



С. М. Валько, Б. Я. Кшивецький

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ У ДЕРЕВ'ЯНИХ КЛЕЄНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Проаналізовано літературні джерела стосовно дерев'яних клеєних конструкцій. Встановлено, що для склеювання деревини у клеєних конструкціях, найпоширенішими є термопластичні полівінілацетатні клеї із класом довговічності D3-D4, які здатні забезпечувати міцне та еластичне клейове з'єднання з підвищеною водо- та вологостійкістю. Для дослідження міцності клейових з'єднань деревини використовували одношаровий меблевий щит. З'ясовано, що для склеювання бездефектних відрізків деревини у ламелі та ламелі у меблевий щит використовують два типи з'єднання: зубчастий мінішип та гладку фугу. Досліджено міцність клейових з'єднань деревини на зубчастий мінішип під час склеювання за довжиною та на гладку фугу – за шириною. Визначення міцності у клейових з'єднань здійснювали руйнуванням клеєних зразків методом статичного згину для з'єднань на зубчастий мінішип, та методом поздовжнього розтягування на зсув – на гладку фугу. Встановлено, що міцність клейових з'єднань соснової деревини, клеєної полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 на зубчастий мінішип, становить 50,3 МПа. Це на 41 % менше за міцність соснової деревини під час статичного згину. З'ясовано, що така зміна міцності клейового з'єднання може негативно впливати на пружно-деформаційні процеси у меблевому щиті під час його зберігання й експлуатації та визначається будовою і структурою торця деревини, яка спричиняє значне поглинання клейового матеріалу, оскільки деревина у поперечному розрізі має більшу адсорбційну здатність, ніж в інших розрізах. Досліджено міцність зразків клейових з'єднань соснової деревини на гладку фугу у меблевому щиті. Встановлено, що міцність клейового з'єднання становила 7,44 МПа. Це дає підстави вважати, що міцність клейового з'єднання на гладку фугу у меблевому щиті відповідає вимогам міцності соснової деревини, оскільки вона, за поздовжнього розтягування на зсув, становить 7,5 МПа. Встановлено, що руйнування клейового з'єднання відбувається як по деревині, так і по клейовому шву. Наведено розподіл нормальних напружень у клейовому з'єднанні соснової деревини. З'ясовано, що отримані дані добре узгоджуються із результатами міцності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях і свідчать про їх можливий вплив на пружно-деформаційні процеси під час зберігання та експлуатації меблевого щита, що потребує додаткового встановлення.

Ключові слова: склеювання; клеї; деревина; деревинні конструкції; міцність; довговічність.

Вступ / Introduction

Дерев'яні клеєні конструкції широко використовують для виготовлення будинків, столярно-будівельних та меблевих виробів, покриття на підлогу тощо. Під час експлуатації вони повинні забезпечувати належну міцність, довговічність, формостійкість тощо. Важливу роль серед цих показників приділяють міцності, яка буде визначати якість готової продукції та впливати на пружно-деформаційні процеси під час експлуатації. Для склеювання деревини, під час виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій, використовують асортимент клеїв, які поділяють на термоактивні та термопластичні. Ці клейові матеріали будуть формувати з'єднання деревини із різними фізико-механічними властивостями. Термоактивні клейові матеріали формують сітчасту структуру клейового шва, який є крихким та екологічно небезпечним. Водночас такі клейові з'єднання можуть експлуатуватися за атмосферних умов та витримувати фі-

зичні навантаження різної складності. Термопластичні клеї формують міцні та еластичні клейові з'єднання, які є екологічно безпечними, але, водночас, вони не забезпечують високої водо- та вологостійкості. Такі клейові матеріали можуть експлуатуватися всередині приміщень, або ззовні із незначним впливом вологості.

Дослідження міцності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях є складним та актуальним завданням, проте на сьогодні немає єдиного погляду стосовно механізму формування та руйнування таких з'єднань деревини, механізму зменшення міцності клейових з'єднань під час експлуатації, механізму їх руйнування під час впливу природних факторів і фізичних навантажень тощо. Не вирішено питання і прогнозування міцності та довговічності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях.

Фізико-хімічні та фізико-механічні процеси формування міцності у дерев'яних клеєних конструкціях на основі термореактивних клейових матеріалів встанов-

Інформація про авторів:

Валько Сергій Миколайович, аспірант, кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Email: valko.serhii@nltu.lviv.ua; <https://orcid.org/0009-0007-5854-7710>

Кшивецький Богдан Ярославович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Email: bogdan.kshivetskyi@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-0315-3702>

Цитування за ДСТУ: Валько С. М., Кшивецький Б. Я. Дослідження міцності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 4. С. 93–100.

Citation APA: Valko, S. M., & Kshyvetskyi, B. Ya. (2025). Research on the strength of adhesive joints in wooden adhesive structures. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 93–100. <https://doi.org/10.36930/40350411>

лено більше, порівняно із термопластичними. Для термопластичних клейових з'єднань деревини такі процеси досліджено частково. На особливу увагу заслуговують термопластичні полівінілацетатні клеї та з'єднання на їх основі із класом довговічності D3-D4, відповідно до стандарту DIN-204, які сьогодні широко використовують для виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій.

Тому дослідження закономірностей формування та зміни міцності у дерев'яних конструкціях, клеєних термопластичними полівінілацетатними клеями, є актуальними.

Об'єкт дослідження – дослідження міцності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях залежно від типу з'єднань деревини.

Предмет дослідження – методика визначення міцності клейових з'єднань у дерев'яних конструкціях, на підставі якої можна встановити закономірності її зміни залежно від технологічних параметрів склеювання та умов експлуатації.

