

О.М. Савченко, С.Ф. Гавенко
Українська академія друкарства

МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ФЛОКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ СКЛЕЮВАННІ УПАКОВКИ

Проведений оптично-мікроскопічний аналіз з метою вивчення структури картону і характеру руйнування склеєних флокованих взірців після відриву. Проаналізовано різні види картонів, флоку і клейових композицій, на основі чого даються рекомендації при склеюванні упаковки із флокованих матеріалів.

The optical microscopy analysis was used to study the structure of paperboard and character of ripping of glued flocked samples after the break off. Different brands of paperboard, flock and gluing compositions have been analysed and recommendations for the gluing of various packaging made from flocked printing materials have been presented.

Постановка проблеми

Нанесення флоку знаходить застосування в текстильній [1, 2], меблевій, будівельній і інших промисловостях. В поліграфії вишуканий флокований матеріал отримують на папері/картоні [3, 4], кінцевим продуктом якого є папки, візитки, щоденники, блокноти, каталоги, дитячі книги, конверти, вітальні відкритки та ін. В пакувальній промисловості це подарункова і косметична упаковка, упаковка для елітних товарів, кондитерської продукції. Поява флокованої упаковки на ринку пакувальної продукції обумовлена високим споживчим попитом і вимагає досліджень її властивостей для забезпечення високої якості і надійності готового виробу. Якщо механічні, оптичні, сорбційні, геометричні показники якості паперів і картонів, а також експлуатаційні характеристики виробів із цих матеріалів достатньо широко досліджені, то вивченню властивостей флокованих матеріалів посвячені одиничні роботи. В першу чергу виникає потреба в необхідності досліджень процесів склеювання флокованої упаковки і її експлуатаційних характеристик, оскільки особливістю отримання флокованої упаковки є те, що в її склеюванні беруть участь дві сторони – лицева, тобто, флокована поверхня, і виворітна – картон.

Аналіз останніх досліджень

Пакувальна промисловість розвивається швидкими темпами і в широкому напрямку, включаючи різноманітність матеріалів – папір, картон, гофрокартон, плівки, пластикові матеріали, гума, шкіра. Важливість і необхідність вивчення механічних і експлуатаційних властивостей пакувальних матеріалів підтверджують проведені численні теоретичні і експериментальні роботи. Картонна упаковка знаходить широке застосування завдяки екологічних аспектів (біорозкладенню) та низькій вартості виробництва [5]. Дослідження міцності упаковок, виготовлених із гофрокартону, всебічно висвітлені в роботах [6-9]. Вченими [10,11] детально аналізуються механічні характеристики полімерних упаковок. Правильний вибір пакувального

матеріалу за його властивостями дозволить отримати необхідну якість конкретної поліграфічної чи пакувальної продукції.

Відомо, що якісно виготовлена упаковка не тільки захищає товар при складуванні, транспортуванні і від негативної дії навколишнього середовища, але й надає привабливого зовнішнього вигляду, підвищує конкурентоздатність на ринку. Оскільки технологічний ланцюжок виготовлення упаковки із флокованих матеріалів включає таку операцію як склеювання, інтересним стає вивчення явищ, які виникають в процесі їх склеювання. А це вимагає подальших досліджень в напрямку виготовлення елітної флокованої упаковки, яка б задовольняла естетичний смак споживача.

Мета роботи

Вивчення оптично-мікроскопічним методом характеру руйнування клейових з'єднань та встановлення впливу властивостей картону, флоку і клею на міцність склеювання упаковки.

