

УДК 665:686.126+676

ВПЛИВ СТРУКТУРИ КАРТОНІВ НА ЯКІСТЬ СКЛЕЮВАННЯ ПАКОВАНЬ

Я. А. Бойчук, С. Ф. Гавенко, М. С. Кадиляк, Л. Й. Кулік

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Сучасна пакувальна індустрія адаптується до викликів сталого розвитку через використання екологічних безпечних матеріалів, які відповідають вимогам зручності та функціональності, мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. Це стосується картонних пакувань, які виготовляються з використанням технологій склеювання на сучасних фальцювально-склеювальних лініях. У роботі наведено ключові фактори, що впливають на механізм склеювання картонних пакувань, до яких належать властивості клею (в'язкість, швидкість схоплювання, адгезія і когезія; характеристика картону та його властивості (пористість, гладкість поверхні, щільність і товщина); умови навколишнього середовища (температура та вологість повітря; підготовка та налаштування обладнання (точність фальцювання, зусилля притискування, кількість та місце нанесення клею). Описані види адгезій, які пояснюють утворення міцного склеювання при виготовленні картонних пакувань. На основі електронно-мікроскопічних досліджень поверхні картонів і клею, підтверджено їх суттєвий вплив на механізм адгезійного з'єднання. Досліджено динаміку змочування клеями картонів від моменту контакту з поверхнею. Встановлено, що картони мають різний опір до змочування, що слід враховувати при виборі клею і способу його нанесення на субстрат для забезпечення оптимальної міцності склеювання. Показано вплив поперечного і поздовжнього напрямку картону на зусилля розшарування склеєних розгортки.

Ключові слова: картон, пакування, клеї, мікроскопія, структура, склеювання, динаміка змочування, адгезія, міцність, якість

Постановка проблеми. Сучасні споживачі вимагають від пакувань не тільки зручності у користуванні, але й привабливого вигляду, захисту продукції від підробки. За оцінками експертів Smithers Information, обсяг світового ринку упаковки становить приблизно 1,015 мільярда доларів. Орієнтовні річні темпи зростання протягом 2023–2026 років для сегментів пакувальних матеріалів: картон: 5%, пластик: 4%, метал: 3% і скло 2% [1,2]. У зв'язку з розвитком світової урбанізації звичка купувати упаковані продукти в магазинах і супермаркетах витісняє інші способи отримання товарів. Це призводить до збільшення попиту на пакувальні матеріали і, в свою чергу, на пакувальні клеї. Однією з умов зростання споживання клеїв в промисловому масштабі є інновації. Тому так інтенсивно розвивається світовий

ринок пакувальних матеріалів і технологій для їх виготовлення. Популярними стають пакувальні матеріали, що містять антибактеріальні речовини, ферменти, захисні бар'єрні покриття, які захищають товари від втрати маси і створюють певний кисневий бар'єр, щоб загальмувати процес прискореного старіння. Висуваються певні екологічні вимоги до пакувань, їх безпечності тощо. Все це вимагає пошуку нових екологічних поліграфічних матеріалів - клеїв, фарб, лаків тощо [3, 4].

Одним з ключових етапів у виробництві картонних пакувань, який забезпечує міцність та функціональність готового виробу є процес склеювання. Сучасні технології склеювання картонних пакувань є високоавтоматизованими процесами, які дозволяють ефективно виготовляти широкий асортимент картонного пакування різної складності. Загалом, технології склеювання картонних пакувань можна поділити на певні класи, кожен з яких відрізняється суттю процесу, механізмом взаємодії, видом клею та характеристикою устаткування. Фальцювально-склеювальні автоматизовані лінії оснащені спеціальними механізмами (наприклад, складальними штангами або лезами), які згинають картон вздовж попередньо нанесених бігувальних ліній, що формує об'ємну структуру майбутньої коробки. Механізми налаштовані таким чином, щоб забезпечити точні кути згину та правильне розташування клапанів. Вони згинають заготовки картону з надрукованими зображеннями, або без них і автоматично наносять клей на відповідні ділянки. Склеювальні машини обладнані валковими або дисковими системами, аплікаторами-пістолетами клею, які забезпечують точне та контрольоване нанесення клею. Після нанесення клею заготовка притискається пресом до затвердіння [5]. Розрізняють: одноточкове склеювання, яке застосовується для простих конструкцій, де достатньо однієї точки склеювання для формування пакування; багатоточкове склеювання, яке використовується для більш складних конструкцій коробок, наприклад, з автоматичним дном або кількома клапанами, що потребують кількох точок склеювання для забезпечення міцності та швидкого складання.