Мета роботи – дослідити міцність термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань, які використовують для склеювання соснової деревини під час виготовлення меблевого щита та проаналізувати її вплив на довговічність.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- дослідити міцність клейових з'єднань соснової деревини, що склеєна на зубчастий мінішип, під час формування ламелей для меблевого щита, термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, що дасть змогу оцінити основні показники міцності та її вплив на довговічність;
- дослідити міцність клейових з'єднань соснової деревини, що склеєна на гладку фугу, для виготовлення меблевого щита термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, що дає змогу оцінити основні показники міцності та її довговічності;
- проаналізувати міцність та розподіл напружень у клейових з'єднань соснової деревини, що склеєна полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, що дасть змогу виявити закономірності її зміни у дерев'яних клеєних конструкціях залежно від методу їх склеювання та умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дерев'яні клеєні конструкції широко використовують для виготовлення різноманітних виробів. Вони мають різноманітне функціональне призначення, починаючи від естетичного наповнення інтер'єру приміщень до будівельних конструкцій, які витримують значні фізичні навантаження або експлуатуються у змінному температуро-вологісному чи агресивному середовищах та здатні замінити багато інших конструкційних матеріалів, надавши їм відповідних технологічних, експлуатаційних, економічних та екологічних властивостей. Світове виробництво дерев'яних клеєних конструкцій становить близько п'яти млн м³/рік. Найчастіше дерев'яні клеєні конструкції використовують у країнах Європи. За структурою їх конструкції поділяють на одно- та багатошарові. Одношарові дерев'яні конструкції виготовляють із бездефектних дерев'яних брусків певних розмірів без вад, які склеюють у розмір за довжиною на зубчастий мінішип у ламелі, або цільної деревини, яку склеюють за шириною на гладку фугу у меблевий щит. Багатошарові дерев'яні конструкції, виготовлені із ламелей або цільної деревини, у вигляді листового матеріалу (щита),

склеюють по пласті у меблевий щит або у клеєний брус [6, 13, 14].

Меблевий щит може бути як одно-, так і багатошаровою дерев'яною конструкцією. Одношаровий меблевий щит виготовляють із ламелей або брусків із масивної деревини, які склеєні по крайці у щит. Багатошаровий меблевий щит виготовляють із шарів деревини, які склеюють за товщиною. Для виготовлення клеєного бруса використовують різні породи деревини, способи її з'єднання, асортимент клейових матеріалів тощо. У клеєному брусі може бути поєднання як листяних, так і хвойних порід деревини, а іноді модифікованої деревини, або матеріалів недеревинного походження. Все це дає змогу забезпечити дерев'яним клеєним конструкціям належні експлуатаційні властивості відповідно до їх функціонального призначення [13, 14, 17, 26, 30, 32].

Автори роботи [13, 32] дослідили формостійкість меблевого щита залежно від впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок деревини бука. Розроблено математичні моделі прогнозування формостійкості меблевого щита з урахуванням пропорційності розмірів бездефектних заготовок.

У роботах [23, 24] досліджено формостійкість тришарової паркетної дошки, що склеєна термопластичним полівінілацетатним клеєм, залежно від режимних параметрів склеювання. Побудовано математичну модель для прогнозування формостійкості паркетної дошки. Автори дослідження встановили, що тришарова паркетна дошка склеєна термопластичним полівінілацетатним клеєм, за дії вологи та температури зменшує формостійкість на 18 %.

Автори робіт [2, 3, 4, 16], які вивчали міцність багатошарових дерев'яних клеєних конструкцій, дослідили вплив зовнішніх факторів на міцність та довговічність клейових з'єднань дерев'яних конструкцій, що склеєні із масивної соснової деревини та термічно-модифікованої деревини породи ясеня. Побудовано математичну модель прогнозування міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня із деревиною сосни немодифікованої.

Автори роботи [19] дослідили міцність фанери, склеєної термопластичними клеями, а в роботах [9, 10] наведено характеристики щитових конструкцій із вживаної деревини.

Для склеювання деревини під час виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій використовують термореактивні або термопластичні клеї. Термореактивні клеї формують сітчасту структуру клейового з'єднання, яка надає конструкції належної водо-, волого-, морозо- і теплостійкості. Недоліками таких клеїв є токсичність і крихкість клейового з'єднання. Використовують термореактивні клеї для склеювання дерев'яних клеєних конструкцій, які експлуатують ззовні або несуть фізичні навантаження. Ці клеї бувають холодного та гарячого затвердіння [13].

Термопластичні клеї формують рідкосітчасту структуру клейового шва, що надає еластичності клейовому з'єднанню. Окрім цього, такі клеї не є токсичними та мають добру адгезію до деревини. Основним їх недоліком є низька водо-, волого- і теплостійкість клейового шва. До них відносять полівінілацетатні, поліізобутиленові та інші клеї. Експлуатуються клейові з'єднання на основі таких клеїв усередині приміщень, або ззовні із незначними знакозмінними температуро-вологісними

навантаженнями. Ці клеї бувають холодного та гарячого затвердіння. Для виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій понад 90 % використовують термопластичні полівінілацетатні клеї із класом довговічності D3 або D4, які мають добру адгезію до деревини, формують еластичний та нетоксичний клейовий шов і надають клейовим з'єднанням підвищеної водо- та вологостійкості [1, 12, 13, 14].

Щодо адгезійної і когезійної міцності з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях, то вона повинна бути забезпечена на рівні когезійної міцності деревини, яку склеюють, і залежати від характеристики клею, механізму формування клейового з'єднання, режимних параметрів склеювання тощо. Окрім цього, потрібно враховувати напрямок склеювання деревини – в торець, по крайці чи пласті [14, 21, 22].

