневих зв'язків, для виявлення яких можна застосувати метод інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії [14,15]. Дослідження впливу підвищеної вологості на полівінілацетатні плівки, сформовані із композицій без затверджувачів та з додаванням затверджувачів, є актуальними, оскільки дають змогу прогнозувати когезійну міцність клейової лінії в умовах підвищеної вологості середовища.

Відомо, що процес формування полівінілацетатного клейового шва, супроводжується випаровуванням води або її поглинанням деревиною, а внаслідок проникності компонентів клею в структуру деревини на кілька клітинних шарів формується клейове з'єднання. Існує припущення, що клейовий шов, який утворився між деревиною та клеєм на основі полівінілацетату, повністю не сформований, оскільки має вільні реакційні центри, які здатні утворювати додаткові міжмолекулярні водневі зв'язки за дії вологи. Таким чином, актуальними є дослідження щодо прогнозування адгезійної міцності системи «адгезив/субстрат» та зміни її адгезійної міцності у випадку вологісних навантажень на клейову лінію (плівку). Відомо, що серед основних факторів впливу на термопластичні полівінілацетатні клейові з'єднання деревини під час їх експлуатації є атмосферні опади та вологість навколишнього середовища. Тому, важливим завданням є прогнозування когезійної та адгезійної міцності клейових з'єднань деревини під час їх експлуатації в умовах підвищеної вологості.

Виходячи з окреслених завдань, мета роботи полягає у встановленні особливостей формування клейових плівок, сформованих із полівінілацетатної композиції без додавання та з додаванням затверджувача, в умовах стандартного середовища та підвищеної вологості; прогнозування адгезійної міцності системи «адгезив/субстрат», включаючи варіант дії вологісних навантажень на клейову лінію (плівку); прогнозування когезійної та адгезійної міцності клейових з'єднань деревини під час їх експлуатації в умовах підвищеної вологості середовища.

Методика експерименту

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є полівінілацетатні структуровані та неструктуровані плівки, для формування яких використовували термопластичну полівінілацетатну композицію марки Jowacoll 102.20, характеристики якої наведені у

табл. 1, та затверджувач Jowacoll 195.30, який містить зв'язуючі компоненти для підвищення водостійкості клейової композиції, характеристики якого наведені у табл. 2.

Таблиця 1
Характеристики Jowacoll 102.20

Основа	Полівінілацетат (ПВА)
В'язкість, мПа·с	9,000
Сухий залишок, %	51
Щільність, г/см ³	1,06
Значення рН	5,0
Мінімальна температура утворення клейової плівки, °С	5
Колір клейової плівки	прозорий
Мінімальна температура для деталей, клею та приміщення, °С	15 (не є ідентичною з мінімальною температурою утворення клейової плівки)

Таблиця 2
Характеристики затверджувача Jowacoll 195.30

Основа	Хлорид алюмінію
Сухий залишок, %	45
Щільність, г/см ³	1,25
Значення рН	1

Перед формуванням плівок здійснювали підготовку полівінілацетатних композицій. Для формування неструктурованої клейової плівки, клейову композицію Jowacoll 102.20 перемішували до одержання однорідної маси (досягається ступінь водостійкості D2 по DIN EN 204/205). Для формування структурованої клейової плівки, до клею Jowacoll 102.20 додавали затверджувач Jowacoll 195.30 (співвідношення компонентів для двокомпонентної системи: клей Jowacoll 102.20: затверджувач Jowacoll 195.30=20:1, що відповідає 5% на вагу) та здійснювали перемішування одержаної суміші до однорідної маси. Додавання затверджувача до складу клею дає можливість клейовому з'єднанню забезпечити підвищені властивості ступеня навантажень D4, DIN EN 204/205.

Методики формування клейових плівок, вологісного навантаження та ІЧ-спектрального аналізу

Для формування клейових плівок, підготовлені клейові композиції рівномірними шарами, завтовшки 0,35 мм, наносили на поверхню скла. Клейові плівки витримували протягом 72 год у кімнатних умовах (за вологості 65±5% та температури 20±2°C) до повного формування (ви-

сихання) клейової плівки. Після висихання, із отриманих плівок формували зразки з розмірами $100 \times 20 \times 0,5$ мм. Таким чином було одержано десять структурованих та десять неструктурованих клейових плівок зазначених розмірів.

