

УДК 686.1.027

DOI: 10.20535/2077-7264.1(79).2023.285537

© П. О. Киричок, д-р техн. наук, проф., Д. О. Палюх,  
асп., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИСКРЕТНОГО СКЛЕЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОБКЛАДИНОК НА ПРОЦЕСИ ПРОСТОРОВОГО ПРОФІЛЬНОГО ФАЛЬЦЮВАННЯ

**Досліджено вплив дискретних шарів клею на процес фальцювання розгорток інтегральних обкладинок під час приклеювання клапанів, включаючи зміни в ефективності, точності та якості завершеного виробу.**

**Ключові слова: інтегральні обкладинки; дискретне нанесення клею; фальцювальні пластини; зональний притиск; ресурсоощадність.**

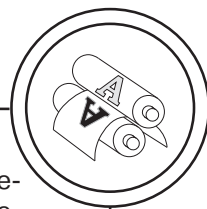
### Вступ

Якість книжкової продукції залежить від численних чинників, серед яких відіграє значущу роль проектування конструкції, кількість та послідовність технологічних процесів виготовлення обкладинок. Відомо, що обкладинки книги виконують не лише функцію захисту для сторінок внутрішнього блоку, але й служать ключовим елементом у презентації книги, її естетичному виді та загальному враженні від продукту. Вони створюють перше враження, що може значно вплинути на вибір покупця та на його сприйняття твору під час читання.

Інтегральні обкладинки, які складають окрему групу сучасних ресурсоощадних книжкових оправ, зазвичай, використовуються з метою мінімізації витратної частини виготовлення книги, за умови максимального наближен-

ня характеристик жорсткості, споживчої зносостійкості, варіабельності оздоблювальних можливостей до книжкових оправ у виді палітурок.

Конструювання складових елементів інтегральних обкладинок передбачає наявність клапанів різної геометрії, приклеєних до основної частини, у спосіб який визначає утворення подвійної клеєної анізотропної структури, без нашарувань дотичних частин клапанів. Особливості побудови такого типу обкладинок забезпечують додаткову міцність та захист від зовнішніх впливів, а також можуть суттєво покращити естетичну привабливість книги. Враховуючи суттєву вартість клейових полімерних композицій, наприкладі ПВА дисперсій, термополімеризаційних клеїв та цінову необхідність обмеження їх застосування, закономірним є викори-



стання дискретних способів нанесення шарів клею з розрахованими показниками міцності утворених обкладинок.

Дискретними можуть бути технології які включають нанесення клею на поверхню в окремих точках, лініях, стрічках або інших геометричних формах, замість того, щоб вкривати всю поверхню. Цей метод забезпечує економічне споживання клею, покращує продуктивність та часто забезпечує більшу точність при з'єднанні клапанів інтегральних обкладинок. Нанесення клею може бути виконано в різних форматах залежно від вимог до конструктивної будови обкладинок та характеристик самого клею (рис. 1).

До таких системних форматів віднесено точковий метод, що використовується у тих випадках, коли необхідна велика точність суміщення конструктивних деталей інтегральних обкладинок або клеєм треба вкрити лише невеликі ділянки поверхні (крайки в розгортках).

Лінійне нанесення — метод, у випадку застосування якого, клей наноситься у формі окремих ліній при з'єднанні великих площ поверхні для книжкових видань з максимальними форматними розмірами. У такому випадку можливі

варіанти склеювання, коли нанесення клею по всій поверхні є непотрібним.

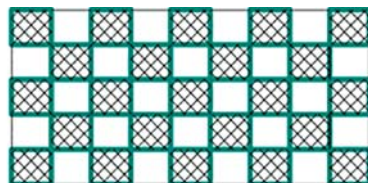
Шаблонне нанесення клею за певним шаблоном, який може включати комбінації точок, ліній, кіл або інших форм (рис. 1). Це часто використовується для створення високоякісних з'єднань з покращеним захистом від волого або інших небажаних впливів.

Окремим видом шаблонного нанесення клею є шаховий метод, що дозволяє досягти високої міцності з'єднання з одночасним ощадним використанням клею. При шаховому способі нанесення клею створюється сітка, в якій клей наноситься на певні ділянки, а між ними залишаються вільні проміжки. Це дозволяє забезпечити міцне з'єднання поверхонь, певний ступінь гнучкості, а також зменшити вагу виробу і вплив клею на загальний вид продукту.

Дискретне нанесення клею дозволяє забезпечити не тільки ощадне споживання клею, але й оптимізацію процесу склеювання, покращення якості продукту, зниження ваги й покращення естетичних характеристик книжкових виробів.

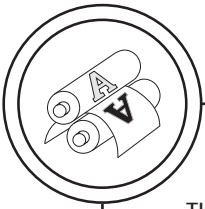


а



б

Рис. 1. Фрагменти дискретного нанесення клею: а — шаблонне, б — шахове



Тому актуальними слід вважати дослідження, спрямовані на визначення оптимальних співвідношень площини клейових шарів, нанесених за дискретною методикою [1] на конструктивні елементи інтегральних обкладинок, в процесі їх склеювання, до показників міцності отриманих анізотропних з'єднань «палітурний матеріал + клей + палітурний матеріал».

### Постановка проблеми

Клейові з'єднання відіграють важливу роль в сучасному складному процесі склеювання поліграфічних, а особливо, палітурних матеріалів, що привносить виклики з широкого спектра наукових дисциплін, включаючи хімію, механіку, термодинаміку та фізику.

Однією із численних переваг клейового з'єднання є його здатність надавати нові можливості для з'єднання матеріалів з різними фізичними та геометричними властивостями без негативного впливу на їх структуру. До того ж поєднання методів нанесення неперервного шару клею з іншими способами склеювання може сприяти ресурсоощадності та забезпеченню потрібної та достатньої міцності клейового з'єднання.

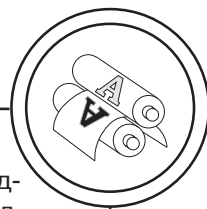
Технологічний процес створення інтегральних обкладинок містить виконання ряду операцій, що призводять до формування клейового з'єднання згідно з розробленими конструкціями макетів обкладинок. Основні етапи цього процесу включають координатне регулювання положення розгортки обкладинок, підготовку адгезивів, просторове профільне фальцювання клапанів,

затвердження клею, контроль якості з'єднання та фінішні операції. Ефективне планування та виконання цих операцій забезпечує високу міцність та довговічність клейових з'єднань півжорстких обкладинок.

### Аналіз попередніх досліджень

У дослідженні [2] основна увага зосереджена на аналізі динаміки формування півкруглих заглибин на відрізках, які створюються в процесі фальцювання розгортки, виготовлених з хром-ерзац картону. Проведено деталізований аналіз показників жорсткості при згинанні цього матеріалу. Здійснено експериментальні вимірювання, спрямовані на визначення критеріїв жорсткості та, на основі отриманих даних, розроблено аналітичну та інтегральну моделі для оцінки жорсткості зігнутої частини фальцю та всієї розгортки картону.