Методика досліджень

В якості об'єкту досліджень були взяті готові флоковані матеріали (виробник «Ельграф», Україна), отримані на картонах: Alaska GC-2 (200 г/м^2) – целюлозний картон на основі деревної маси (термомеханічної целюлози) з двохшаровим крейдяним покриттям лицевої і проклеєною зворотньою стороною; Duplex UD-3 (350 г/м^2) – картон із 100%-ї макулатури; Neoprint GD-3 (250 г/м^2) – макулатурний картон з двохшаровим одностороннім крейдуванням з добавкою 10-13% целюлози; Arktika GC-1 (250 г/м^2) – целюлозний картон на основі деревної маси (термомеханічної целюлози) з двохшаровим крейдяним покриттям лицевої і одношаровим крейдуванням зворотньої сторони; пластиковий матеріал товщиною 0,8 мм. На кожен із матеріалів були нанесені три види флоку: капроновий флок довжиною 0,5 мм і 1,0 мм (лінійна щільність 3,3 dtex), віскозний довжиною 0,75 мм (лінійна щільність 1,75 dtex). Для дослідження відриву склеєних взірців були використані 12 різних флокованих матеріалів, які склеювали двома видами клеїв: поліуретановим двохкомпонентним марки 1405 і вододисперсійним Eucalin. Матеріал використовувався в машинному напрямку волокон (дальше – MD) і в поперечному напрямку (дальше – CD). Кількість паралельних досліджень – 10.

Ширина смужки при склеюванні вибраних нами упаковок розмірами $165 \times 118 \times 48 \text{ мм}$ і $137 \times 77 \times 37 \text{ мм}$ складала 12 мм (рис. 1 а, б), чим і обумовлений вибір розміру смужки для склеювання і подальшого відриву $12 \times 150 \text{ мм}$ (рис. 1, с). Тривалість процесу сушіння в природних умовах становить: для поліуретанового клею – 1 годину; вододисперсійного – 15 секунд. Навантаження при склеюванні, яке діє на взірці площею $0,012 \times 0,15 \text{ м}^2$ становить $2,47 \times 10^4 \text{ Н/м}^2$.