П'ять структурованих і п'ять неструктурованих клейових плівок піддавалися вологісним навантаженням (до насичення вологою менше границі набухання клейової плівки), для чого останні витримували в ексикаторі в умовах 98–100%-ної вологості середовища і адсорбції парів води впродовж 24 год.

Усі зразки полівінілацетатних клейових плівок (неструктуровані та структуровані до випробувань, а також неструктуровані та структуровані після вологісних навантажень) піддавали ІЧ спектральному аналізу, який здійснювали за допомогою спектрофотометра «Specord-M80» (виробництва Karl Zeiss, Jena, Німеччина) у діапазоні $4000\text{--}400$ cm^{-1} .

Результати та обговорення

Особливості структурування клейових плівок, сформованих із полівінілацетатної композиції без додавання та з додаванням затверджувача, в умовах стандартного середовища та підвищеної вологості

Відомо, що фізико-хімічні та структурні властивості гідрофільних полімерів суттєвим чином залежать від характеру взаємодії окремих функціональних груп цих сполук з молекулами гідратної води. В ячейках просторової полімерної сітки полівінілацетату, з частково гідролізованими складноєфірними групами, який слугує основним компонентом клейових композитів, при гідратації виникає особлива для кожного конкретного випадку сітка гідратних структур, які впливатимуть на міцність виробів при їх експлуатації в динамічних і статичних силових полях.

Відомо, що наявність гідроксильної групи в молекулі органічної сполуки приводить до появи смуг поглинання, викликаних коливаннями атомів у зв'язках O–H та C–O. Найбільш характерні смуги з'являються в інтервалі $3600\text{--}3000$ cm^{-1} (валентні коливання O–H групи) та в інтервалі $1400\text{--}1000$ cm^{-1} (коливання, зв'язані з групою C–O–H). Атом водню, який входить до складу гідроксильної групи, має здатність утворювати водневі зв'язки, як з киснем сусідньої гідроксильної групи, так і з іншими функціональними групами – донорами електронів. Утворення водневого зв'язку впливає на положення і форму смуг валентних коливань O–H.

На рис. 1 наведені ІЧ-спектри структурова-

ної та неструктурованої полівінілацетатних плівок до вологісних випробувань, а на рис. 2 – ІЧ-спектри структурованої та неструктурованої полівінілацетатних плівок після вологісних навантажень, які дають змогу пояснити механізм формування когезійної міцності у вказаних плівках.

З рис. 1 видно, що водневі зв'язки є присутніми на спектрах як неструктурованої, так і структурованої плівок. Для структурованої плівки (спектр В), смуга поглинання групи O–H спостерігається в діапазоні $3600\text{--}3120$ cm^{-1} , проявляються невеликі піки при 3620 cm^{-1} і плече при 3520 cm^{-1} , які характерні для залишків незв'язаних O–H груп у макромолекулах гідролізованого ПВА. Зміна характеру спектрів і поява інтенсивних смуг поглинання в більш довгохвильовій ділянці при 3450 і 3650 cm^{-1} є наслідком утворення димерів і поліасоціатів за участю молекул води, яка входить до складу клею.

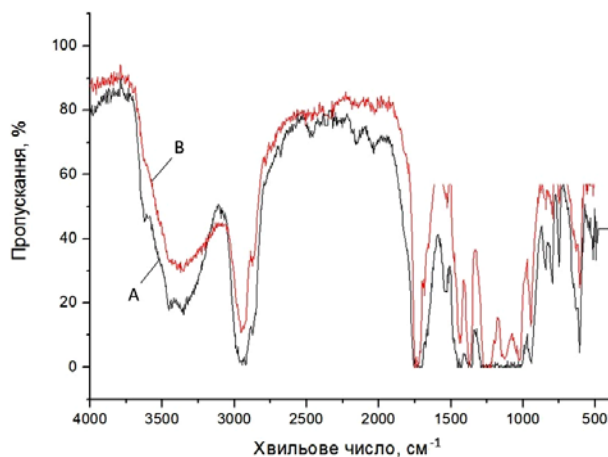


Рис. 1. ІЧ-спектри полівінілацетатних плівок до вологісних навантажень: А – спектр неструктурованої плівки; В – спектр структурованої плівки