Дослідження виявило, що загинання клапанів для приклеювання до основи розгортки, після нашарування клею, відбувається одночасно вздовж лінії бігування. Клапани зберігають свою плоску форму від початку загинання до моменту повного приклеювання. Це забезпечує рівномірну деформацію півкруглих бігувальних заглибин і дозволяє утримати прямокутні контурні розміри двошарового клеєного виробу. Проте варто зазначити, що це дослідження не містить методики просторового криволінійного фальцювання клапанів на високошвидкісних фальцювальних лініях, а також не визначає стабілізовані можливості



утримання контурів двошарової клеєної конструкції у прямокутному виді.

У роботі [3] детально описано процес, за допомогою якого із висіченої з тонкого картону розгортки, використовуючи лінії бігування та конструктивні клапани (панелі) різних геометричних форм, створено двошарову просторову картонну конструкцію. Процес симуляції з цією картонною конструкцією полягає у зміні положення панелей та їх взаємодії. Припущено, що біговані півкруглі заглибини виступають в ролі обертових шарнірів, а картонні клапани слугують зв'язками, дозволяючи моделювати картонну конструкцію як механізм. Кінематична модель цього еквівалентного механізму відтворює рух геометричних панелей під час згинання.

Для простих картонних конструкцій прийнято, що маніпуляції відбуваються на окремих з'єднаннях між сусідніми панелями, і кожне з'єднання переходить у свою власну цільову конфігурацію. До перевірки послідовності згинання включено декілька стадій, які досліджують еквівалентні структури механізмів картонної конструкції для визначення їх симетрії або інших геометричних особливостей. Однак, попри переваги, висвітлені за результатами досліджень [3], дотримання послідовної симетрії паралельно розташованих клапанів двошарової просторової картонної конструкції, під час їх загинання, залишається нез'ясованим.

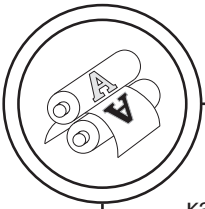
Проблематика обмеження продуктивності виробництва, зумовлена часом затвердіння клею, була суттєво розкрита в роботі [4]. Ре-

зультати цього дослідження представляють концептуальний підхід, чинники впливу, експериментальні відкриття процесів склеювання, а також спосіб інтеграції методу високошвидкісного склеювання.

Автори пропонують метод експериментальної оптимізації процесу, в якому враховуються аналіз вимог до процесу, його вибір та дослідження, а також чотири потенційних етапи валідації. Детально розглянуто еволюцію тестового стенда для проведення різних етапів валідації, що дозволяє реалізувати процеси нанесення клею, з'єднання та подальшого зсувного навантаження за час, що не перевищує одну секунду.

Завдяки проведеним експериментам, автори ілюструють зміну витрат та потенційних переваг, що впливають зі спрощення або змін у методі високошвидкісного склеювання. Проте, не дивлячись на отримані результати, авторами не досліджено вплив цих методів на фінальне розташування склеєних частин виробу та стабільність контурних розмірів.

Мета дослідження, описаного в роботі [5], полягала в аналізі впливу властивостей паперу, зокрема шорсткості поверхні, змочуваності та проникнення клею, на міцність склеювання. В результаті було виявлено, що шорсткість поверхні не корелює з міцністю склеювання, тоді як зв'язок змочуваності поверхні, вимірної кутом контакту, виявився відносно слабким. З іншого боку, проникнення рідини, виміряне за допомогою ультразвуку (ULP), продемонструвало істотну кореляцію з міцністю склеювання.



За підсумками порівняння показників швидкості проникнення клейової рідини (ULP) і фактичного поглинання клею в процесі склеювання виявлено лише помірні зв'язки. Досліджено, що проникнення та розповсюдження клею в папері залежить від застосування зовнішнього тиску під час процесу склеювання.

Виокремлено основний чинник впливу на міцність склеювання — змочування волокон та проникнення клею в них. Однак, попри отримані результати, не було представлено дані про товщину шару нанесеного клею, а також не було вказано, за якою методикою нанесено клей на склеювані поверхні — у виді суцільного чи дискретного шару.

Автори дослідження [6] відзначають, що контактний кут  $\Theta$  для полівінілацетатних дисперсій, виміряний на шорстких абсорбційних поверхнях всотуваних матеріалів, зменшується з поступовим поглинанням крапель клею. Виявлено, що три основних параметри, асоційовані з процесом поглинання (швидкість поглинання, розмір краплі клею та час знаходження краплі на поверхні), ретельно враховані при визначенні відносного поглиненого об'єму краплі — це відсоток об'єму краплі, що проникла у всотувані матеріали.

Після аналізу динаміки зміни об'єму краплі та контактного кута з плином часу, було виявлено режими заповнення дотичних поверхонь і об'ємного проникнення. Незалежно від розміру краплі, швидкості поглинання та часу її знаходження на поверхні, контактний кут зменшується приблизно на  $0,5^\circ$  до  $1,2^\circ$  для кожно-

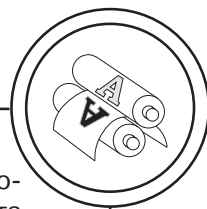
го відсоткового пункту проникнення краплі в субстрат.

Ці дані підкреслюють, що відносна кількість поглиненого об'єму краплі клею ретельно враховує сукупний вплив параметрів поглинання, що може бути використано для оцінки впливу проникнення дисперсії на вимірний контактний кут. Однак, не дивлячись на значущість цих висновків, потребує додаткового дослідження вплив розтискування крапель клею на визначення міцності склеєних матеріалів.

У даному [7] дослідженні направлено увагу на використання ультразвукового вимірювання проникнення клейових полімерних композицій (ULP) в поглинальні матеріали, яке знаходить широке застосування для оцінювання динаміки поглинання клею та характеристик склеєних матеріалів. З'ясовано, що інтерпретація результатів ULP може бути ускладненою через ряд чинників, які впливають на ультразвуковий сигнал, зокрема, повітря, яке заміщається рідиною в порах матеріалу, бульбашки повітря, які формуються під час проникнення клею та структурні зміни внаслідок набрякання склеєних матеріалів.

Аналізуючи ряд клейових полімерних композицій та субстратів у співвідношенні з вимірюванням контактного кута, встановлено, що характерну форму вимірювальних кривих ULP можна тлумачити з позицій режиму поглинання рідини.

Виявлено, що швидкий та безпосередній спад кривої кореспондує з капілярним проникненням, а нахил кривої відображає швидкість проникнення, що може



мати практичне використання під час масового виробництва, наприклад, півжорстких обкладинок. Проте, все ще залишається невизначеними декілька важливих аспектів, як-от швидкість фіксації показників вимірювання та швидкість стабілізації товщини клею у разі її відхилення.

Дослідження роботи [8] містять визначення впливу нанокристалів целюлози (CNC), використовуваних, як модифікатори властивостей адгезивів, чутливих до тиску (PSA). Ці адгезиви, зокрема, застосовуються у процесі виготовлення інтегральних обкладинок для книг та журналів.

Розроблено стабільні латексні наноккомпозити з різною концентрацією CNC від 0,25 до 1 мас. % (за масою мономера). Застосовано методи півперіодичної полімеризації *in situ* та метод змішування. Адгезивні плівки PSA, отримані обома способами, показали одночасне зростання показників міцності на зсув, адгезії та міцності на відрив.