Під час виготовлення одношарового меблевого щита деревину склеюють у торець та крайці. Тому міцність такого меблевого щита буде залежати від міцності клейового з'єднання в торець на зубчастий мінішип та крайкою на гладку фугу. Визначення міцності буде відбуватися за різними методиками і вона буде різнитися числовим значенням. Сукупно такі з'єднання будуть формувати міцність меблевого щита та визначати його довговічність [14, 22, 23].

Міцність клейових з'єднань деревини в торець буде визначатися за методикою міцності клейового з'єднання на статичний згин, а міцність клейового з'єднання за крайкою та пластю – за методикою міцності клейового з'єднання поздовжнім розтягуванням на зсув [29, 30].

Унаслідок аналізу останніх досліджень та публікацій встановлено, що поєднання різних типів клейових з'єднань в одній дерев'яній конструкції вимагає використання відповідних підходів та методик щодо дослідження їх міцності. Важливе значення для таких конструкцій матимуть пружно-деформаційні процеси під час їх зберігання та експлуатації, які будуть залежати від характеристики сформованого клейового з'єднання деревини та його міцності. Тому додаткове дослідження міцності у дерев'яних клеєних конструкціях є актуальною проблемою.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження міцності клейових з'єднань використовували дерев'яну клеєну конструкцію, а саме меблевий щит, який виготовлений із соснової деревини та склеєний термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, а саме Jowacoll 103.05 із затверджувачем Jowacoll 195.40. Дослідження міцності клейових з'єднань у меблевому щиті проводили у два етапи. На першому етапі визначали міцність клейового з'єднання соснової деревини на зубчастий мінішип за методикою його руйнування на статичний згин. Таке з'єднання деревини використовують для виготовлення ламелей меблевого щита, тобто з'єднання бездефектних брусків за довжиною. На другому етапі визначали міцність клейового з'єднання соснової деревини на гладку фугу за методикою його руйнування поздовжнього розтягування на зсув. Таке клейове з'єднання використовують у меблевому щиті для склеювання відповідних заготовок у розмір за шириною.

Для визначення міцності клейового з'єднання за довжиною виготовляли зразки розміром 300×45×20 мм. Для цього бездефектні бруски із соснової деревини після формування зубчастого мінішипа склеювали у ламелі за

допомогою полівінілацетатного клею Jowacoll. Перед склеюванням зразків заміряли вологість брусків заготовок за допомогою аналізатора вологи марки RAD WAG WPS 110 S [30, 31].

Для визначення міцності цих з'єднань використовували 25 зразків. Результати випробувань записували у журнал спостережень та піддавали математичному та статистичному обробленню й аналізу.

Другий етап це визначення міцності зразків, склеєних на гладку фугу, методом поздовжнього розтягування на зсув. Для цього ламелі склеювали на гладку фугу і випилювали зразки розміром 150×20×10 мм. Довжина зубчастого міні-шипа становить 10 мм. Перед випилювання зразків також здійснювали заміри їх вологості. Для випробувань використовували двадцять п'ять зразків. Результати випробування записували у журнал спостережень та піддавали математичній та статистичному обробленню та аналізу [6, 29, 30, 31].

За отриманими результатами, відповідно до методик, зміни міцності клейових з'єднань соснової деревини на статичний згин та поздовжнього розтягування на зсув, здійснювали статистичне оброблення даних, будували графічні залежності та піддавали їх аналізу [10].

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Відповідно до методик першого та другого етапів випробувань проведено натурні експериментальні дослідження із визначення міцності клейового з'єднання під час статичного згину для з'єднань на зубчастий мінішип та методом поздовжнього розтягування на зсув – для з'єднань на гладку фугу. На рис. 1. наведено схему руйнування зразків клейових з'єднань соснової деревини на зубчастий мінішип за статичного згину.

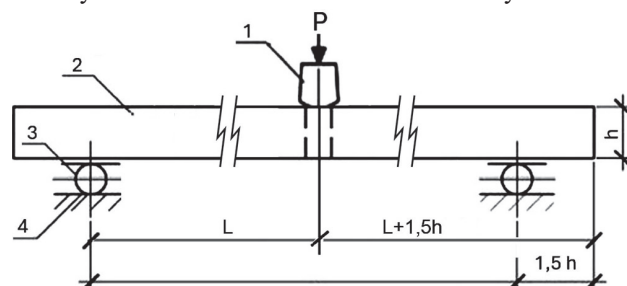


Рис. 1. Схема випробувань міцності клейових з'єднань соснової деревини за статичного згину / Scheme of testing the strength of glued joints of pine wood during static bending: 1 – навантаження / load; 2 – зразок / sample; 3 – циліндр / cylinder; 4 – опора / support

Міцність клейового з'єднання за статичного згину (МПа) розраховують за формулою [31]

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

де: P – навантаження, Н; L – відстань між опорами, см; b – ширина зразка, см; h – висота зразка, см.

Отримані результати піддавали математичному та статистичному обробленню, під час якого розраховували грубі промахи та здійснювали їх заміну на середнє значення міцності у вибірці. У табл. 1 наведено розраховану міцність та характер руйнування клейового з'єднання соснової деревини на зубчастий міні-шип.

На рис. 2 за результатами числових значень, які наведено у табл. 1, побудовано графічну залежність міцності клейового з'єднання.