Для неструктурованої плівки після вологісних навантажень (рис. 2, спектр А), участь гідроксильної групи, яка входить до складу макромолекул гідролізованого ПВА, в утворенні міжмолекулярних водневих зв'язків проявляється в значному збільшенні інтенсивності смуг поглинання в діапазоні $3600\text{--}3120$ cm^{-1} у порівнянні з неструктурованою плівкою, яка не піддавалася вологісним випробуванням (рис. 1, спектр А).

Утворення великої кількості асоційованих водневих зв'язків особливо яскраво проявляється для структурованої плівки після вологісних навантажень (рис. 2, спектр В). На спектрі спостерігається зміщення смуг поглинання зв'язаних O–H груп у бік менших частот (при зсуві почат-

кової границі смуги поглинання від 3620 до 3420 cm^{-1} можна відмітити повне зникнення піків 3620, 3520 cm^{-1} поглинання неасоційованої О–Н групи), одночасно за рахунок утворення міжмолекулярних водневих зв'язків в межах 3000–2500 cm^{-1} з'являється група смуг, що перекриваються між собою.

В спектрах усіх досліджуваних зразків, наданих на рис. 1 і 2, присутніми є карбонільні смуги поглинання, з максимумами в межах 1740–1750 cm^{-1} та широкі складнофірні групи С–О–С в діапазоні 1300–1050 cm^{-1} .

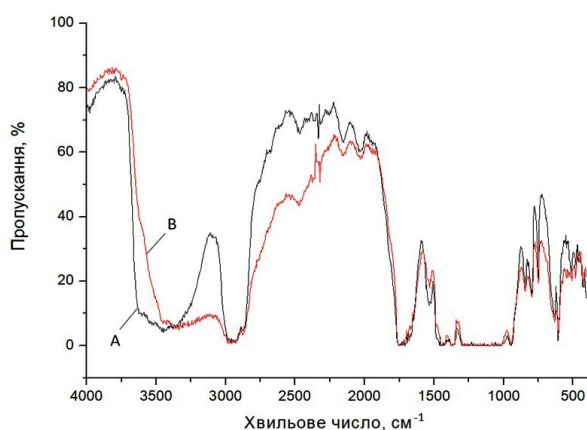


Рис. 2. ІЧ-спектри полівінілацетатних плівок після вологісних навантажень: А – спектр неструктурованої плівки; В – спектр структурованої плівки

Отже, для структурованих і неструктурованих полівінілацетатних плівок, основними компонентами яких є полівінілацетат (ПВА) і полівініловий спирт (ПВС), і які містять сильно полярні групи (С(О)СН₃, –ОН), когезійна міцність буде забезпечуватися як всіма видами міжмолекулярної взаємодії між макромолекулами полівінілацетату та полівінілового спирту, так і

утворенням між ними водневих зв'язків. Утворення можливих водневих зв'язків між полівінілацетатом (ПВА) та полівініловим спиртом (ПВС), як компонентами клейової композиції, показано на рис. 3.

Кількість як міжмолекулярних, так і водневих зв'язків між макромолекулами клейової композиції і, відповідно, енергія когезії будуть залежати від ступеня упорядкованості між макромолекулами у ній. Отже, структурована плівка (рис. 1, спектр В) має вищу когезійну міцність, завдяки утворенню більшої кількості водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної клейової композиції у процесі формування, ніж неструктурована (рис. 1, спектр А).

Плівки, які піддавалися вологісним навантаженням (з кількістю сорбованої вологи нижчою за границю набухання клейової плівки), завдяки утворенню більшої кількості водневих зв'язків (рис. 2), проявлятимуть більшу когезійну міцність, у порівнянні з плівками, що не піддавалися вологісним навантаженням (рис. 1).