Створення таких плівок може значно покращити зносостійкість обкладинок. Щодо продуктивності адгезивів PSA, синтезованих методом *in situ*, спостерігалося збільшення до 3,8 рази для адгезії, до 6 разів для міцності на відрив та до 20 разів для міцності на зсув. Водночас, при використанні методу змішування, ці показники зросли до 2,4 рази для адгезії, 1,5 рази для міцності на відрив та 6,4 рази для міцності на зсув.

Хоча цей метод модифікації адгезивних сумішей має очевидні переваги й практичне застосування, варто зазначити, що не було проведено дослідження на

тривалість закріплення запропонованих клейових композицій та можливість їх застосування в технологічних процесах, що потребують швидкісного переміщення склеюваних півфабрикатів виконавчими механізмами.

Робота [9] доповнює результати дослідження, наведені в роботі [8], і представляє методику підвищення адгезії полівінілацетатних дисперсій (PVAc) шляхом введення різних концентрацій наночастинок кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ) і діоксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ) — 1 %, 2 % і 3 % відповідно. За допомогою SEM мікроскопії та FTIR спектроскопії проаналізовано морфологію досліджуваних зразків паперово-клейових матеріалів.

Для визначення оптимальної адгезії на межі розділу паперу і клею, розраховано параметри адгезії, використовуючи вимірювання контактного кута, які містять роботу адгезії, поверхневу вільну енергію між фази та коефіцієнт змочування. Згідно з отриманими результатами, оптимальну міцність полівінілацетатної дисперсії PVAc досягнуто при вмісті наночастинок  $\text{SiO}_2$  у 1 %. Виявлено, що змочуваність паперово-клейкої поверхні та низька поверхнева вільна енергія інтерфази є вирішальними для високої адгезійної продуктивності. Покращення адгезійної продуктивності підтверджено випробуваннями клейових з'єднань на стійкість до відриву за Т-подібною методологією. Однак, попри вагомість доказової бази, деякі аспекти, такі як тривалість процесу склеювання до повного закріплення полівінілацетатних дисперсій та збереження цілісності склеєного виробу в процесі транс-



портування між виконавчими механізмами швидкісної фальцювально-склеювальної лінії, залишаються нез'ясованими.

У дослідженні [10] детально розглянуто специфічний сектор досліджень, присвячених PVAc, які модифіковано за допомогою наночастинок  $TiO_2$  і  $SiO_2$ , які також використовувалися у роботі [9]. Аналізується вплив цих частинок на ефективність з'єднання та структурні характеристики PVAc.

Описана методика модифікації полягає у попередньому змішуванні наночастинок  $TiO_2$  і  $SiO_2$  з дистильованою водою в пропорції 1/10 мас. і подальшій гомогенізації отриманих розчинів за допомогою ультразвукового змішувача впродовж 20 хв. Гомогенізовані розчини додано до PVAc і змішано за допомогою механічного та ультразвукового змішувача протягом 20 хв для кожного етапу.

Після застосування отриманих модифікованих полівінілацетатних дисперсій для склеювання всотуваних матеріалів проведено аналіз за допомогою рентгенівської дифракції (XRD) та трансмісійної електронної мікроскопії (TEM) PVAc. Отримано результати, які вказують на підвищення міцності зв'язку при використанні як  $TiO_2$ , так і  $SiO_2$  на 1 % і 2 %. Дані XRD та TEM демонструють гомогенну взаємодію на 1 % та 2 % між нанонаповнювачами та матрицею (PVAc). Втім, не досліджено вплив на міцність склеєних всотуваних матеріалів за допомогою модифікованих полівінілацетатних дисперсій, представлених в цій роботі.

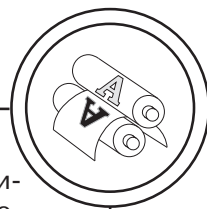
У контексті актуальної потреби в зменшенні відходів полігра-

фічної та пакувальної індустрії, особливу важливість набуває використання матеріалів, що походять з відновлюваних ресурсів. В дослідженні [11] вивчається застосування целюлозних нанofібрилів (CNF), які є відновлюваними наноматеріалами, зі значним потенціалом посилення при інтеграції в полімерну матрицю. Саме полівінілацетатна дисперсія (PVA) виступає як така матриця в цьому дослідженні.

Проаналізовано вплив додавання CNF на характеристики водного полівінілацетатного (ПВА) клею, отриманого простим змішуванням дисперсії PVA із суспензією CNF. Дослідження виявило, що в'язкість клею збільшується з додаванням CNF, особливо, коли концентрація цих нанofібрилів перевищує 5 %, та підвищується міцність на зсув. Застосування 10 % CNF в дисперсії PVA не тільки подвоює міцність на зсув, але і значно поліпшує механічні властивості склеєних всотуваних матеріалів. Найбільш виражено це спостерігається при вмісті CNF понад 7 %.

Проте, наразі залишається невизначеним час затвердіння модифікованої целюлозними нанofібрилами (CNF) полівінілацетатної дисперсії PVA, а також розмірні можливості часткового зниження структурної міцності склеєного виробу в результаті дискретного нанесення клею на склеювані поверхні.

У зв'язку з отриманими результатами наведених досліджень, стає очевидним, попри їх практичну значущість та вплив на розробку технологій склеювання інтегральних обкладинок, ряд ключових аспектів такого процесу все



ще залишається недостатньо розкритим. Специфічні процеси використання склеювальних засобів для забезпечення довговічності та якості конструкцій, особливо у контексті ресурсощадних технологій, потребують додаткового наукового вивчення та експериментальної перевірки.

Основним аргументом на користь цього є відсутність відповідних визначальних співвідношень між явищами дискретного нанесення клею, точністю приєднання клапанів інтегральних обкладинок в процесі просторового профільного фальцювання та результативною міцністю склеєних обкладинок. Вивчення цих залежностей має обмежений обсяг, що відкриває потенціал для нових досліджень. Зокрема, це може включати дослідження механізмів впливу дискретного нанесення клею на загальну міцність та стійкість обкладинок, а також впливу цих процесів на геометричні параметри обкладинок, що мають суттєві обмеження допусків.

Таким чином, за означених умов виникає об'єктивна необхідність проведення подальших досліджень у цьому напрямі. Це дозволить не тільки розширити наявний теоретичний базис, але й забезпечити практичні рекомендації з оптимізації процесів склеювання конструктивних деталей інтегральних обкладинок, що своєю чергою сприятиме технологічній ефективності.

### **Мета роботи**

Вивчення впливу дискретного нанесення клейових полімерних композицій на розгортки та

клапани інтегральних обкладинок, який формує необхідні та достатні умови для оптимізації технологічного процесу склеювання обкладинок за допомогою механізмів просторового профільного фальцювання. Виявлені фізико-механічні особливості дискретного склеювання обкладинок сприятимуть формуванню закономірностей у використанні різних видів хром-ерзац картонів та полівінілацетатних дисперсій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виявити особливості просторового профільного фальцювання крайок і клапанів, на які попередньо нанесено дискретні шари клею;

- розрахувати необхідні та достатні зусилля стискання розгортки інтегральних обкладинок для їх технологічного переміщення вздовж просторових профільних фальцювальних пластин;

- дослідити показники міцності клеєних палітурних матеріалів, використовуваних для створення інтегральних обкладинок.