Для склеювання картону широко застосовуюються клеї на водній основі, які зазвичай наносяться за допомогою валкових або дискових машин. Для швидкого склеювання використовують термоклеї, оскільки вони миттєво застигають при охолодженні. Клей розігрівається до рідкого стану і подається під тиском через форсунки, створюючи тонкі лінії або крапки клею, що дозволяє точно дозувати та контролювати його кількість [6, 7].

Залежно від типу клею, механізм склеювання може бути різним. При використанні клеїв на водній основі (ПВА, крохмальні), затвердіння відбувається за рахунок випаровування води та полімеризації клейових компонентів. Волокна картону взаємодіють з клеєм, утворюючи міцне з'єднання. При використанні термоклеїв-розплавів, затвердіння відбувається внаслідок охолодження клею. При нагріванні він стає рідким і проникає в пори картону, а при охолодженні швидко твердне, створюючи фізичне з'єднання. Для утворення міцного зв'язку між клеєм і картоном при виготовленні пакування важливо, щоб клей проник у структуру волокон картону і відбулося адгезійне з'єднання адгезиву і субстрату.

До ключових факторів, що впливають на механізм склеювання відносяться:

- властивості клею, зокрема в'язкість, швидкість схоплювання, адгезія (здатність прилипати до поверхні), когезія (внутрішня міцність клею);
- характеристика картону та його властивості (тип картону - макулатурний, целюлозний, його пористість, гладкість поверхні, щільність і товщина);
- умови навколишнього середовища (температура та вологість повітря, які можуть впливати на швидкість висихання клеїв на водній основі);
- підготовка та налаштування обладнання (точність фальцювання, зусилля притискування, кількість та місце нанесення клею).

У цілому якість процесу склеювання пакувань залежить від багатьох чинників: точності нанесення клею: важливо, щоб клей наносився точно на визначені ділянки, щоб уникнути деформації та забезпечити міцне з'єднання; швидкості склеювання; якості клею (вибір відповідного клею залежить від типу картону, умов експлуатації пакувань та вимог до міцності з'єднання); геометричних розмірів клапанів для склеювання, які зазвичай виконуються під кутом (10-15°) та мають певну ширину, щоб забезпечити оптимальний процес склеювання [8].

Механізм склеювання картонних пакувань є динамічною взаємодією між фізичними процесами (згинання, притискання, охолодження/випаровування) та хімічними реакціями (полімеризація клею), що забезпечує функціональність та міцність готового пакування.

Аналіз попередніх досліджень. Дослідження механізму склеювання пакувань привертало увагу багатьох вчених та наукових груп у всьому світі. Багато дослідників у галузі матеріалознавства та хімії поверхні працюють над розумінням фундаментальних механізмів адгезії, аналізуючи, як клей проникає в пори картону, як утворюються хімічні та фізичні зв'язки, і як впливають властивості поверхні картону (шорсткість, пористість, хімічний склад) на міцність склеювання. Одні з них активно працювали над покращенням адгезії і продовжують її вивчати, інші займаються розробкою нових клеїв та оптимізацією процесів склеювання [9, 10].

Відомі роботи з розробки нових адгезивів (клеїв), присвячені біорозкладним та екологічним клеям. Зростає попит на екологічно чисті пакувальні матеріали, що стимулює дослідження в області розробки клеїв на біологічній основі (наприклад, з крохмалю, целюлози, казеїну, білків)[11].

Так, в роботі [12] досліджуються параметри і режими процесу утворення клейових з'єднань модифікованими кукурудзяними клеями при виготовленні пакувань з гофрокартону та модернізація засобів для оцінювання їх якості. Існують наукові роботи з розробки екологічно чистих клеїв, наприклад, на основі казеїну, які мають підвищену адгезію та водостійкість, але при цьому легко змиваються для переробки багаторазової тари. Українські дослідники активно працюють над біорозкладальними матеріалами для пакувань. Проводяться дослідження спрямовані на створення клеїв з підвищеною термостійкістю, водостійкістю, гнучкістю, які забезпечують швидке склеювання розгортки пакувань на високошвидкісних пакувальних лініях. Інтенсивно розвивається технологія виготовлення екологічних клеїв для пакувань.