Прогнозування адгезійної міцності системи «адгезив/субстрат»

Враховуючи те, що як компоненти полівінілацетатної клейової композиції, так і деревини і містять полярні групи, (у тому числі групи –ОН), то між ними, поряд з силами міжмолекулярних зв'язків, можуть виникати водневі зв'язки, які значною мірою будуть зумовлювати механізм формування адгезійної міцності. Утворення можливих водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної композиції та целюлозою деревини показано на рис. 4.

Отже, утворення додаткових водневих зв'язків між компонентами клейової композиції і целюлозою деревини у процесі формування клейового шва приводить до зростання адгезійної

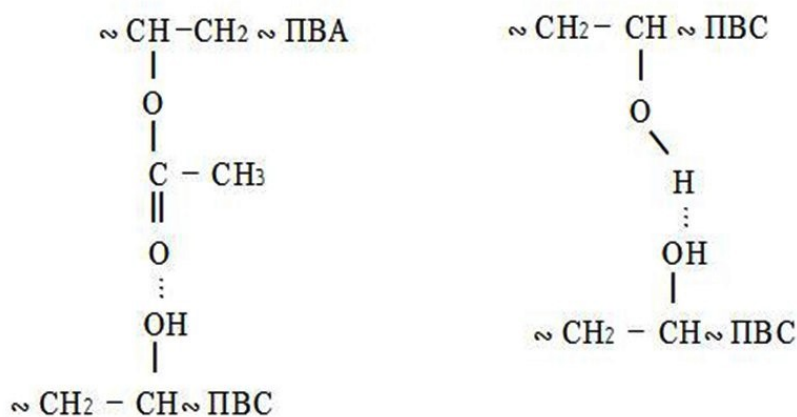


Рис. 3. Приклади водневих зв'язків, що можуть утворювати компоненти полівінілацетатної клейової композиції між собою

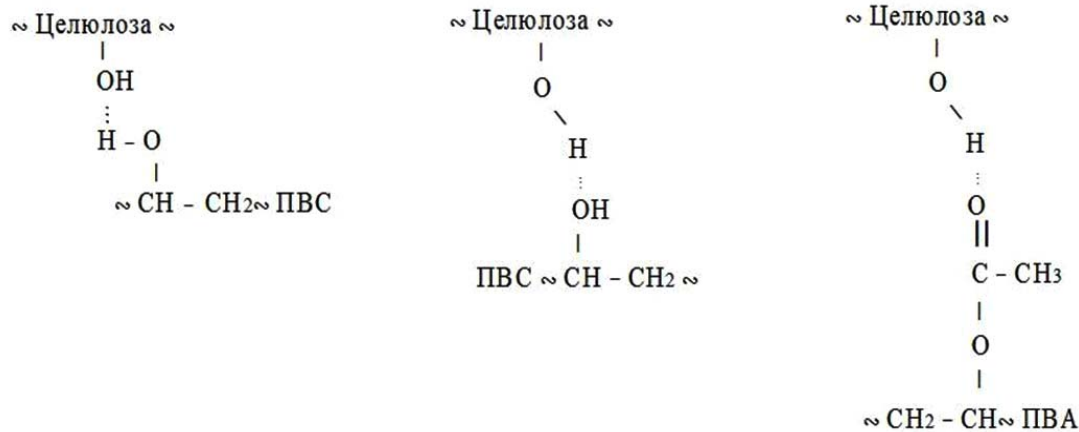


Рис. 4. Утворення можливих водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної композиції та деревини

міцності, що позитивним чином впливає на міцність і довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини. Слід зазначити, що внаслідок того, що макромолекули ПВА і ПВС розташовані одна відносно одної, переважно, невпорядковано (утворюють аморфну фазу), то не всі їх функціональні групи здатні утворювати водневі зв'язки як між собою, так і з компонентами деревини, оскільки знаходяться задалеко одна від одної. Кількість утворених зв'язків залежатиме від ступеня впорядкованості і часу релаксації макромолекул ПВА і ПВС.

Очевидно, що кількість утворених водневих зв'язків між системою «адгезив/субстрат» збільшуватиметься у разі дії вологісних навантажень на плівку (до границі її набухання). Таким чином, найвищу адгезійну міцність проявлятиме система «структурована плівка після вологісних навантажень/деревинний субстрат», що пояснюється збільшенням кількості утворення водневих зв'язків між компонентами плівки та целюлозою деревини.