### **Результати проведених досліджень**

Об'єктом дослідження є процеси просторового профільного фальцювання інтегральних обкладинок та адгезії їх конструктивних компонентів із застосуванням методики дискретного нанесення клею на дотичні поверхні. Основне припущення дослідження полягає в тому, що формування подвійної анізотропної структури обкладинок за допомогою пристроїв просторового профільного фальцювання, в умовах технологічного зонального притиску,





сприятиме удосконаленню конструктивно-технологічних характеристик інтегральних обкладинок, посиленню ресурсощадності, необхідній та достатній зносостійкості в процесі експлуатації.

У цій роботі проводиться аналітичний та експериментальний аналіз особливостей просторового профільного фальцювання крайок і клапанів з попередньо нанесеними дискретними шарами клею, вимог до зусиль стискання розгортки інтегральних обкладинок для їх переміщення вздовж фальцювальних пластин з нержавіючої сталі, а також міцності адгезивних палітурних матеріалів, використовуваних при створенні цих обкладинок. Аналіз базується на визначенні об'єктивних індикаторів розрахунку міцності приклеюваних клапанів інтегральних обкладинок засобами просторового профільного фальцювання.

У цьому дослідженні проведено експерименти з виготовлення інтегральних обкладинок із використанням механізмів дискретного нанесення клею та просторового профільного фальцювання. Для виготовлення обкладинок використано хром-ерзац картон (Україна) товщиною 0,6–1,2 мм (крок 0,1 мм) і полівінілацетатна дисперсія Planatol (Німеччина).

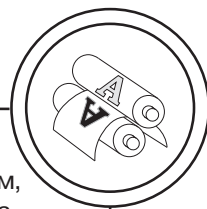
Механізми дискретного нанесення клею та просторового профільного фальцювання є невіддільними структурними складовими побудови експериментальної фальцювально-склеювальної лінії для виготовлення інтегральних обкладинок [12]. На відміну від обладнання з виготовлення книжкових оправ у виді палітурок,

лінія забезпечує швидкісну беззупинну технологію проведення експериментів.

У процесі просторового профільного фальцювання, крайки й клапани прилягають до основної площини обкладинок не одночасно, а поступово, в міру загинання в фальцювальному пристрої (рис. 2).

Тому важливо визначити необхідну і достатню кількість ділянок та форм дискретного нанесення клею на склеювані поверхні, які забезпечують поступове зональне приклеювання без можливостей розшарування зведених засобами просторового профільного фальцювання ділянок. Крім того, важливо забезпечити вирівнювання обкладинок за зовнішніми геометричними розмірами, визначеними форматами видань й допусками на виготовлення, а також унеможливити зсуви крайок і клапанів.

Транспортувальний пристрій лінії для виготовлення інтегральних обкладинок переміщує розгортку обкладинок через виконавчі механізми лінії. Під час переміщення клей дискретними ділянками нанесено на крайки й клапани розгортки, які далі фальцюються просторовими профільними пластинами. Під час просторового фальцювання крайки й клапани загинаються та приклеюються до основи розгортки. Транспортувальний пристрій складається із двох попарно розташованих стрічкових конвеєрів, що затискають розгортку обкладинок між нижньою та верхньою частинами під час транспортування вздовж просторових профільних пластин виготовлених із нержавіючої сталі.



Враховуючи використання водорозчинних ПВА дисперсій для склеювання інтегральних обкладинок, існує ймовірність попадання залишків клею на фальцювальні пластини. Тому фальцювальні пластини виготовлено з нержавіючої сталі для запобігання іржавленню. Звичайні сталеві пластини мають нижчу вартість, але вони не є стійкими до корозії.

Під час транспортування обкладинок вздовж фальцювальних пластин виникають поєднані в часі динамічні зусилля тертя між стрічками транспортувального пристрою, що транспортують розгортки обкладинок, та зусилля тертя між клапанами обкладинок і фальцювальними пластинами. Стрічки конвеєрів виконані із матеріалу NABASIT 350 (450, 550) товщиною 2 мм і шириною 30 мм. Розгортки виготовлені із хром-ерзац картону (середньої щільності, високої щільності, од-

ношарового) товщиною 0,6–1,2 мм, з кроком 0, 1 мм. Габаритні розміри обкладинок — 620×245, клапани — шириною 150 мм.

Зусилля стискання розгорток обкладинок стрічковими конвеєрами, які необхідно докласти для забезпечення переміщення розгорток обкладинок, просторового профільного фальцювання та приклеювання клапанів, на які попередньо нанесено клей, а також для подолання сили опору, яка виникає в процесі тертя не тільки між хром-ерзац картоном та транспортувальними стрічками, а й між картоном та фальцювальними пластинами з нержавіючої сталі, визначається наступними чинниками:

- товщина картону обкладинок;
- ширина клапанів;
- довжина розгортки;
- коефіцієнт тертя між картоном і стрічками конвеєра;

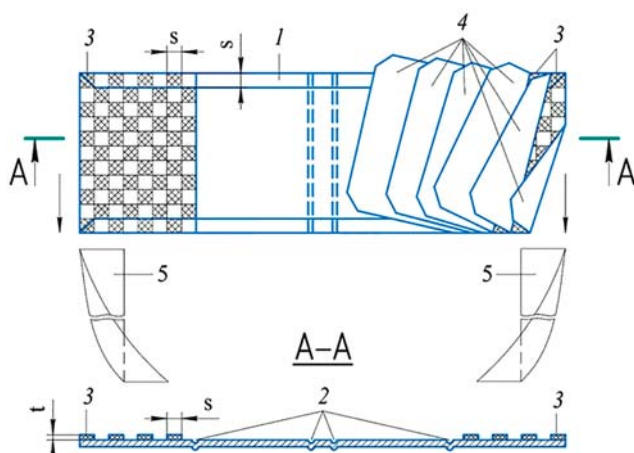
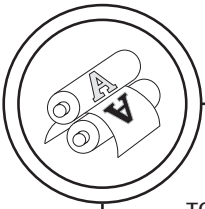


Рис. 2. Технологічна схема фальцювання клапанів інтегральних обкладинок:  $t$  — товщина клейового шару до розтискування;  $s$  — контурні розміри дискретних (шахових) ділянок клею, 1 — розгортка обкладинки; 2 — бігувальні контури; 3 — дискретні ділянки клею; 4 — етапи просторового фальцювання; 5 — загинальні пластини



— коефіцієнт тертя між картоном і фальцювальними пластинами;

— швидкість транспортування.

Розрахунок зусиль стискання визначається за наступною формулою:

$$F = \mu \times L \times W \times t \times \mu' \times L \times W \times t, \quad (1)$$

де  $F$  — зусилля стискання (Н);  $\mu$  — коефіцієнт динамічного тертя між картоном і транспортувальними стрічками;  $\mu'$  — коефіцієнт динамічного тертя між картоном і фальцювальними пластинами з нержавіючої сталі;  $L$  — довжина розгортки (м);  $W$  — ширина клапанів (м);  $t$  — товщина картону (м).