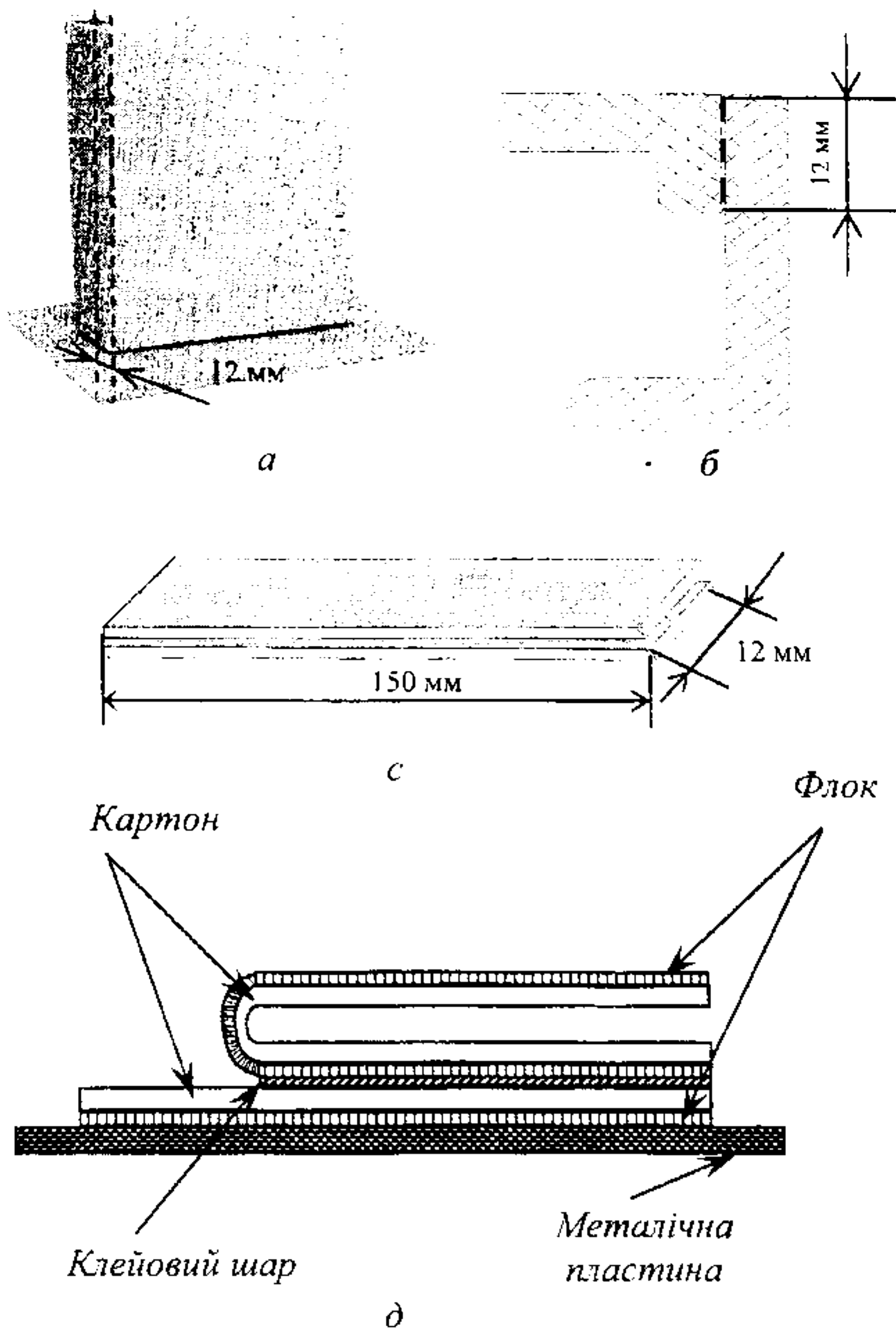


Рис. 1. Схеми склеювання і відриву флокованих взірців: а – зовнішній вигляд упаковки; б – фрагмент склеювання упаковки (вигляд зверху); с – взірці досліджуваних елементів упаковки; д – загальний вигляд методу відриву взірців

Дослідження відриву склеєних взірців проводились на машині моделі 225-1 фірми "Twing-Albert Instrument Company" згідно з методикою Peel Adhesion 180° (рис. 1, д). Швидкість відриву досліджуваних взірців була постійною і становила 100 мм/хв. Дослідження проводились при температурі 24°C і відносній вологості 55 %.

Оптично-мікроскопічний аналіз з метою вивчення структури картону і характеру руйнування склеєних флокованих взірців після відриву здійснювався з допомогою мікроскопу МБС-10 і камери ЕО-1312С (роздільна здатність 0,3 Мрхл).

Величину капілярного всотування картону визначали за стандартною методикою, яка полягала у визначенні висоти підняття рідини по капілярах картону за визначений проміжок часу після занурення одного його кінця в воду. Дослідження кількості подвійних перегинів проводили на вимірювальному приладі И-1-3.

Результати проведених досліджень

1. Структура і властивості картонів

Оскільки флокований матеріал складається із картону, при виготовленні упаковки пред'являються вимоги, пов'язані з механічною міцністю картону. Сюди відноситься міцність до розриву, розтягу, стиску, розшаровування, продавлювання та ін. Якщо для якісного друкування необхідний м'який папір, то для виготовлення упаковки – жорсткий матеріал, адже упаковка повинна виконувати функцію захисту вмістимого. Враховуючи, що картон складається із декількох елементарних шарів, до нього висувуються також вимоги: міцне з'єднання шарів між собою; відносна вологість в межах допуску; відповідна поверхнева структура картону і оптимальна ступінь проклеювання.

На рис. 2 представлена мікрофотографія флокованого взірця з нанесеним флок-покриттям на картон Neoprint GD-3, який складається із верхнього і нижнього шарів, а також вкладиша, що включає два шари.



Рис.2. Мікрофотографія структури флокованого взірця: 1 – флок-покриття; 2 – верхній шар картону (лицева сторона) – один чи декілька шарів якісної сировини (білена чи небілена целюлоза, деревна маса, відбілена макулатура); 3 – вкладиш (комбінація середніх шарів картону) – достатньо товстий шар із дешевої сировини – макулатури, деревної маси, небіленої целюлози; 4 – нижній шар картону – один чи декілька шарів якісної сировини

З метою надання кращих друкарських властивостей, на верхній, інколи і на нижній шари наноситься крейдоване покриття. Якщо представити структуру паперу/картону у вигляді шкали (рис.3), то на одному із її кінців розташуються макропористі папери, в склад яких входить деревна маса і макулатурна сировина. Правіше, при збільшенні целюлози знаходяться макропористі крейдяні. При виготовленні упаковки обмежимося макропористими картонами, які складаються із макулатурної сировини, деревної маси і незначної кількості целюлози (обведена пунктиром ділянка рис.3). Другий кінець шкали відповідно займуть чистоцелюлозні мікропористі папери, наприклад крейдовані. Лівіше розмістяться чистоцелюлозні некрейдовані папери, також мікропористі.