Прогнозування когезійної та адгезійної міцності клейових з'єднань деревини при експлуатації в умовах підвищеної вологості середища

Зважаючи на те, що клейова плівка та сам клейовий шов з'єднання деревини під час його експлуатації є «захищеними від прямої дії вологи» деревиною, то волога буде потрапляти всередину клейового з'єднання завдяки високим сорбційним та гігроскопічним властивостям деревини. Границя гігроскопічності є функцією температури, для різних порід деревини вона лежить в межах 25–35%, що обумовлено вмістом їх основних складових. Групи $-\text{OH}$, які знаходяться на поверхні мікро- і макрофібрил целюлози, як основного компоненту деревини, є здатними

утворювати водневі зв'язки з молекулами води, утворюючи на своїй поверхні молекулярний шар води. Унаслідок взаємодії води з деревиною, її структура і властивості (густина, в'язкість, питома теплоємність, температура кристалізації, розчинна здатність тощо) змінюються відповідно до структур і властивостей поверхні деревини.

За наявності незначного вмісту води в клейовому шві, кількість водневих зв'язків повинна зростати, оскільки додаткові водневі зв'язки можуть утворюватись і між естерними групами ПВА через молекули води (рис. 5,а), а також між групами $-\text{OH}$ ПВС (рис. 5,б), групами $-\text{OH}$ ПВС і естерними групами ПВА (рис. 5,в), які віддаленні одна від одної, а також між групами $-\text{OH}$ компонентів деревини (наприклад целюлози) і естерними групами ПВА (рис. 5,г), або групами $-\text{OH}$ ПВС (рис. 5,д).

Таким чином, за наявності певного вмісту води у клейовому шві, повинна зростати кількість водневих зв'язків між компонентами клейової плівки (що було підтверджено методом ІЧ-спектроскопії рис. 1 і 2), а також клейовим швом та деревиною і, відповідно, – зростати когезійна і адгезійна міцності. Однак, для забезпечення міцних з'єднань, вміст вологи повинно бути меншим межі насичення деревного волокна та клейової плівки одночасно.

У разі сорбції деревинним волокном вологи у кількості близькій чи рівній границі гігроскопічності або межі насичення, буде відбуватися набрякання деревини, полімеру та цілого клейового шва, що призводить до збільшення віддалі між макромолекулами у самій клейовій плівці, клейову шві, між клейовим швом і деревиною, відбувається збільшення лінійних розмірів та зростання внутрішніх напружень як у деревині, так і в клейовому шві, що сприяє послаб-