Безпечними з точки зору екології вважаються адгезиви, котрі взагалі не шкодять або мінімально впливають на здоров'я та оточуюче середовище. Екологічність адгезивів забезпечується такими критеріями, як відсутність у складі ртуті, свинцю, інших важких металів; мінімальна кількість летких органічних сполук, за рахунок чого значно знижується ризик виникнення захворювань дихальних шляхів та алергічних реакцій; відсутність токсичних розчинників. Сучасні екологічно безпечні клеї характеризуються стійкістю, довговічністю. Серед різновидів екологічних клеїв розрізняють крохмальний, який виготовляється на основі модифікованого крохмалю, розчинником виступає вода. За рахунок високої температури під час виробництва утворюється колоїдний розчин певної в'язкості.

Також відомий казеїновий клей, в основі якого – молочний білок казеїн, розчинником слугує вода. Казеїновий адгезив вважається універсальним, екологічно безпечним, не горить, стійкий до температурних перепадів, окислення, не псує обладнання для нанесення.

Для склеювання паковань використовують полівінілацетатний клей, який виробляється на основі дисперсії з модифікуючими компонентами, він є водорозчинним, який також можна віднести до групи екологічних. Адгезив повністю безпечний для здоров'я, не виділяє токсичних речовин, майже не має запаху, не горить, стійкий до вологості та довговічний, швидко висихає та вважається універсальним. До категорії екологічних також можна віднести клеї на основі синтетичних полімерів та розплави (термоклеї).

Клеї мають суттєвий вплив на оптимізацію процесів склеювання їх на фальцювально-склеювальних лініях, щоб забезпечити точне та ефективніше нанесення клею. Також важливими є дослідження процесу проникнення клеїв у структуру субстратів, від якого залежить міцність склеювання паковань [13].

Таким чином, вивчення процесу склеювання паковань є важливим і актуальним та вимагає глибоких і ґрунтовних досліджень.

Результати проведених досліджень. Розуміння механізму адгезії клеїв при склеюванні паковань, оптимізація виробничих процесів направлені на підвищення ефективності та якості продукції. Тому дуже важливо дослідити чинники впливу на процес склеювання картонних паковань, особливо ті, які пов'язані зі структурою елементів системи «картон- клей».

Правильний вибір картону і клею визначає не тільки стабільну, безвідмовну роботу фальцювально-склеювального устаткування, але також є необхідною умовою для отримання якісних паковань. Тому таким важливим є аналіз впливу підкладки-основи на здатність сприймати клей, забезпечуючи надійне клейове з'єднання. Під час сприйняття компонентів клею пакувальним матеріалам відбувається ряд фізико-хімічних явищ, які залежать від властивостей матеріалу і впливають на фіксацію і швидкість проникнення клею в його структуру. Поверхневі властивості матеріалу безпосередньо впливають на точність і якість отриманого з'єднання клапанів розгортки пакування [14-16].

До комплексу властивостей підкладки-основи висовується ряд вимог: здатність адсорбувати клей, який має безпосередній вплив на швидкість проникнення

в його структуру; відповідний склад матеріалу, який визначає рівномірність розташування волокон, наявність наповнювачів або сумішей у покритті на поверхні картону. Відсутність їх рівномірного розподілу негативно впливає на поглинання клей та проникнення в структуру пакувального матеріалу. На швидкість фіксації клейового з'єднання може впливати рН (бажано, щоб реакція підкладки –основи була нейтральною або слабо лужною). До властивостей субстратів, які впливають на сприйняття клею та якості склеювання належить: вага і товщина; гладкість, шорсткість поверхні, внутрішня будова матеріалу.

Метою роботи було вивчення впливу поверхневої структури картону на якість склеювання пакувань.

Об'єктами досліджень були пакувальні картони: Adriatica™ (виробник Mayr-Melnhof Karton, Словенія) та Alaska (виробник MM Board&PaperSalesGmbH, Польща), товщина картонів - 700 μm , граматура 400г/2. Розгортки пакувань склеювали на фальцювально-склеювальній лінії Diana Go 85 (HEIDELBERG).

Методика досліджень. За допомогою скануючого електронного мікроскопу JEOL JSM- T220A Scanning Microscope було досліджено структуру нанесеного клею на розгортки пакування. Для визначення профілю поверхні картонів використано вимірювальну установку Surtronic +3 фірми Taylor–Hobson, оснащену вимірювальним датчиком. Установка пересилає дані, які потім через комп'ютерну програму представляються як діаграма шорсткості поверхні. Вимірювальна точність установки складає 2%. Границя вимірів цього профілометра знаходиться в межах $\pm 150 \mu\text{m}$. Вимірювання гладкості складає 0,01 μm . Це дозволяє визначити параметри: Ra – загальновизнаний і найчастіше вживаний міжнародний параметр шорсткості, який визначається як середня арифметична величина абсолютного профілю шорсткості від середньої лінії; Rt – максимальна висота профілю на всій протяжності вимірюваного зразка; Rz – є середньою величиною всіх вартостей Rti (найвища амплітуда) на аналізованій довжині зразка картону.