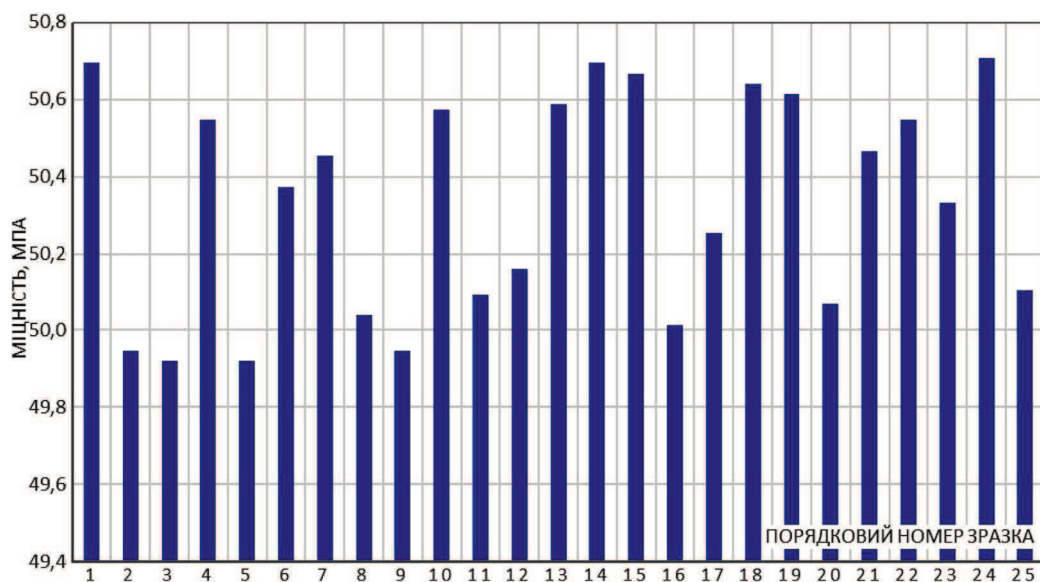


Рис. 2. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 за статичного згину / Strength of glued joints of pine wood glued with polyvinyl acetate glue with durability class D4 under static bending

Табл. 1. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної на зубчастий мінішип / Strength of adhesive joints of pine wood glued to a toothed mini-tenon

№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Відстань між упорами (l), мм	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	Міцність σ (МПа)	Характер руйнування
1	380,2	240,0	45,0	20,0	50,69	К
2	374,6	240,0	45,0	20,0	49,95	З
3	374,4	240,0	45,0	20,0	49,92	З
4	379,1	240,0	45,0	20,0	50,55	К
5	374,4	240,0	45,0	20,0	49,92	К
6	377,8	240,0	45,0	20,0	50,37	К
7	378,4	240,0	45,0	20,0	50,45	К
8	375,3	240,0	45,0	20,0	50,04	К
9	374,6	240,0	45,0	20,0	49,95	З
10	379,3	240,0	45,0	20,0	50,57	К
11	375,7	240,0	45,0	20,0	50,09	З
12	376,2	240,0	45,0	20,0	50,16	К
13	379,4	240,0	45,0	20,0	50,59	К
14	380,2	240,0	45,0	20,0	50,69	К
15	380,0	240,0	45,0	20,0	50,67	К
16	375,1	240,0	45,0	20,0	50,01	З
17	376,9	240,0	45,0	20,0	50,25	К
18	379,8	240,0	45,0	20,0	50,64	К
19	379,6	240,0	45,0	20,0	50,61	К
20	375,5	240,0	45,0	20,0	50,07	К
21	378,5	240,0	45,0	20,0	50,47	К
22	379,1	240,0	45,0	20,0	50,55	К
23	377,5	240,0	45,0	20,0	50,33	К
24	380,3	240,0	45,0	20,0	50,71	К
25	375,8	240,0	45,0	20,0	50,11	К

Відповідно до отриманих результатів дослідження, міцність клейових з'єднань зразків, склеєних полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4 на зубчастий мінішип за статичного згину знаходилась в межах від 49,92 до 50,71 МПа. Середнє значення міцності становить 50,33 МПа. Характер руйнування таких зразків відбувався, переважно, по клейовому з'єднанні. Як зазначено вище, міцність клейового з'єднання вважають задовільною, якщо вона відповідає когезійній міцності деревини. Міцність масивної соснової деревини за статичного згину за вологості 12 % становить 85 МПа. Тобто міцність клейового з'єднання соснової деревини,

склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, порівняно із цільною деревиною, є меншою на 41 %. Такі показники міцності узгоджують із результатами міцності клейових з'єднань деревини. Водночас вони можуть мати негативний вплив на пружно-деформаційні процеси у меблевому щиті, як дерев'яній клеєній конструкції, під час зберігання та експлуатації.

Відповідно до методики проведення натурного експерименту, визначали міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної по крайці на гладку фугу. Для цього зразки виготовляли за схемою, яку наведено на рис. 3, та піддавали руйнуванню методом поздовжнього розтягування на зсув відповідно до стандарту [6].

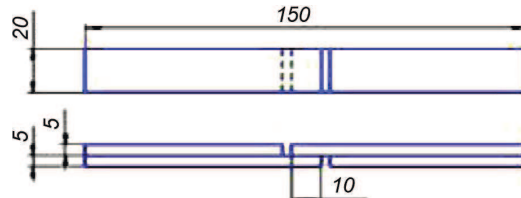


Рис. 3. Форма та розміри зразка за дослідження міцності клейового з'єднання методом поздовжнього розтягування на зсув / Shape and dimensions of the sample when testing the strength of an adhesive bond using the longitudinal shear tensile method

Міцність, за методом поздовжнього розтягування на зсув (МПа), розраховували за формулою [6]

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (2)$$

де: P – навантаження, Н; F – площа клейового з'єднання, мм².