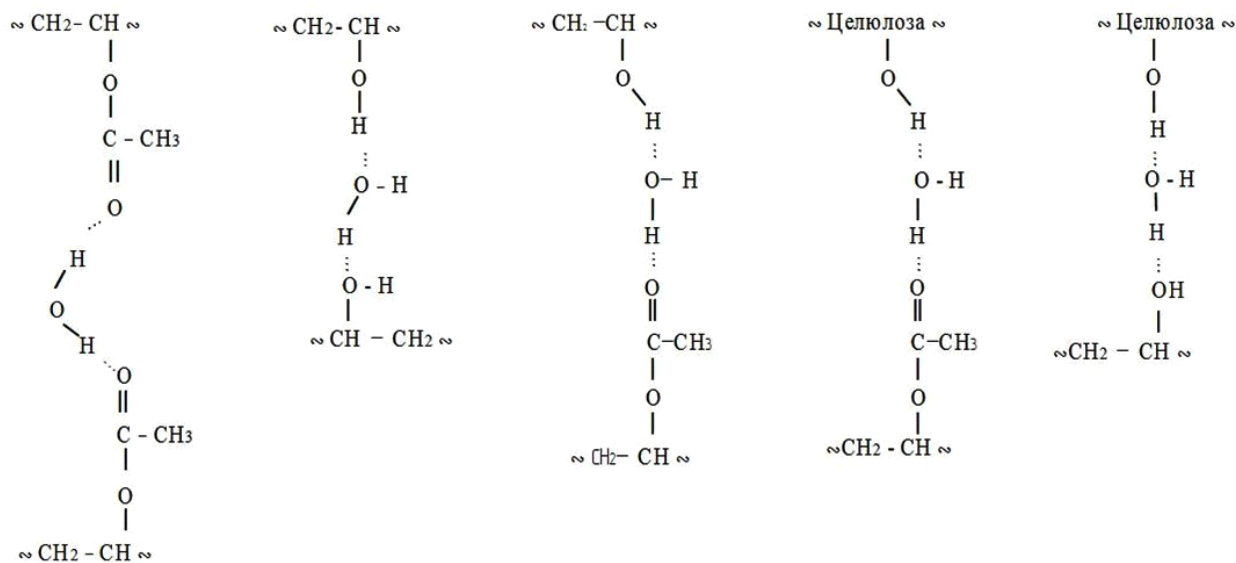


Рис. 5. Утворення додаткових водневих зв'язків між компонентами ПВА у клейовому шві (а, б, в) та клейовим швом і деревиною (г, д) через молекули води

ленню і розриву міжмолекулярних зв'язків між компонентами клейового шва та клейовим швом і деревиною. Внаслідок перебігу цих процесів зменшуються сили когезії і адгезії, збільшується гнучкість макромолекул клейового шва і зменшується час їх релаксації, що в кінцевому результаті призводить до руйнування клейового з'єднання.

Висновки

Методом ІЧ-спектрального аналізу для структурованих і неструктурованих полівінілацетатних плівок підтверджено утворення водневих зв'язків, які, разом із всіма видами міжмолекулярної взаємодії між макромолекулами полівінілацетату та полівінілового спирту, забезпечують формування когезійної міцності.

Вища когезійна міцність структурованої плівки пояснюється утворенням більшої кількості водневих зв'язків між компонентами полівінілацетатної клейової композиції у процесі формування, ніж для неструктурованої.

Плівки, які піддавалися вологісним навантаженням (з кількістю сорбованої вологи нижчою за границю набухання клейової плівки), завдяки утворенню більшої кількості водневих зв'язків, проявлятимуть більшу когезійну міцність, у порівнянні з плівками, що не піддавалися вологісним навантаженням.

Встановлено, що утворення водневих зв'язків між компонентами клейової композиції і деревиною у процесі формування клейового шва приводить до зростання адгезійної міцності. На основі

отриманих результатів спрогнозовано, що найвищу адгезійну міцність проявлятиме система «структурована плівка після вологісних навантажень/деревний субстрат», з кількістю сорбованої вологи нижчою за границю гігроскопічності або межу насичення для деревини та границю набухання для клейової плівки, що пояснюється збільшенням кількості утворення водневих зв'язків між компонентами плівки та целюлозою деревини.

Теоретично передбачено, що для забезпечення високої когезійної та адгезійної міцностей полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, насичення вологою повинно бути меншим межі насичення деревного волокна та клейової плівки одночасно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Properties of epoxy-thiokol materials based on the products of the preliminary reaction of thioetherification* / Sukhyy K.M., Belyanovskaya E.A., Nosova A.N., Sukhyy M.K., Kryshen V.P., Huang Y., Kocherhin Yu., Hryhorenko T. // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2021. – No. 3. – P.128-136.
2. *Кишвецький Б.Я., Кіндзера А.Р.* Встановлення розподілу нормальних і тангентальних напружень у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини // *Наук. вісн. НЛТУ України*. – 2022. – Т.32. – № 6. – С.71-77.
3. *Sukhyy K.M., Belyanovskaya E.A.* Polymer-inorganic

nanostuctured composites based on amorphous silica, layered silicates, and polyionenes. – San Francisco: IGI Global, 2023. – 303 p.

4. *Gadhve R.* Comparative study of effect of addition of calcium carbonate and clay on the performance properties of polyvinyl acetate wood glue // *Open J. Polym. Chem.* – 2023. – Vol.13. – P.1-13.

5. *Preparation* and properties of a starch-based wood adhesive with high bonding strength and water resistance / Zhang Y., Ding L., Gu J., Tan H., Zhu L. // *Carbohydr. Polym.* – 2015. – Vol.115. – P.32-37.