Коефіцієнт динамічного тертя є важливою характеристикою, яку слід враховувати при проектуванні пристроїв, які взаємодіють з хром-ерзац картоном, полімерно-тканинними стрічками та фальцювальними пластинами з нержавіючої сталі. Коефіцієнт динамічного тертя між хром-ерзац картоном та полімерно-тканинною стрічкою із матеріалу HABASIT може коливатися від 0,20 до 0,25. Це залежить від багатьох чинників, таких як тип хром-ерзац картону, тип стрічки HABASIT, тов-

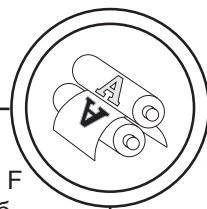
щина стрічки HABASIT, вологість повітря та чистота поверхні (табл. 1).

Коефіцієнт динамічного тертя між хром-ерзац картоном та нержавіючою сталлю становить 0,17–0,20. Під час проведення експериментальних досліджень розглянуто взаємодію між хром-ерзац картоном та нержавіючою сталлю в сухих умовах. Коефіцієнт динамічного тертя є нижчим за коефіцієнт статичного тертя, що означає, що хром-ерзац картон легше утримувати в русі по нержавіючій сталі, ніж розпочати його рух. Це пов'язано з тим, що коли хром-ерзац картон рухається по нержавіючій сталі, утворюється тонкий шар повітря між двома матеріалами, який зменшує тертя.

Тоді сила стискання, необхідна для пересування обкладинок, буде більшою або майже рівною силі тертя. Подальший розрахунок не враховує додаткові сили, які можуть впливати на систему, наприклад, силу, яку необхідно прикласти для утримання розгортки обкладинок від зсуву під час нанесення клею або фальцювання. Застосовано загальний підхід до розрахунку. Однак, існують інші чинники, які впливають на ці значення, включаючи дина-

Таблиця 1  
Вибірка типових значень коефіцієнтів тертя між хром-ерзац картоном та стрічками HABASIT

№	Тип хром-ерзац картону	Тип стрічки HABASIT	Коефіцієнт динамічного тертя
1	Хром-ерзац середньої щільності	Стрічка HABASIT 350	0,22
2	Хром-ерзац високої щільності	Стрічка HABASIT 450	0,24
3	Хром-ерзац одношаровий	Стрічка HABASIT 550	0,25



мічні сили, варіації у товщині матеріалу та нерівність поверхні загинальних пластин, утворену тривалним тертям матеріалів розгортки обкладинок впродовж швидкісного фальцювання крайок і клапанів.

Вихідні дані для обчислення:

Ширина клапанів ( $W$ ) = 150 мм = 0,15 м;

Довжина розгортки ( $L$ ) = 620 мм = 0,62 м;

Значення коефіцієнта тертя  $\mu$  = 0,22; 0,24; 0,25;

Значення коефіцієнта тертя  $\mu'$  = 0,17;

Товщини картону ( $t$ ) = 0,6–1,2 мм (крок — 0,1 мм).

Значення зусиль стискання  $F$  розгортки обкладинок було обчислено та занесено до табл. 2. Ці зусилля необхідні для забезпечення ефективного переміщення розгортки обкладинок від самонакладу поштучного відокремлення розгортки із тиражної кількості, нанесення клею на крайки і клапани та просторового профільного фальцювання до входження в блок каландрувальних валиків.

Як видно з гістограми на рис. 3, зусилля стискання збільшуються зі збільшенням товщини картону. Це пов'язано з тим, що товстіший хром-ерзац картон має

Таблиця 2

Розрахункові зусилля стискання розгортки обкладинок стрічковими конвеєрами

№	Товщина картону (мм)	Коефіцієнт тертя між картоном і транспортувальними стрічками	Коефіцієнт тертя між картоном і пластинами з нержавіючої сталі	Зусилля стискання (Н)
1	0,6	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0121864 (0,0122784) (0,012825)
2	0,7	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0142176 (0,0143256) (0,0149625)
3	0,8	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0162488 (0,0163728) (0,0171)
4	0,9	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,01828 (0,01842) (0,0192375)
5	1,0	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0203112 (0,0204672) (0,021375)
6	1,1	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0223424 (0,0225144) (0,0235125)
7	1,2	0,22 (0,24) (0,25)	0,17	0,0243736 (0,0245616) (0,02565)

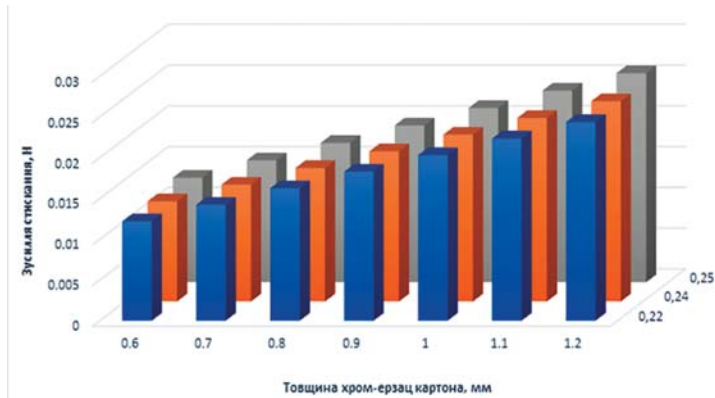
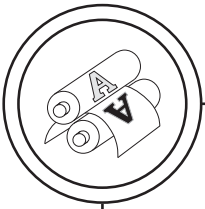


Рис. 3. Гістограма зміни зусиль стискування розгорток обкладинок

більшу масу, а отже, і більшу силу динамічного тертя по фальцювальним пластинам. Фактичні значення зусилля стискування можуть дещо відрізнитися залежно від конкретних умов експлуатації. До таких умов належать:

- стабільність технологічного процесу;
- динаміка навантаження;
- ризик, пов'язаний з недостатньою силою стискування;
- шорсткість і міцність матеріалів для виготовлення обкладинок;
- види нержавіючої сталі, з яких виготовлені фальцювальні пластини;
- зносостійкість дотичних до хром-ерзац картону поверхонь пластин.

Для компенсації динамічних ефектів, зносу матеріалів фальцювальних пластин та інших чинників необхідно забезпечити деякий запас сили. Відсоток запасу сил може значно варіюватися залежно від конкретних умов забезпечення технологічних процесів склеювання обкладинок та використання обладнання. Коефіцієнт тертя між двома матеріалами може

значно варіюватися. Тому, для представленої технологічного процесу достатнім є запас сили стискування інтегральних обкладинок в діапазоні 10–20 % від основного розрахунку, щоб компенсувати зазначені вище чинники.

Для виготовлення півжорстких обкладинок застосовано просторову профільну конструкцію фальцювального пристрою. Ця конструкція забезпечує поступове загинання клапанів, в процесі лінійного переміщення розгорток обкладинок, та поступовий зоннальний притиск їх криволінійної площини з нанесеним у дискретний спосіб клейовим шаром (рис. 4).