Відповідно до отриманих результатів дослідження, міцність клейових з'єднань зразків, склеєних полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 на гладку фугу за руйнування методом поздовжнього розтягування на зсув знаходилась в межах від 7,10 до 7,71 МПа. Середнє значення міцності становить 7,44 МПа. Характер руйнування таких клейових з'єднань відбувався, переважно, по клею та частково по деревині. Як зазначено вище, міцність клейового з'єднання вважають задовільною, якщо вона відповідає когезійній міцності деревини. Міцність соснової деревини за поздовжнього розтягування на зсув за вологості 12 % становить 7,5 МПа. Тобто міцність клейового з'єднання соснової де-

ревини, склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, порівнянні із цільною деревиною, задовольняє умови склеювання.

У табл. 2 наведено розраховану міцність клейового з'єднання соснової деревини на гладку фугу за допомогою термопластичного полівінілацетатного клею із класом довговічності D4, яке використовують під час виготовлення меблевого щита.

На рис. 4. наведено графічну інтерпретацію результатів міцності зразків соснової деревини, що склеєні на гладку фугу. Зразки піддавали руйнуванню методом поздовжнього розтягування на зсув.

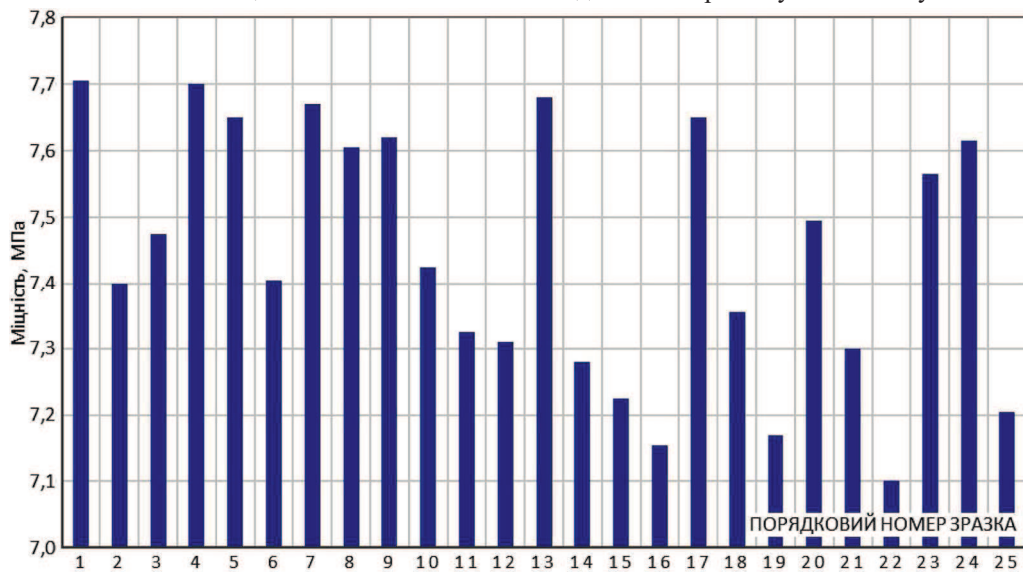


Рис. 4. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4, методом поздовжнього розтягування на зсув / Strength of adhesive joints of pine wood glued with polyvinyl acetate glue with durability class D4 when stretched along the fibres

Табл. 2. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної на гладку фугу / Strength of adhesive joints of pine wood glued to a smooth joint

№ з/п	Навантаження (F_{max}), Н	Ширина (b), мм	Товщина (h), мм	Міцність (σ), МПа	Характер руйнування
1	1541	20	10	7,71	Д
2	1480	20	10	7,40	Д
3	1495	20	10	7,48	К
4	1540	20	10	7,70	Д
5	1530	20	10	7,65	Д
6	1481	20	10	7,41	Д
7	1534	20	10	7,67	Д
8	1521	20	10	7,61	Д
9	1524	20	10	7,62	Д
10	1485	20	10	7,43	Д
11	1465	20	10	7,33	К
12	1462	20	10	7,31	К
13	1536	20	10	7,68	Д
14	1456	20	10	7,28	Д
15	1445	20	10	7,23	Д
16	1431	20	10	7,16	К
17	1530	20	10	7,65	Д
18	1471	20	10	7,36	Д
19	1434	20	10	7,17	Д
20	1499	20	10	7,50	Д
21	1460	20	10	7,30	Д
22	1420	20	10	7,10	Д
23	1513	20	10	7,57	Д
24	1523	20	10	7,62	Д
25	1441	20	10	7,21	К

Такі результати міцності клейових з'єднань деревини у меблевому щиті можуть мати негативний вплив на пружно-деформаційні процеси за дії на нього природних факторів, а саме вологі та температури. Для встановлення цих процесів потрібно дослідити розподіл напружень у клейових з'єднаннях деревини, що використовують під час виготовлення меблевого щита. Для

цього, за результатами математичного моделювання, розраховано розподіл нормальних напружень у клейовому з'єднанні соснової деревини, склеєної полівінілацетатними клеями.

На рис. 5 наведено розподіл нормальних S_x і S_y -напружень для клейових з'єднань деревини із сосни на площині склеювання, які отримано за результатами математичного моделювання.