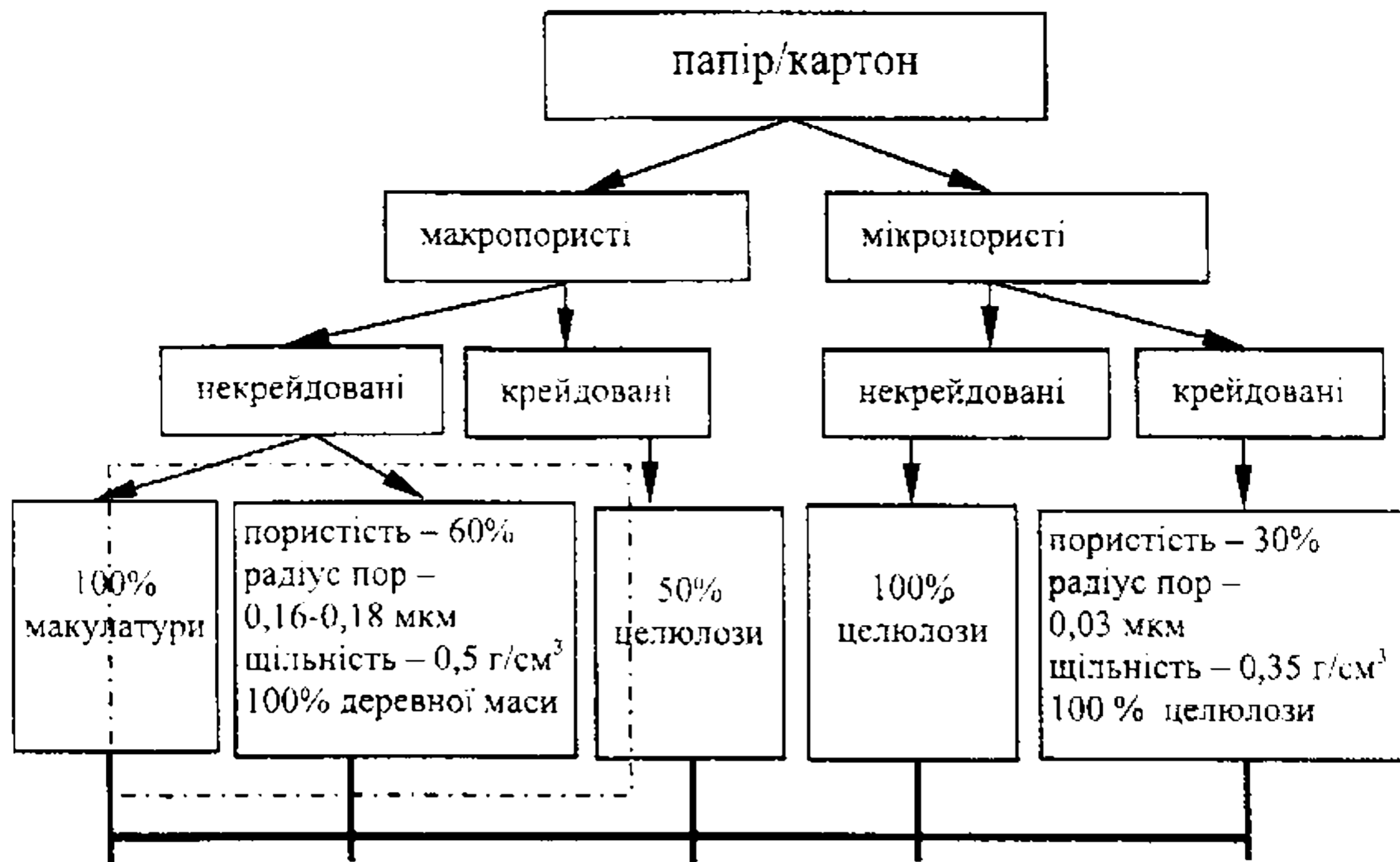


Рис. 3. Класифікація структури паперу і картону

Крейдовані папери в більшості відносяться до мікропористих чи капілярних. Для мікропористих паперів характерний механізм так званого вибіркового всотування, коли під дією сил капілярного тиску в мікропори поверхневого шару паперу всотується в основному малов'язкий компонент (розчинник), а плівкоутворювач залишається на поверхні паперу. В макропористих паперах рідина швидко заповнює великі пори, проникаючи на достатньо велику глибину за рахунок розрихленої структури, тобто сильно розвиненої внутрішньої поверхні.