6. *Shaffei K.A., Moustafa A.B., Hamed A.I.* The emulsion polymerization of each of vinyl acetate and butyl acrylate monomers using bis(2-ethylhexyl) maleate for improving the physicomechanical properties of paints and adhesive films // *Int. J. Polym. Sci.* – 2009. – Vol.2009. – Art. No. 731971.

7. *Gadhve R., Dhawale P.* State of research and trends in the development of polyvinyl acetate-based wood adhesive // *Open J. Polym. Chem.* – 2022. – Vol.12. – P.13-42.

8. *Kim S., Kim H.-J.* Thermal stability and viscoelastic properties of MF/PVAc hybrid resins on the adhesion for engineered flooring in underheating system // *Thermochim. Acta.* – 2006. – Vol.444. – P.134-140.

9. *Chiozza F., Pizzo B.* Innovation in poly(vinyl acetate) water resistant D3 glues used in wood industry // *Int. J. Adhes. Adhes.* – 2016. – Vol.70. – P.102-109.

10. *Prediction* of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives / Kshyvetsky B., Kindzera D., Sokolovskyy Y., Somar H., Sokolovskyy I. // *Chem. Chem. Technol.* – 2023. – Vol.17. – No.1. – P.110-117.

11. *Datskiv H., Kshyvetsky B.* Results of experimental studies on the strength of adhesive-bonded joints of thermally modified ash wood // *Ukr. J. For. Wood Sci.* – 2023. – Vol.14. – No. 1. – P.27-38.

12. *Kshyvetsky B.Y., Datskiv H.M.* Strength of adhesive joints of thermally modified ash wood glued with polyvinyl acetate-based adhesives // *Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements.* – 2023. – Vol.66. – No. 211. – P.1-10.

13. *Кишівецький Б.Я.* Механізм формування термопластичних клейових з'єднань деревини // *Наук. вісн. НЛТУ України.* – 2012. – Вип. 22.12. – С.117-122.

14. *Analytical* characterization of artist's paint systems based on emulsion polymers and synthetic organic pigments / Fardi T., Pintus V., Kampasakali E., Pavlidou E., Schreiner M., Kyriacou G. // *J. Anal. Appl. Pyrol.* – 2018. – Vol.135. – P.231-241.

15. *Franca De Sa S., Viana C., Ferreira J.L.* Tracing poly(vinyl acetate) emulsions by infrared and Raman spectroscopies: identification of spectral markers // *Polymers.* – 2021. – Vol.13. – Art. No. 3609.

FEATURES OF THE FORMATION OF COHESIVE AND ADHESIVE STRENGTHS BY NON-STRUCTURED AND STRUCTURED POLYVINYL ACETATE FILMS DURING WOOD GLUING

B.Ya. Kshyvetskyy^a, D.P. Kindzera^{b,}, I.A. Sokolovskyy^a, V.M. Storozhuk^a, O.M. Mayevska^a, H.V. Somar^a, A.R. Kindzera^a*

^a Lviv Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

^b Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

* e-mail: Kindzera74@ukr.net

The formation of a higher number of hydrogen bonds in the structured polyvinyl acetate film compared to the unstructured one was established by means of infrared spectroscopy method. It was concluded that the structured polyvinyl acetate film has a higher cohesive strength than unstructured. It was revealed that the films subjected to moisture loads (with the amount of sorbed moisture lower than the swelling limit of the adhesive film) would show greater cohesive strength compared to the films which were not subjected to moisture loads due to the formation of a higher number of hydrogen bonds. Based on the obtained results, it was predicted that the system «structured film after moisture loads/wood substrate» would exhibit the highest adhesive strength, explained by an increase in the number of hydrogen bonds between the film components and the wood cellulose. It was theoretically predicted that in order to provide high cohesive and adhesive strengths of polyvinyl acetate adhesive joints of wood ensuring, moisture saturation should be lower than the saturation limit of the wood fiber and the adhesive film simultaneously.

Keywords: polyvinyl acetate film; hydrogen bond; infrared spectroscopy; cohesive strength; adhesive strength; wood adhesive joint; adhesive seam.