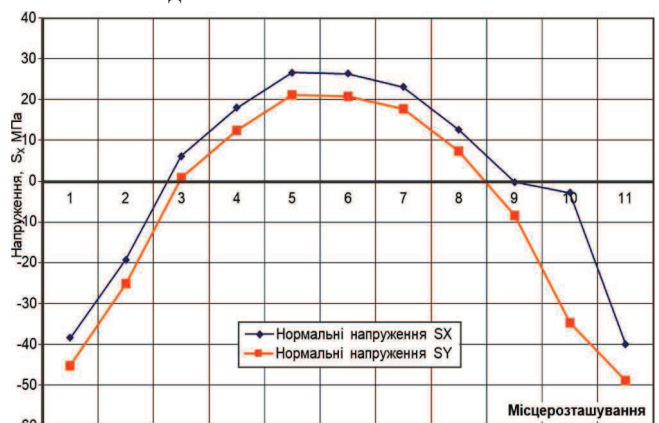


Рис. 5. Розподіл нормальних напружень S_x та S_y -клейових з'єднань соснової деревини / Distribution of normal stresses S_x and S_y of glued joints of pine wood

Аналіз графічних залежностей вказує на те, що компоненти нормальних S_x - та S_y -напружень у клейових з'єднаннях соснової деревини на площині склеювання, досягають максимального значення у середині зразка, а характер їх розподілу є нерівномірний. Тому важливе значення має технологічний процес склеювання, а саме вологість бездефектних брусків, які склеюють під час виготовлення меблевого щита, режимні параметри склеювання, клас довговічності клейового з'єднання тощо. Встановлення та дослідження цих процесів, під час виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій, дасть

змогу моделювати пружно-деформаційні процеси у клейових з'єднаннях деревини та визначати довговічність дерев'яних клеєних конструкцій.

Обговорення результатів дослідження. У роботі [4] досліджено вплив природних факторів, а саме вологості, температури, ультрафіолетового випромінювання тощо, на зміну міцності клеєних дерев'яних конструкцій із соснової деревини та термічно-модифікованої деревини ясена, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. Такі конструкції використовують для виготовлення столярно-будівельних виробів, а термічно-модифіковану деревину використовують як зовнішній шар, для захисту від дії зовнішніх факторів, оскільки вона стійка до впливу зовнішнього середовища. Водночас існує проблема отримання міцного клейового з'єднання між деревиною породи сосни та термічно-модифікованою деревиною ясена. Встановлено, що за витримки таких клеєних конструкцій впродовж 24 місяців у відкритому повітрі міцність клейового з'єднання зменшилась на 27,9 %. Переважно зменшення адгезійної міцності відбувається через структурні зміни, які формуються у термічно-модифікованій деревині ясена за дії високих температур. Це призводить до зміни поверхні термічно-модифікованої деревини ясена, яка стає гладкою за рахунок фуруролу, який утворюється під час дії високих температур, що погіршує адгезійні властивості клейових матеріалів до деревини.

У роботі [17] досліджено вплив режимних параметрів технологічного процесу склеювання та міцність тришарової паркетної дошки, яку використовують для підлогового покриття. Для склеювання деревинних заготовок у тришаровій паркетній дошці запропоновано використовувати термопластичні полівінілацетатні клейові композиції із класом довговічності D3. Розроблено режимні параметри склеювання верхнього та нижнього шарів у тришаровій паркетній дошці. Для отримання міцного клейового з'єднання для виготовлення тришарової паркетної дошки запропоновано оптимальні режимні параметри склеювання, а саме витрат клею, питомого тиску пресування та тривалості пресування. Окрім цього, наголошено, що полівінілацетатні клеї формують еластичне клейове з'єднання, яке дає змогу покращити пружно-деформаційні процеси у дерев'яній клеєній конструкції під час експлуатації.

У роботі [18] досліджено формування адгезійної і когезійної міцності у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини. Встановлено, що адгезійну і когезійну міцність у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини формують за рахунок міжфазної взаємодії макромолекул між складовими компонентами полівінілацетатного матеріалу та складових компонентів деревини, а саме целюлози і геміцелюлози. Важливе значення для таких клейових з'єднань деревини мають водневі зв'язки (ОН), які формуються у таких клейових з'єднаннях деревини, як під час склеювання, так і експлуатації. Під час експлуатації водневі зв'язки формуються за допомогою додаткової вологи, яку сорбують клеєною конструкцією під час її експлуатації. Клеї на основі полівінілацетату формують рідкодіафрагму структуру клейового шва, яка забезпечує еластичність клеєній деревинній конструкції.

У роботі [26] досліджено формостійкість меблевого щита, який виготовлений із деревини породи бук із вра-

хуванням їх конструкцій та розмірності брускових заготовок. Встановлено вплив розмірності бездефектних брускових заготовок букової породи деревини на зміну формостійкості меблевого щита. Запропоновано регресійну модель зміни формостійкості меблевого щита із деревини породи бук від розмірних характеристик брускових заготовок.

У роботі [8] досліджено сучасні технології з'єднань для склеювання деревини за довжиною під час виготовлення меблевого щита. Встановлено, що для з'єднання бездефектних брускових заготовок за довжиною раціонально використовувати з'єднання на мінізубчастий мінішип, яке дає змогу забезпечити міцне клейове з'єднання та економити деревину порівняно із іншими видами з'єднання. Встановлено границю міцності з'єднань деревини на зубчастий мінішип залежно від довжини шипа.

У роботі [20] наведено результати експериментального дослідження сейсмічної стійкості дерев'яних клеєних конструкцій з прямими шиповими з'єднаннями, підкріплених сталевими кріпленнями. Автори досліджують методи армування дерев'яних клеєних конструкцій, пошкоджених стихійними лихами та факторами навколишнього середовища, що має вирішальне значення для їх збереження та безпеки. Зосереджуючись на стародавній будівлі з прямими шиповими з'єднаннями балки та колони в регіоні Ліннань, було побудовано модель дерев'яної конструкції з однією кімнатою в масштабі 1:5. У моделі використовувалося інноваційне сталеве кріплення для посилення прямого шипового з'єднання. За допомогою серії експериментів на хитному столі було оцінено ефективність моделі шляхом аналізу пришвидшення, реакцій на зміщення, кутів бічного зміщення та коефіцієнтів динамічного посилення до та після армування. Результати дослідження показують, що сталеве кріплення дерев'яних клеєних конструкцій значно підвищує опір пазового та шипового з'єднання силам розтягування. Після армування коефіцієнти динамічного посилення зменшилися порівняно з вихідною моделлю. Окрім цього, модель продемонструвала помітне зменшення загального бічного зміщення та кутів бічного зміщення за різних сейсмічних значень інтенсивності. Дослідження підтверджує ефективність сталевих кріплень у зміцненні дерев'яних клеєних конструкцій.