Результати проведених досліджень. Адгезія клею до картону є критично важливим аспектом у виробництві картонних пакувань, оскільки від її ефективності залежить міцність, довговічність та функціональність готової продукції. Серед існуючих теорій адгезій клею до картону, можна виділити механічну, яка властива для пористих матеріалів. Згідно неї молекули рідкого клею проникають у мікроскопічні пори, нерівності та капіляри на поверхні картону. Після затвердіння клей «зачіпляється» за ці нерівності, утворюючи фізичний зв'язок. Чим більша пористість та розвиненіша поверхня картону, тим кращим буде механічне зчеплення, за умови, що клей достатньо рідкий, щоб проникнути у пори. Однак, занадто висока пористість може призвести до надмірного вбирання клею і зниження міцності.

Склеювання клапанів розгортки пакувань можна пояснити також специфічною (адсорбційною) адгезією, механізм якої ґрунтується на міжмолекулярних силах притягання (сили Ван дер Ваальса, водневі зв'язки) між молекулами клею та молекулами поверхні картону. Клей у рідкому стані змочує поверхню картону, що дозволяє молекулам клею та субстрату максимально зблизитись і вступити у взаємодію. Це особливо важливо для досягнення міцного зв'язку на молекулярному

рівні. Менш виражена для склеювання дисперсійним клеєм картону є– дифузійна адгезія, яка пояснює процес утворення клейового з'єднання взаємним проникненням (дифузією) молекул клею та субстрату через межу розділу фаз. Для картону, особливо з клеями на водній основі, це може відбуватися на мікрорівні, коли волокна картону абсорбують клей, а компоненти клею проникають між волокнами.

Звісно, що на адгезію впливає ряд факторів. Розглянемо деякі з них:

1) властивості клею (в'язкість, яка забезпечує хороше проникнення в пори картону, але не дозволяє клею занадто швидко всотуватись);

2) змочуваність (клей повинен добре змочувати поверхню картону, тобто мати низький поверхневий натяг, рівномірно розподілятися у місцях склеювання);

3) швидкість схоплювання/висихання (клей повинен схоплюватися достатньо швидко, щоб забезпечити початкову фіксацію, але не занадто швидко, щоб дозволити рівномірний розподіл і проникнення);

4) хімічний склад, тобто тип полімеру на основі якого створено клеї, наявність добавок (пластифікаторів, модифікаторів), які впливають на його адгезійні властивості;

5) властивості картону, зокрема його пористість (оптимальна пористість важлива для механічної адгезії, адже надмірне або недостатнє змочування клеєм може погіршити адгезію);

6) поверхнева енергія (вища поверхнева енергія картону сприяє кращому змочуванню клеєм);

7) гладкість поверхні (шорсткіші поверхні забезпечують краще механічне з'єднання, а надто гладкі поверхні можуть погіршити адгезію, якщо клей не має достатньо сильних адгезійних властивостей);

8) хімічний склад картону(наявність наповнювачів, покриттів або друку на поверхні може суттєво вплинути на адгезію (суцільне задруковування поверхні може закривати пори, знижуючи механічну адгезію);

9) вологість картону, яка впливає на швидкість висихання клеїв на водній основі та на деформацію картону;

10) умови процесу склеювання;

11) температура, яка впливає на в'язкість клею та швидкість його схоплювання/висихання, особливо це важливо для термоклеїв;

12) зусилля притискування клапанів заготовок при склеюванні (достатній та рівномірний тиск забезпечує максимальний контакт між клеєм та поверхнею картону, сприяючи кращому проникненню та схоплюванню);

13) час витримки, протягом якого підтримується тиск, важливий для повного затвердіння клею та формування міцного адгезійного зв'язку;

14) кількість клею (недостатня кількість клею призводить до слабкого склеювання, а надмірна — до витікання, деформації та погіршення зовнішнього вигляду).

Як відомо поверхня картону має деяку неоднорідність і нерівномірність структури. Особливо важливо встановити розподіл клеюпри контакті з субстратом. Коли субстрат стикається з клеєм відбувається змочування рослинних волокон, що містяться в структурі картону та проникненні в підкладку. На цей процес впливають

ступінь розмелювання волокон, їх розміри, поверхнева структура картону, його товщина і пористість.