Просторові профільні фальцювальні інструменти (рис. 4., поз. 5) є ключовими елементами брошурально-палітурних швидкісних потокових ліній. Вони забезпечують якісний, плавний і швидкий згин клапанів інтегральних обкладинок. Це дозволяє отримати оптимальні кути згину, що є важливим для міцності та привабливості готового виробу. Крім того, просторові профільні фальцювальні інструменти допомагають скоротити час, необхідний для

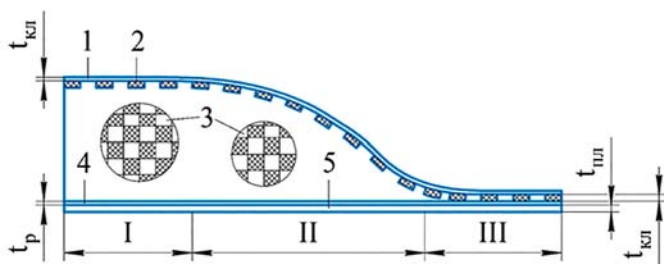
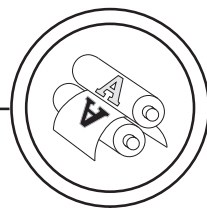


Рис. 4. Етапи фальцювання і початкового приклеювання клапанів розгортки інтегральних обкладинок: I — ділянка початкового фальцювання; II — ділянка загинання клапана; III — ділянка зонального притиску; 1 — клапан; 2 — дискретний клейовий фрагмент; 3 — фрагменти дискретного нанесення клею на площину клапана; 4 — основа розгортки обкладинки; 5 — плоский фрагмент фальцювальної пластини;  $t_p$  — товщина матеріалу розгортки;  $t_{кл}$  — товщина клапана;  $t_{кл}$  — товщина дискретного шару клею;  $t_{пл}$  — товщина фальцювальної пластини

фальцювання, що може значно підвищити ефективність виробництва.

При виготовленні інтегральних обкладинок, особливу увагу слід приділяти конструктивним особливостям їх будови з щільних палітурних матеріалів. Особливо важливо використовувати ресурсоощадні технології дискретного нанесення клею, які дозволяють уникнути значних втрат міцності склеєних виробів порівняно з методами, що використовують суцільне нанесення клею.

Під час виготовлення інтегральних обкладинок слід враховувати, що поступовий зональний притиск клапанів обкладинок під час фальцювання, до входження в систему каландрувальних валиків, може призвести до розшарування з'єднання клапана + розгортка обкладинки (рис. 5). Це може бути пов'язано з недостатньою площею дискретного шару клею, який не забезпечує надійне і беззворотне адгезивне зчеплення.

Для того, щоб запобігти розшаруванню клапанів обкладинок,

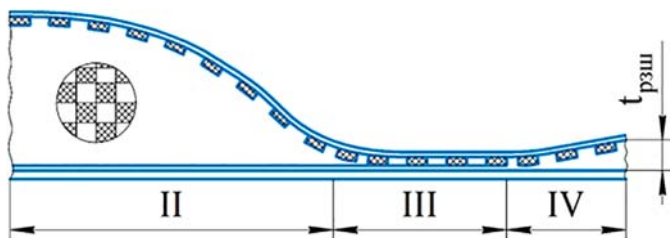


Рис. 5. Схема від'єднання фрагмента клапана від основи обкладинки: II — ділянка загинання клапана; III — ділянка зонального притиску; IV — ділянка розшарування клейового з'єднання,  $t_{рзш}$  — розмірний показник розшарування



необхідно провести дослідження та визначити оптимальну площу дискретного нанесення шару клею (рис. 6). Це забезпечить надійне адгезивне зчеплення клапанів обкладинок і унеможливить розшарування під час просторового фальцювання. Крім того, такий підхід забезпечить максимально можливу міцність склеєних обкладинок за допомогою дискретного нанесення клею, порівняно з суцільним нанесенням клею.

Застосування цих практик під час виробництва інтегральних обкладинок допоможе підвищити якість та надійність готових виробів і знизить ризик виробничих дефектів, пов'язаних з неправильним клеєним з'єднанням. Збільшена міцність та стійкість таких обкладинок дозволить досягти більш тривалого та успішного їх застосування з різними книжковими блоками.

Відповідно до результатів досліджень [12], які стосуються дискретного нанесення клейових полімерних композицій на крайки й клапани розгорток півжорстких обкладинок для утворення под-

війної клеєної анізотропної структури, встановлено, що оптимальна пропорція площини крайок і клапанів з нанесеним клеєм і без нього складає 60:40 (клей:пробіл). Дотримання вказаної пропорції при виробництві обкладинок не тільки забезпечує ефективне використання клею, сприяючи ресурсоощадності, але й гарантує створення подвійної клеєної структури обкладинок, міцність якої прямує до показників міцності конструкції з суцільним шаром клею.

Ці дослідження підтверджують, що збалансоване розподілення клею і пробілу на поверхні розгорток є ключовим чинником для створення міцних та стійких клеєних з'єднань. Подвійна клеєна анізотропна структура дозволяє досягти більш ефективного розподілу напружень і забезпечує кращу міцність та стабільність обкладинок.

Для оцінки впливу площі дискретного нанесення клею на міцність з'єднання клапанів інтегральних обкладинок в рамках технологічного процесу просторового криволінійного фальцювання, про-

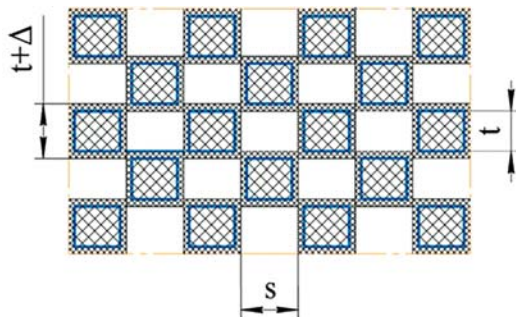
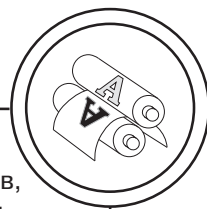


Рис. 6. Фрагмент клапана інтегральної обкладинки з нанесеним дискретним шаром клею з розтискуванням:  $t$  — розмірний показник дискретного (шахового) шару клею;  $t + \Delta$  — розмірний показник шару клею з розтискуванням;  $s$  — розмірний показник пробільних ділянок



ведено серію експериментальних досліджень. В цьому контексті, процес склеювання фрагментів хром-ерзац картону досліджено за заданих початкових умов:

1. Розміри двох склеюваних фрагментів хром-ерзац картону середньої щільності (Україна) товщиною 0,6–1,2 мм (крок 0,1 мм) (табл. 1): довжина — 150 мм; ширина — 20 мм;

2. Клей: полівінілацетатна дисперсія Planatol (Німеччина) (міцність клею: мін. — 2 Н/см<sup>2</sup>, макс. — 5 Н/см<sup>2</sup>);

3. Дискретне шахове нанесення клею на склеювані фрагменти: — вибірка площини з шаховим нанесенням клею: 40 %–90 % (крок 10 %);

— пробільна площа (без клею): 60 %–10% (крок 10 %).