Дослідження закономірностей процесів склеювання з метою забезпечення належної міцності клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях під час формування клейових з'єднань, їх зміни під час експлуатації є важливим та актуальним.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено методику дослідження міцності клейових з'єднань соснової деревини за її склеювання на зубчастий мінішип та гладку фугу для виготовлення меблевого щита, які надалі будуть використовуватися для встановлення закономірностей зміни міцності таких з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях залежно від технологічних процесів склеювання та умов експлуатації.

Практична значущість результатів дослідження – розроблену методику можна застосовувати для реалізації практичних завдань щодо вдосконалення технологічного процесу склеювання під час виготовлення дерев'яних клеєних конструкцій.

Висновки / Conclusions

Досліджено міцність клейових з'єднань у дерев'яних клеєних конструкціях, а саме в одношаровому меблевому щиті, виготовленого із соснової деревини та склесного термопластичним полівінілацетатним клеєм із класом довговічності D4. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної полівінілацетатним клеєм на зубчастий мінішип, під час формування меблевого щита за довжиною, досліджена за методикою руйнування на статичний згин, становить 50,33 МПа, що на 41 % менше за міцність соснової деревини за статичного згину. Така зміна міцності клейового з'єднання може негативно впливати на пружно-деформаційні процеси меблевого щита під час його зберігання та експлуатації і призводити до зменшення довговічності. Це можна пояснити значним поглинанням деревиною клейового матеріалу, більшою адсорбційною здатністю деревини вздовж волокон та неможливістю забезпечити адгезійну і когезійну міцність клейових з'єднань в разі склеювання деревини в торець.
2. Міцність клейових з'єднань соснової деревини, склеєної на гладку фугу у меблевому щиті за його формування за шириною, яку визначали за методом поздовжнього розтягування на зсув, становить 7,44 МПа, що відповідає міцності соснової деревини за її сколювання вздовж волокон. Руйнування відбувається як по деревині, так і по клейовому шву. Така поведінка міцності клейового з'єднання є задовільною для меблевого щита, що дає змогу забезпечити належну довговічність виробам.
3. Встановлено, що отримана міцність та розподіл нормальних напружень у клейових з'єднаннях соснової деревини є нерівномірний, а максимального значення досягає усередині зразка і буде залежати від технологічного процесу склеювання. Все це буде впливати на пружно-деформаційні процеси під час експлуатації таких клейових з'єднань соснової деревини та визначатиме довговічність дерев'яних клеєних конструкцій.

References

1. Bekhta, P. A., & Kusniak, I. I. (2018). Thermoplastic polymers in the production of plywood products: advantages, possibilities and prospects for application. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 16, 131–140. <https://doi.org/10.15421/411815>
2. Datskiv, H. M., & Kshyvetsky, B. Ya. (2021). Regarding accelerated experimental studies on adhesive joint strength of thermally modified wood glued with PVA-based adhesives. *The XI-th International Scientific and Practical Conference "Integrated Quality Assurance of Technological Processes and Systems"*, 1, 175–177. [In Ukrainian]. URL: <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-2-168.pdf>
3. Datskiv, H. V., & Kshyvetsky, B. Ya. (2022). Determination of the strength of adhesive joints of thermally modified and ordinary wood using different methods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(2), 63–68. <https://doi.org/10.36930/40320509>
4. Datskiv, H. V., & Kshyvetsky, B. Ya. (2023). Results of experimental studies on the strength of adhesive-bonded joints of thermally modified ash wood. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(1), 27–38. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.27>
5. EN 204:2001. Classification of thermoplastic wood adhesives for use other than in the production of structural supporting beams. ICS 83.180. Replaces document EN 204: 1991. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91002
6. EN 205:2003. Adhesives – wood adhesives for use other than in the production of structural supporting beams – determination of ultimate strength. ICS 83.180. Replaces document EN 205: 1991. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73788
7. Gayda, S. V. (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 15–25. <https://doi.org/10.36930/42184402>
8. Gayda, S. V. (2018). Progressive technologies of longitudinal wood splicing. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 24, 10–19. [In Ukrainian]. URL: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal>
9. Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Poznan: Drewno*, 63(206), 77–102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
10. Kiyko, O. A. (2014). Some Regularities of the Impact of Linear Dimensions of the Structural Elements of Furniture Board on Deviation Along and Across Fibers. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(8), 156–168. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_8/29.pdf
11. Kiyko, O. A. (2022). Statistical methods for improving the quality of woodworking products. Electronic textbook, 228. URL: <https://tmvd.nltu.edu.ua/predm-statmet/>
12. Kshyvetsky, B. Ya. (2012). The mechanism of formation of thermoplastic adhesive wood joints. *Scientific Bulletin of UNFU*, 22(12), 117–122. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_12/117_Ksz.pdf
13. Kshyvetsky, B. Ya., & Tyvunka, I. Yo. (2018). The strength and durability of thermoplastic adhesive wood joints: monograph. Lviv, Galician publishing union, LLC, 230. [In Ukrainian]. URL: <https://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin>
14. Kshyvetsky, B. Ya., Datskiv, H. V., & Andrashek, Yo. V. (2019). General information about adhesives, gluing, and thermally modified wood. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(3), 81–84. <https://doi.org/10.15421/40290317>
15. Kshyvetsky, B. Ya., Kindzera, D. P., Sokolovskyy, Ya. I., Somar, G. V., & Sokolovskyy, I. A. (2023). Prediction of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. *Chemistry, chemical technology*, 17(1), 110–117. <https://doi.org/10.23939/chcht17.01.110>
16. Kshyvetsky, B., & Datskiv, H. (2023). 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)*, 66(211), 1–10. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.426.03>
17. Kshyvetsky, B., & Kindzera, A. (2022). Establishing the distribution of normal and tangential stresses in thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wooden joints. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(6), 71–77. <https://doi.org/10.36930/40320611>
18. Kshyvetsky, B., Kindzera, D., Sokolovskiy, I., Storozhuk, V., Mayevska, O., Somar, H., & Kindzera, A. (2024). Features of the formation of cohesive and adhesive strength by non-structured and structured polyvinyl acetate films during wood gluing. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 3, 89–97. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-154-3-89-97>
19. Kusniak, I. I. (2020). Efficiency of the glued plywood production with thermoplastic film. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(2), 88–92. <https://doi.org/10.36930/40300213>
20. Lu, Zhixiong, Luo, Honghao, Lv, Xuetao, & He, Yuxiang. (2025, March). Experiment study on seismic performance of steel braced strengthening straight tenon joint wooden structures. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 29, Issue 3, article ID 100033. <https://doi.org/10.1016/j.kscsej.2024.100033>
21. Myakush, B. M. (2011). Technological parameters of gluing parquet boards with thermoplastic-based adhesives and their effect on the strength and dimensional stability of the product. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(14), 166–119. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_14/index.htm
22. Myakush, B. M. (2012). Development of operating parameters for gluing parquet boards with thermoplastic adhesives. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 38, 81–84. [In Ukrainian]. URL: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/237>
23. Myakush, B. M., & Kshyvetsky, B. Ya. (2020). Influence of mode parameters on the strength of a three-layer parquet board glued