Дослідження мікроструктури клею, нанесеного на картонну заготовку для пакування у фальцовально-склеювальній лінії показує, що клейова композиція має неоднорідну структуру, присутні скупчення мікрочаплень (рис.1), які можуть спричинити зменшення міцності при склеюванні.

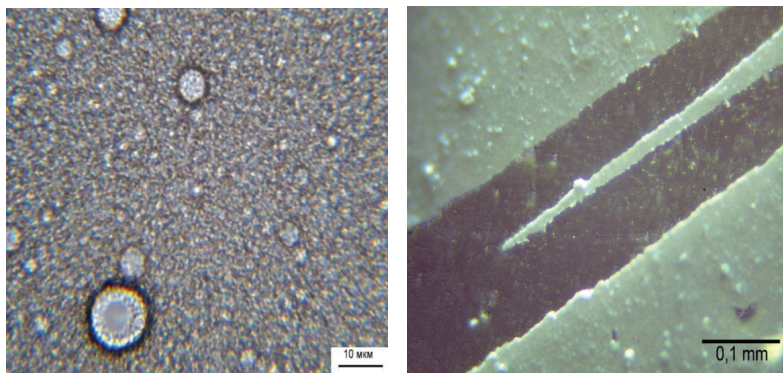


Рис.1. Мікроструктура клею та його лінія сліду нанесеного на картонне пакування

Як було зазначено вище, адгезійна міцність склеювання визначається також поверхневою структурою картону. Електронно мікроскопічні дослідження показали, що для картону Adriatica™ (рис. 2) характерна невелика ступінь нерівномірності поверхні від -1,77 до +2,03 мкм, що свідчить про рівномірний розподіл елементів структури паперу. Відсутність великих макронерівностей обумовлена очевидно тим, що на поверхні міститься крейдований шар покриття. Параметр шорховатості $Ra = 0,430$ мкм свідчить про високорозвинену макро- і субмікроструктуру поверхні.

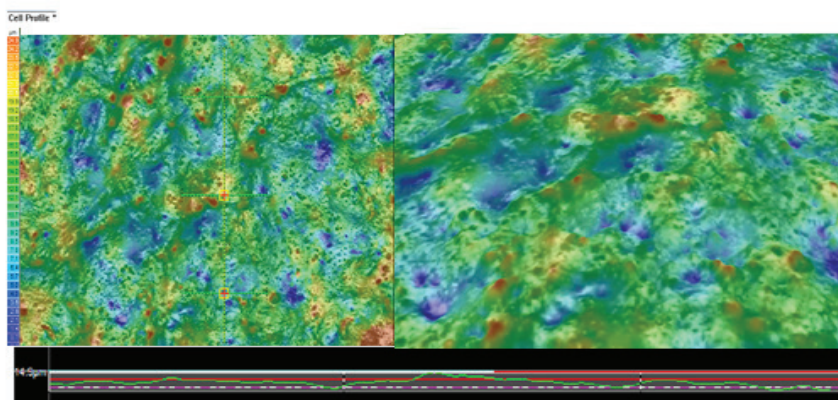


Рис. 2. Топографія поверхні картону Adriatica™, її 3D зображення та профіль

Дослідження поверхні картону Alaska Plus з одношаровим крейдованим шаром (рис. 3) показали, що його поверхня має велику ступінь нерівності від -5,78 до +7,42 мкм. Параметр шорсткості $Ra = 1,36$ мкм.

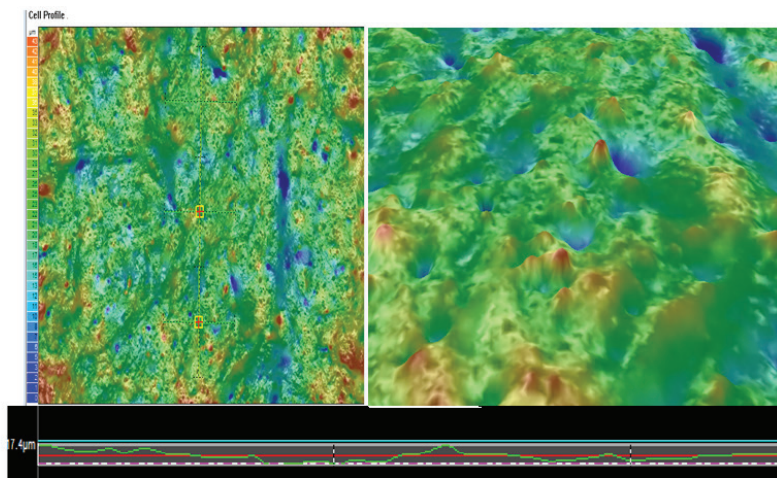


Рис. 3. Топографія поверхні картону AlaskaPlus, її 3D зображення та профіль

Важливою проблемою є дослідження поведінки клеїв при короткотривалому змочуванні. Застосування аналізатору динаміки змочування (PDA) дозволило змодельовати картину проникнення дисперсійних клеїв в структури картону при склеюванні від моменту її контакту з поверхнею до етапу визначеного часом дослідження (від 0,1 до 32 с).