Розрахунок міцності на розрив двох склеєних фрагментів хром-ерзац картону здійснено за наступною формулою:

$$S = \frac{P \times A_{\text{bond}}}{A_{\text{total}}}, \quad (2)$$

де S — міцність склеювання; P — міцність клею на одиницю пло-

щі; A<sub>bond</sub> — площа фрагментів, вкрита клеєм; A<sub>total</sub> — загальна площа склеювання.

4. Загальна площа склеювання (A<sub>total</sub>) та площа вкриття клеєм (A<sub>bond</sub>) для першого варіанта дискретного нанесення клею:

$$A_{\text{total}} = 150 \text{ мм} \times 20 \text{ мм} = 3000 \text{ мм}^2 = 30 \text{ см}^2;$$

$$A_{\text{bond}} = 0,4 \times 30 \text{ см}^2 = 12 \text{ см}^2.$$

Відповідно:

$$S_{\text{min}} = (2 \text{ Н/см}^2 \times 12 \text{ см}^2) / 30 \text{ см}^2 = 0,8 \text{ Н/см}^2.$$

$$S_{\text{max}} = (5 \text{ Н/см}^2 \times 12 \text{ см}^2) / 30 \text{ см}^2 = 2 \text{ Н/см}^2.$$

Отже, міцність на розрив двох склеєних фрагментів хром-ерзац картону середньої щільності може коливатися в межах від 0,8 до 2 Н/см<sup>2</sup>, залежно від конкретної міцності використаного клею.

Наступні розраховані показники міцності на розрив склеєних фрагментів хром-ерзац картону середньої щільності занесено до таблиці 3.

В результаті проведених обчислень встановлено, що міцність

Таблиця 3

Розрахункові показники міцності на розрив

№	Загальна площа зразків, см <sup>2</sup>	Площа заповнення клеєм	Міцність на розрив, Н/см <sup>2</sup>	
			(2 Н/см <sup>2</sup> )	(5 Н/см <sup>2</sup> )
1	30	40 % (12 см <sup>2</sup> )	0,8	2,0
2	30	50 % (15 см <sup>2</sup> )	1,0	2,5
3	30	60 % (18 см <sup>2</sup> )	1,2	3,0
4	30	70 % (21 см <sup>2</sup> )	1,4	3,5
5	30	80 % (24 см <sup>2</sup> )	1,6	4,0
6	30	90 % (27 см <sup>2</sup> )	1,8	4,5





на розрив зростає пропорційно до збільшення площі, вкритої клеєм. Ці результати є орієнтирами для виробничого контексту виявлення співвідношень дискретного нанесення клею в умовах просторового профільного фальцювання та приклеювання клапанів інтегральних обкладинок. Для забезпечення максимальної продуктивності виготовлення інтегральних обкладинок на потокових лініях необхідно додатково враховувати ряд важливих чинників, які можуть істотно вплинути на якість склеювання. Серед цих чинників можна вказати на якість використовуваного клею; стан поверхонь, що підлягають склеюванню; відносну вологість повітря; температуру; тривалість процесу склеювання та рівень навантаження на клеєні поверхні.

Використання вдосконаленого балансу між клеєм і не заклеєною поверхнею дозволяє максимізувати ефективність дискретного нанесення клею, знизити ймовірність виникнення недоліків у з'єднаних виробах та сприяє поліпшенню їх якості. При цьому важливим є дотримання досліджених параметрів, з метою забезпечення оптимальної анізотропної структури та максимальної міцності обкладинок.

У контексті розрахунку міцності склеєних фрагментів хром-ерзац картону середньої щільності, застосовано наступну формулу:

$$M = A \times F \times S \times \alpha \times \beta, \quad (3)$$

де  $M$  — міцність склеєних фрагментів,  $H$ ;  $A$  — площа склеювання,  $см^2$ ;  $F$  — міцність клею,  $H/см^2$ ;  $S$  — площа заповнення клеєм, %;  $\alpha$  — коефіцієнт нерівності по-

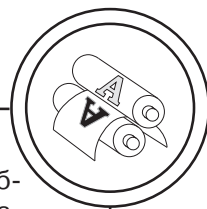
верхні хром-ерзац картону (0,1–0,5);  $\beta$  — коефіцієнт пористості хром-ерзац картону (10–40 %).

В табл. 4 занесено результати розрахунків міцності склеєних фрагментів хром-ерзац картону крайніх і середніх значень площини дискретного нанесення клею.

Таблиця 4  
Показники міцності склеєних фрагментів хром-ерзац картону

№	Площа заповнення клеєм, %	Нерівність поверхні, $\alpha$	Пористість, $\beta$	Міцність склеєних фрагментів, $H$
1	40	0,1	10	240
2	40	0,3	30	208
3	40	0,5	50	176
4	50	0,1	10	300
5	50	0,3	30	260
6	50	0,5	50	220
7	70	0,1	10	420
8	70	0,3	30	380
9	70	0,5	50	340
10	80	0,1	10	540
11	80	0,3	30	500
12	80	0,5	50	460
13	90	0,1	10	660
14	90	0,3	30	620
15	90	0,5	50	580

Як видно з табл. 4, збільшення площі заповнення клеєм і зменшення коефіцієнтів нерівності поверхні та пористості паперу або картону призводить до збільшення міцності склеєних фрагментів. Це пов'язано з тим, що більша площа клею забезпечує більшу площу контакту між фрагментами паперу або картону,



що підвищує міцність з'єднання. Також рівніша поверхня паперу або картону і менша його пористість забезпечують міцніше зчеплення клею з поверхнею паперу або картону.

Збільшення загальної площі клейових ділянок від 40 % до 100 % звичайно сприятиме підвищенню міцності клеєних півжорстких обкладинок до її максимально можливих показників, які можуть бути досягнуті за допомогою суцільного шару клею. Проте, цей підхід суттєво знижує ресурсоощадність виготовлення таких обкладинок через відсутність економії клею.

Дискретне нанесення клею є ресурсоощадною технологією, яка дозволяє зменшити витрати клею без значної втрати міцності склеєного виробу. Це важливий чинник при виготовленні інтегральних обкладинок, які часто виготовляються із щільних папірних матеріалів.

Подальше дослідження й оптимізація процесу нанесення клею можуть допомогти виявити оптимальну площу клейових ділянок, яка забезпечує необхідну міцність та високу якість обкладинок, з мінімізацією витрат клею і ресурсів. Такий підхід дозволить досягти оптимального балансу між міцністю й ефективністю виготовлення, що є ключовим чинником для успішного впровадження технології в промисловому масштабі.

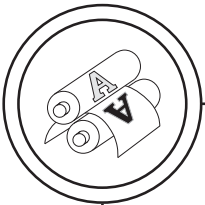
### Висновки

1. Досліджено вплив дискретних шарів клею на процес фальцювання та приклеювання крайок і клапанів інтегральних обкладинок, включаючи зміни в ефективності, точності та якості фінішного продукту. Виявлено оптимальні обсяги і методику нанесення дис-

кретних шарів клею та розроблено рекомендації для вдосконалення технології фальцювання, засновану на виявлених особливостях. Визначено фізико-механічні властивості матеріалів під час процесу фальцювання з урахуванням дискретного нанесення клею.