REFERENCES

1. Sukhyy KM, Belyanovskaya EA, Nosova AN, Sukhyy MK, Kryshen VP, Huang Y, et al. Properties of epoxy-thiokol materials based on the products of the preliminary reaction of thioetherification. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2021; (3): 128-136. doi: 10.32434/0321-4095-2021-136-3-128-136.

2. Kshyvetsky BY, Kindzera AR. Vstanovlennya rozpodilu normal'nykh i tanhental'nykh napruzhen' u termoplastychnykh polivinilatsetatnykh kleyovykh z'yednannyakh derevyny [Establishing the distribution of normal and tangential stresses in thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wooden joints]. *Sci Bull UNFU*. 2022; 32(6): 71-77. (*in Ukrainian*). doi: 10.36930/40320611.

3. Sukhyy KM, Belyanovskaya EA. *Polymer-inorganic nanostructured composites based on amorphous silica, layered silicates, and polyionenes*. San Francisco: IGI Global; 2023. 304 p. doi: 10.4018/978-1-7998-9728-6.

4. Gadhve R. Comparative study of effect of addition of calcium carbonate and clay on the performance properties of polyvinyl acetate wood glue. *Open J Polym Chem*. 2023; 13: 1-13. doi: 10.4236/ojpcchem.2023.131001.

5. Zhang Y, Ding L, Gu J, Tan H, Zhu L. Preparation and properties of a starch-based wood adhesive with high bonding strength and water resistance. *Carbohydr Polym*. 2015; 115: 32-37. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.063.

Received 15.12.2023

6. Shaffei KA, Moustafa AB, Hamed AI. The emulsion polymerization of each of vinyl acetate and butyl acrylate monomers using bis(2-ethylhexyl) maleate for improving the physicochemical properties of paints and adhesive films. *Int J Polym Sci.* 2009; 2009: 731971. doi: 10.1155/2009/731971.

7. Gadhave R, Dhawale P. State of research and trends in the development of polyvinyl acetate-based wood adhesive. *Open J Polym Chem.* 2022; 12: 13-42. doi: 10.4236/ojpcem.2022.121002.

8. Kim S, Kim HJ. Thermal stability and viscoelastic properties of MF/PVAc hybrid resins on the adhesion for engineered flooring in under heating system; ONDOL. *Thermochim Acta.* 2006; 444: 134-140. doi: 10.1016/j.tca.2006.03.009.

9. Chiozza F, Pizzo B. Innovation in poly(vinyl acetate) water resistant D3 glues used in wood industry. *Int J Adhes Adhes.* 2016; 70: 102-109. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2016.06.003.

10. Kshyvetsky B, Kindzera D, Sokolovskyy Y, Somar H, Sokolovskyi I. Prediction of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. *Chem Chem Technol.* 2023; 17(1): 110-117. doi: 10.23939/chcht17.01.110.

11. Datskiv H, Kshyvetsky B. Results of experimental studies on the strength of adhesive-bonded joints of thermally modified ash wood. *Ukr J For Wood Sci.* 2023; 14(1): 27-38. doi: 10.31548/forest/1.2023.27.

12. Kshyvetsky BY, Datskiv HM. Strength of adhesive joints of thermally modified ash wood glued with polyvinyl acetate-based adhesives. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia, Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements.* 2023; 66(211): 1-10. doi: 10.12841/wood.1644-3985.426.03

13. Kshyvetsky BYa. Mekhanizm formuvannya termoplastychnykh kleyovykh z'yednan' derevyny [Mechanism of formation of thermoplastic adhesive joints of wood]. *Naukovyy Visnyk NLTU Ukrayiny.* 2012; 22(12): 117-122. (in Ukrainian).

14. Fardi T, Pintus V, Kampasakali E, Pavlidou E, Schreiner M, Kyriacou G. Analytical characterization of artist's paint systems based on emulsion polymers and synthetic organic pigments. *J Anal Appl Pyrol.* 2018; 135: 231-241. doi: 10.1016/j.jaap.2018.09.001.

15. Franca De Sa S, Viana C, Ferreira JL. Tracing poly(vinyl acetate) emulsions by infrared and Raman spectroscopies: identification of spectral markers. *Polymers.* 2021; 13: 3609. doi: 10.3390/polym13213609.