На основі результатів досліджень були побудовані графічні залежності динаміки проникнення компонентів клею в структуру картону (рис.4).

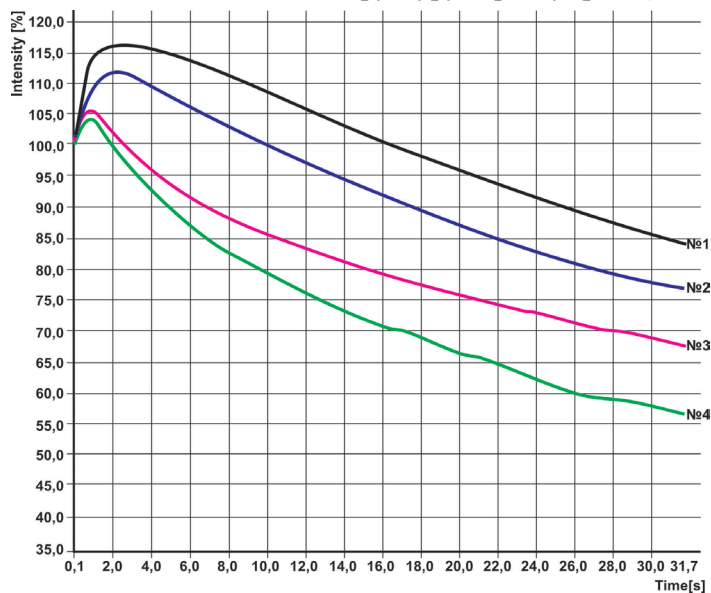


Рис. 4. Залежність опору картону в (%) від часу змочування (с): №1 –картон Adriatica™ (повздовжній напрям); №2 – картон Adriatica™ (поперечний напрям); №3 –картон Alaska Plus(повздовжній напрям); №4 – картон Alaska Plus (поперечний напрям)

Аналіз досліджень показав, що найбільший опір до води, створює картон Adriatica™ (7,6%) та картон Alaska Plus (6,5%) в поздовжньому напрямі. Степінь проклеювання по Сооб А30 у даного картону найнижчий – 6,60 (поздовжній і 6,70 (поперечний). Менший опір до води, за результатами досліджень, має AlaskaPlus – 5,68% (поздовжній напрям) і 4,31% (поперечний напрям), змочування в якого настає значно швидше – 2,54с і 1,95 с відповідно.

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що картони мають різний опір до змочування, що слід враховувати при виборі клею і способу його нанесення на субстрат.

Відомо, що картони в машинному і поперечному напрямку мають різні властивості, що слід враховувати при проектуванні пакувань. У таблиці 1 наведені результати досліджень міцності склеювання пакувань за визначенням зусиль розшарування склеєних заготовок.

Таблиця 1

Міцність склеювання розгортки картонного пакування

Картон	Зусилля розшарування, Н		
Поздовжній напрям волокон (кількість випробувань)			
Adriatica™	230	225	250
Alaska Plus	245	250	262
Поперечний напрям волокон			
Adriatica™	240	240	255
Alaska Plus	255	260	272

Як видно, міцність розшарування склеєних розгортки в поздовжньому напрямку волокон на 3,7 % менша, ніж в поперечному (для картонів Adriatica™ і Alaska Plus). Зусилля розшарування склеєних картонів зростає – з 230 Н до 250 Н для трьох досліджуваних зразків картону Adriatica™ і з 245 Н до 262 Н (для картону Alaska Plus) у поздовжньому напрямі. Зусилля розшарування склеєних заготовок для обох картонів у поперечному напрямі на 10Н більші, ніж в поздовжньому при однаковій граматурі.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили, що на міцність склеювання картонних пакувань має поверхнева структура картонів. Морфологія поверхні картонів також визначає динаміку змочування їх клеями, впливає на проникнення компонентів клею в структуру картонів при склеюванні і визначає їх адгезію. Недостатня адгезія може призвести до розклеювання розгортки пакувань, про що свідчить дослідження міцності на розшарування. Оскільки напрям волокон картону (поперечний, поздовжній) мають різні властивості, їх слід враховувати при проектуванні пакувань і склеюванні заготовок, адже зайва волога від клею та надмірний тиск можуть викликати деформацію пакування. Дослідження структури клею, показали, що коли клей неоднорідний і занадто швидко вбирається в пористий картон, на поверхні субстрату залишається недостатньо клейової речовини для