2. Розраховано параметри стискання розгортки інтегральних обкладинок для забезпечення їхнього технологічного переміщення засобами просторового профільного фальцювання. Процес фальцювання та приклеювання клапанів обкладинок оптимізовано, що суттєво покращило ефективність фальцювання, знизило витрати ресурсів і підвищило якість готових обкладинок. Використовуючи отримані дані, можна визначити технологічні параметри стискання для обкладинок різних типів і матеріалів. Результати цих розрахунків мають потенціал для формування нових промислових стандартів або методик роботи з обкладинками.

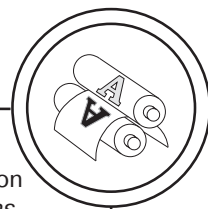
3. Досліджено показники міцності інтегральних обкладинок, що виготовлені за допомогою використання хром-ерзац картонів різної щільності та полівінілацетатної дисперсії Planatol, виробництва Німеччини. Ці матеріали широко використовуються у папірному виробництві. Проведено детальну оцінку ефективності різноманітних методів клеєння та фальцювання, а також їх впливу на міцність обкладинок. Результати цього дослідження можуть бути використані для підвищення якості виготовлення інтегральних обкладинок через добір оптимальних матеріалів та клею.

**Список використаної літератури**

1. A. Rudawska. Surface Treatment in Bonding Technology / Anna Rudawska // ACADEMIC PRESS. Lublin. Poland. 2019. pp. 7–46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817010-6.00002-3>.
2. J. S. Dai. Stiffness Characteristics of Carton Folds for Packaging / Jian S. Dai, Ferdinando Cannella // Journal of Mechanical Design. Feb. 2014. 130(2): 022305 (7 pages). <https://doi.org/10.1115/1.2813785>.
3. Yao W. Reconfigurable Automation of Carton Packaging with Robotic Technology / Wei Yao, Jian S. Dai // In book: Robotic Systems — Applications, Control and Programming. February 2012. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.intechopen.com/chapters/27406>.
4. A. Müller. Process development method for high-speed gluing and a battery-production casestudy / Alexander Müller, Muhammed Aydemir, Sezer Solmaz, Arne Glodde, Franz Dietrich // 8th CIRP Conference of Assembly Technology and Systems, Procedia CIRP. 2021. pp. 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.212>.
5. C. A. Dohr. Influence of paper properties on adhesive strength of starch gluing / Claudia Anna Dohr, Ulrich Hirn // Nordic Pulp & Paper Research Journal. 2021, November 24. Volume 37. Issue 1. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0039>.
6. Krainer S. Contact angle measurement on porous substrates: Effect of liquid absorption and drop size / S. Krainer, U. Hirn // Colloids Surf. A, Physicochem. Eng. Asp. 2021. pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126503>.
7. Waldner C. Ultrasonic Liquid Penetration Measurement in Thin Sheets / Carina Waldner, Ulrich Hirn // Physical Mechanisms and Interpretation. June 2020. pp. 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma13122754>.
8. Z. Dastjerdi. Pressure sensitive adhesive property modification using cellulose nanocrystals / Zahra Dastjerdi, Emily Dawn Cranston, Marc A. Dubé // International Journal of Adhesion and Adhesives. March 2018. Volume 81. pp. 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.11.009>.
9. G. Petković. Enhancement of Polyvinyl Acetate (PVAc) Adhesion Performance by SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> Nanoparticles / Gorana Petković, Marina Vukoje, Josip Bota, Suzana Pasanec Preprotić // Coatings. 2019. 9. no. 11:707. <https://doi.org/10.3390/coatings9110707>.
10. Bardak T. The effect of nano-TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> on bonding strength and structural properties of poly (vinyl acetate) composites / T. Bardak, A. N. Tankut, N. Tankut, E. Sozen, D. Aydemir // Measurement. 2016. 93. pp. 80–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.004>.
11. O. Chaabouni. Cellulose nanofibrils/polyvinyl acetate nanocomposite adhesives with improved mechanical properties / Ons Chaabouni, Sami Boufi // Carbohydrate Polymers. 20 January 2017. Volume 156. pp. 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.016>.
12. Палюх О. О. Теоретичні і практичні засади технологічного забезпечення якості книжкової продукції: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.01 — машини і процеси поліграфічного виробництва / Палюх Олександр Олександрович. Київ, 2021. 385 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39944>.

**References**

1. Rudawska, A. (2019). Surface Treatment in Bonding Technology. ACADEMIC PRESS, 7–46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817010-6.00002-3>.
2. Dai, J. S. & Cannella, F. (Feb. 2014). Stiffness Characteristics of Carton Folds for Packaging. *Journal of Mechanical Design*, 130(2): 022305 (7 pages). <https://doi.org/10.1115/1.2813785>.



3. Yao, W., & Dai, J. S. (February 2012). Reconfigurable Automation of Carton Packaging with Robotic Technology. In book: *Robotic Systems – Applications, Control and Programming*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/27406>.

4. Müller, A., Aydemir, M., Solmaz, S., Glodde, A., & Dietrich, F. (2021). Process development method for high-speed gluing and a battery-production case study. *Proc. 8th CIRP Conference of Assembly Technology and Systems, Procedia CIRP*, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.212>.

5. Dohr, C. A., & Hirn, U. (2021, November 24). Influence of paper properties on adhesive strength of starch gluing. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, Vol. 37, Issue 1. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0039>.

6. Krainer, S., & Hirn, U. (2021). Contact angle measurement on porous substrates: Effect of liquid absorption and drop size. *Colloids Surf. A, Physicochem. Eng. Asp.*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126503>.

7. Waldner, C., & Hirn, U. (June 2020). Ultrasonic Liquid Penetration Measurement in Thin Sheets. *Physical Mechanisms and Interpretation*, 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma13122754>.

8. Dastjerdi, Z., Cranston, E. D., & Dubé, M. A. (March 2018). Pressure sensitive adhesive property modification using cellulose nanocrystals. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 81, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.11.009>.

9. Petković, G., Vukoje, M., Bota, J., & Preprotić, S. P. (2019). Enhancement of Polyvinyl Acetate (PVAc) Adhesion Performance by SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Coatings*, 9, 11:707. <https://doi.org/10.3390/coatings9110707>.

10. Bardak, T., Tankut, A. N., Tankut, N., Sozen, E., & Aydemir, D. (2016). The effect of nano-TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> on bonding strength and structural properties of poly (vinyl acetate) composites. *Measurement*, 93, 80–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.004>.

11. Chaabouni, O., & Boufi, S. (20 January 2017). Cellulose nanofibrils/polyvinyl acetate nanocomposite adhesives with improved mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 156, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.016>.

12. Paliukh, O. O. (2021). *Teoretychni i praktychni zasady tekhnolohichnoho zabezpechennia yakosti knyzhkovoï produktsii [Theoretical and practical principles of technological assurance of the quality of book products]*. Kyiv, 385 p. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39944> [in Ukrainian].

**The object of study is the processes of spatial folding of integral cover scans and adhesion of their structural components using the technique of discrete application of glue to the contacting surfaces. The analytical and experimental studies are based on the determination of objective indicators for calculating the strength of glued integral cover scans by means of spatial profile folding.**

**Keywords: integral covers; discrete glue application; folding plates; zonal clamping; resource efficiency.**

Надійшла до редакції 02.02.23