- with PVA adhesives. In *Khth international Scientific and Practical Conference "Integrated Quality Assurance of Technological Processes and Systems"*, 1, 196–198. URL: <https://conference-chemihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2020/05/Tezy-2020-Part-1.pdf>
24. Myakush, B. M., & Kshyvetskyy, B. Ya. (2021). The influence of loads on the shape stability of a three-layer parquet board. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), 68–73. <https://doi.org/10.36930/40310111>
 25. Podibka, T. I. (2018). Constructions and technological aspects of furniture panels in regulatory documents. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 83–90. <https://doi.org/10.36930/42184411>
 26. Podibka, T. I. (2020). A investigation of form of stability of variously designed furniture board made of pine wood of different constructions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 46, 108–120. <https://doi.org/10.36930/42204613>
 27. Podibka, T. I. (2021). Development of mathematical models for predicting dimensional stability of furniture boards using the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 47, 73–91. <https://doi.org/10.36930/42214809>
 28. Podibka, T. I., & Kiyko, O. A. (2019). A study of the influence of the transverse dimensions of beech of strips on the form of stability of furniture board. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 155–171. <https://doi.org/10.36930/42194521>
 29. STU EN 13353:2009. Wooden panels. Requirements. (EN 13353:2003, IDT) https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78280
 30. STU EN 13353:2022 (EN 13353:2008+A1:2011, IDT). Solid wood panels (SWP). Requirements. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=111950
 31. STU EN 13354:2009. Wooden panels. Method for determining quality, 2020. T1. pp. 660–664. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78280
 32. Wei, Y., Jin, X., Luo, Q., Li, Q., & Sun, G. (2024). Adhesively bonded joints – A review on design, manufacturing, experiments, modeling and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 276, article ID 111225. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111225>

S. M. Valko, B. Ya. Kshyvetskyy

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

RESEARCH ON THE STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS IN WOODEN ADHESIVE STRUCTURES

Wooden glued structures and adhesive materials used for bonding have been analyzed, along with their characteristics and properties. It has been shown that thermosetting adhesives, such as phenol-formaldehyde and urea-formaldehyde adhesives, as well as thermoplastic adhesives, such as polyvinyl acetate, are commonly used for bonding wood in the manufacture of wooden glued structures. Thermosetting adhesives form a brittle joint in which, during operation, elastic-deformation processes may occur. Its prolonged effect can lead to joint failure, while the adhesive layer emits formaldehyde. In contrast, thermoplastic polyvinyl acetate adhesives are considered promising for wood bonding, as they form strong, flexible, environmentally friendly, and water-resistant joints. Moreover, the main performance indicator of wooden glued structures is established to be the strength of the bonded wood. Particular attention is given to furniture panel, for the manufacture of which finger jointing of wood and smooth fugue are used. Furthermore, the results of experimental studies to determine the strength of pine wood adhesive joints in static bending and tensile strength along the grain are presented. It was found that the strength of adhesive joints in pine wood under static bending in a furniture panel, bonded with polyvinyl acetate adhesives on finger joint is 50.33 MPa. This is 41 % lower than the strength of solid pine wood in static bending. This made it possible to confirm that when bonding wood end-to-end, the strength of adhesive joints is lower than that of solid wood in static bending. Such a change in strength occurs due to the structure and texture of the wood and can negatively affect the elastic-deformation processes of the furniture panel during operation. The results of the research have also revealed that the strength of adhesive joints in pine wood with a smooth fugue joint in the furniture panel is 7.44 MPa, which corresponds to the shear strength of pine wood along the grain. The pattern of adhesive joint failure, which occurs both within the wood and along the adhesive line, is described as well. Such a distribution of adhesive joint strength in the furniture panel may adversely affect its elastic-deformation processes during its storage and operation.

Keywords: gluing; adhesives; wood; wooden structures; strength; durability.