утворення міцного зв'язку. Тому виробникам пакувань слід ретельно контролювати всі ці фактори та підбирати оптимальні комбінації клеїв та картонних матеріалів, а також налаштовувати фальцювальні-склеювальні лінії для досягнення найкращої адгезії при склеюванні та забезпечення якості продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Teletov O. S., Shatova V. M. Packing as an object of innovative marketing // Management and marketing of innovations. – 2014. – P. 11–20.
2. Green Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report By Packaging Type (Recycled, Reusable, Degradable), By Application (Food & Beverages, Healthcare), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-packagingmarket> – Назва з екрана.
3. Горцева Л. В., Костюченко Т. П., Стаднічук Н. О., Міхлик І. В., Кроніковський О. І. Особливості безпечного використання і токсикологічна оцінка сучасного харчового пакування та вимоги до нього // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 50–56.
4. Zakowska H. Opakowania a środowisko: monografia. – Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2017. – 268 s.
5. Гавва О. М., Беспалько А. П. Пакувальне обладнання. – Київ, 2008. – 436 с.
6. Інноваційні клейові технології: Революційні матеріали для майбутнього [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kolloris.org.ua> – Назва з екрана.
7. Фабуляк Ф. Г. Склеювання полімерними клеями. Теорія адгезії // Вісник академії інженерних наук. – 1994. – № 2. – С. 75–79.
8. Гавенко С. Ф. Проблеми склеювання з використанням олігомерно-полімерних клейових композицій // Наукові записки Рівненського педінституту. Фізика конденсованих високомолекулярних сполук. – Рівне, 1997. – Вип. 3. – С. 43.
9. Repeta V. Influence of surface energy of polymer films on spreading and adhesion of UV-Flexo inks // Acta Graphica. – 2013. – № 3. – С. 79–84.
10. Кшивецький Б. Я., Дацків Г. М., Андрашек Й. В. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину // Науковий вісник НЛТУ України. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 81–84.
11. Ульченко С. О., Макаренко А. О. Вплив геометричних параметрів клейового шва на якість склеювання картонних пакувань // Технологічні процеси. – 2008. – № 2(20). – С. 26–33.
12. Головацька Н. В. Дослідження експлуатаційних властивостей крохмальних клеїв. Дослідження крохмальних клеїв для виготовлення гофрокартону // Квалілогія книги : зб. наук. праць. – Львів : УАД, 2010. – Вип. 1(17). – С. 87–90.
13. Leks-Stępień J. Metody pomiaru szybkości penetracji cieczy w podłożu papierowe // Przegląd Papierniczy. – 2015. – Vol. 71, nr 12. – S. 674.
14. Кулік Л. Й. Дослідження механічних властивостей картонів // Квалілогія книги. – 2016. – Вип. 1(29). – С. 85–89.
15. Бернацек В. В., Хаджинова С. Є. Дослідження сорбційних властивостей паперу // Квалілогія книги. – Львів : УАД, 2009. – Вип. 1(15). – С. 32–35.

16. Boychuk Ya., Khadzhynova S. System analysis of comprehensive quality control of cardboard packaging // I Міжнародна науково-практична конференція «Поліграфія та упаковка майбутнього» (NextGen Print & Packaging), Львів, 21–23 травня 2025 р.: матеріали конф. [Електронне видання]. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2025.

REFERENCES

1. Teletov, O. S., Shatova, V. M. (2014). Packing as an object of innovative marketing. *Management and Marketing of Innovations*, (2014), 11–20.
2. Grand View Research. (2023). Green packaging market size, share & trends analysis report by packaging type (recycled, reusable, degradable), by application (food & beverages, healthcare), by region, and segment forecasts, 2023–2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-packagingmarket>
3. Hortseva, L. V., Kostiuchenko, T. P., Stadnichuk, N. O., Mikhlik, I. V., & Kronikovskiy, O. I. (2020). Osoblyvosti bezpechnoho vykorystannia i toksykolohichna otsinka suchasnoho kharchovoho pakuvannia ta vymohy do noho. *Naukovi pratsi Natsional'noho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 26(2), 50–56.
4. Zakowska, H. (2017). *Opakowania a środowisko: monografia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN SA.
5. Havva, O. M., & Bepalko, A. P. (2008). *Pakuvalne obladnannia*. Kyiv.
6. Innovatsiini kleiovi tekhnolohii: Revoliutsiini materialy dlia maibutnoho [Electronic resource]. (n.d.). <https://www.kolloris.org.ua>.
7. Fabuljak, F. H. (1994). Skleiuvannia polimernymy kleiamy. *Teoriia adhezii*. *Visnyk Akademii inzhenernykh nauk*, (2), 75–79.
8. Havenko, S. F. (1997). Problemy skleiuvannia z vykorystanniam olihomerno-polimernykh kleiovykh kompozytsii. *Naukovi zapysky Rivnenskoho pedinstytutu. Fizyka kondensovanykh vysokomolekuliarnykh spoliuk*, 3, 43.
9. Repeta, V. (2013). Influence of surface energy of polymer films on spreading and adhesion of UV-Flexo inks. *Acta Graphica*, (3), 79–84.
10. Kshyvetskyi, B. Ya., Datskiv, H. M., & Andrashek, Y. V. (2019). Zahalni vidomosti pro klei, skleiuvannia ta termichno modyfikovanu derevynu. *Naukovyi Visnyk NLTU Ukrainy*, 29(3), 81–84.
11. Ulchenko, S. O., & Makarenko, A. O. (2008). Vplyv heometrychnykh parametriv kleiovoho shva na yakist skleiuvannia kartonnykh pakuvan'. *Tekhnolohichni protsesy*, 2(20), 26–33.
12. Holovatska, N. V. (2010). Doslidzhennia ekspluatatsiinykh vlastyvostei krokhnal'nykh kleiv. *Doslidzhennia krokhnal'nykh kleiv dlia vyhotovlennia hofrokartonu*. *Kvalilohiia knyhy*, 1(17), 87–90.
13. Leks-Ściepiń, J. (2015). Metody pomiaru szybkości penetracji cieczy w podłoże papierowe. *Przegląd Papierniczy*, 71(12), 674.
14. Kulik, L. Y. (2016). Doslidzhennia mekhanichnykh vlastyvostei kartoniv. *Kvalilohiia knyhy*, 1(29), 85–89.
15. Bernatsek, V. V., & Khadzhynova, S. Ye. (2009). Doslidzhennia sorbtsiinykh vlastyvostei paperu. *Kvalilohiia knyhy*, 1(15), 32–35.

16. Boychuk, Ya., & Khadzhynova, S. (2025). System analysis of comprehensive quality control of cardboard packaging. In 1st International Scientific and Practical Conference “NextGen Print & Packaging” (Lviv, May 21–23, 2025): Conference proceedings [Electronic edition]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House.

doi: 10.32403/0554-4866-2025-1-89-46-57

INFLUENCE OF CARDBOARD STRUCTURE ON THE QUALITY OF PACKAGING ADHESION

Ya. A. Boychuk, S. F. Havenko, M. S. Kadyliak, L. Yo. Kulik

*Lviv Polytechnic National University
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
svitlana.f.havenko@lpnu.ua*

The modern packaging industry is adapting to the challenges of sustainable development through the use of environmentally friendly materials that meet the requirements of convenience and functionality, minimizing the negative impact on the environment. This applies to cardboard packaging, which is manufactured using gluing technologies on modern folding and gluing lines. The paper presents key factors that influence the bonding mechanism of cardboard packaging, including glue properties (viscosity, setting speed, adhesion and cohesion; cardboard characteristics and properties (porosity, surface smoothness, density and thickness); environmental conditions (temperature and humidity; preparation and adjustment of equipment (folding accuracy, pressing force, amount and place of glue application). Types of adhesions are described, which explain the formation of strong bonding in the manufacture of cardboard packaging. Based on electron microscopic studies of the surface of cardboards and glue, their significant influence on the mechanism of adhesive bonding was confirmed. The dynamics of wetting of cardboards by glues from the moment of contact with the surface was studied. It was found that cardboards have different resistance to wetting, which should be taken into account when choosing the glue and the method of its application to the substrate to ensure optimal bonding strength. The influence of the transverse and longitudinal directions of the cardboard on the delamination force of glued webs is shown. It has been shown that the mechanism of gluing cardboard packaging is a dynamic interaction between physical processes (bending, pressing, cooling/evaporation) and chemical reactions (glue polymerization), which ensures the functionality and strength of the finished packaging.

Keywords: *cardboard, packaging, adhesives, microscopy, structure, bonding, wetting dynamics, adhesion, strength, quality*

Стаття надійшла до редакції 02.05.2025.

Received 02.05.2025.