Картони з вмістом деревної маси є більш шороховатими, за рахунок чого збільшується площа склеювання. Крім того, згідно механічної теорії адгезії внаслідок збільшення поверхні склеювання підвищується міцність з'єднання пористих паперів і картонів. Пояснюється це проникненням клеючої речовини в пори матеріалу, що склеюється, і утримання в ньому затверділого адгезиву у результаті механічного склеювання. Тому, чим більше відкритих пор чи чим менша щільність матеріалу, тим вища міцність склеювання.

Щільність паперу/картону залежить від кількості наповнювача і ступеня проклейки: чим вищі ці показники, тим більша щільність. В картоні з високим ступенем білизни присутні наповнювачі – білі мінеральні порошки (каолін, крейда, діоксид титану, мікротальк та ін.), які надають гладкості і мікропористості його структурі. Кількість наповнювача характеризується зольністю. З його збільшенням погіршується з'єднання з клеєм, що обмежує використання крейдованих картонів: вони погано всотують клей, тому склеювання буде дуже слабким.

Наявність наповнювача тягне за собою підвищення повітрепроникності і всотуючої здатності, зниження схильності паперу до деформації при зволоженні, зменшення його скручування. Одночасно знижуються ступінь проклейки паперу і його механічна міцність, збільшується швидкість висушування аркуша. Наявність повітря в паперовій масі при виготовленні багат шарового картону призводить до помітного зниження міжшарової міцності, внаслідок чого і відбувається розшаровування картону. Вирішити цю проблему можна шляхом проклеювання картону.

При проклеюванні переслідується дві мети: зниження гідрофільності і збільшення міцності. В першому випадку здійснюється так звана гідрофобізуюча проклейка. Інший тип проклеювання - зв'язуюча: вона скріплює волокна і знижує вищипування і пиління паперу. Чим вища ступінь проклеювання, тим жорсткішим стає матеріал.

Результати вимірювань товщини, щільності, пухкості і капілярного всотування картонів представлені в табл.1.

Таблиця 1

Характеристики картонів

№ п/п	Марка картону	Маса картону, г/м ²	Товщина картону, мм	Щільність картону, г/см ³	Пухкість картону, см ³ /г	Величина капілярного всотування, см	
						MD	CD
1	Alaska GC-2	200	0,22	0,909	1,1	0,9	0,5
2	Arktika GC-1	250	0,32	0,781	1,28	3,8	3,1
3	Neoprint GD-3	250	0,27	0,926	1,08	2,7	2,2
4	Duoplex UD-3	350	0,44	0,795	1,25	2,15	1,7

MD – машинний напрямок волокон картону;

CD – поперечний напрямок волокон картону

2. Мікроскопічний аналіз склеєних флокованих взірців після відриву

Руйнування при відриві флокованих взірців з нанесеним флок-покриттям на картони Arktika GC-1 і Alaska GC-2 відбувалось по клейовому шву незалежно від виду і розмірних показників флоку. На рис. 4 представлена мікрофотографія флокованих взірців після відриву з нанесеним флоком на картон Arktika GC-1. Характер руйнування при відриві флокованих взірців, отриманих на картоні Alaska GC-2, аналогічний. Не дивлячись на відсутність розшарування у двох видів картону різниця для різних видів флоку спостерігалась. При відриві склеєних взірців із капронового флоку довжиною 0,5 мм (рис.4,а) на звороті картону (біла поверхня) немає відірваних волокон флоку від лицевої сторони флокованого матеріалу. Зазначена ділянка (рис.4,а) показує, що в окремих місцях відбувалось вищипування поверхневого шару картону. Тоді як на звороті із віскозного флоку довжиною 0,75 мм на рис.4,б бачимо незначну кількість відірваних волокон флоку і збільшення їх числа при відриві взірців із капронового флоку довжиною 1,0 мм (рис.4,с).

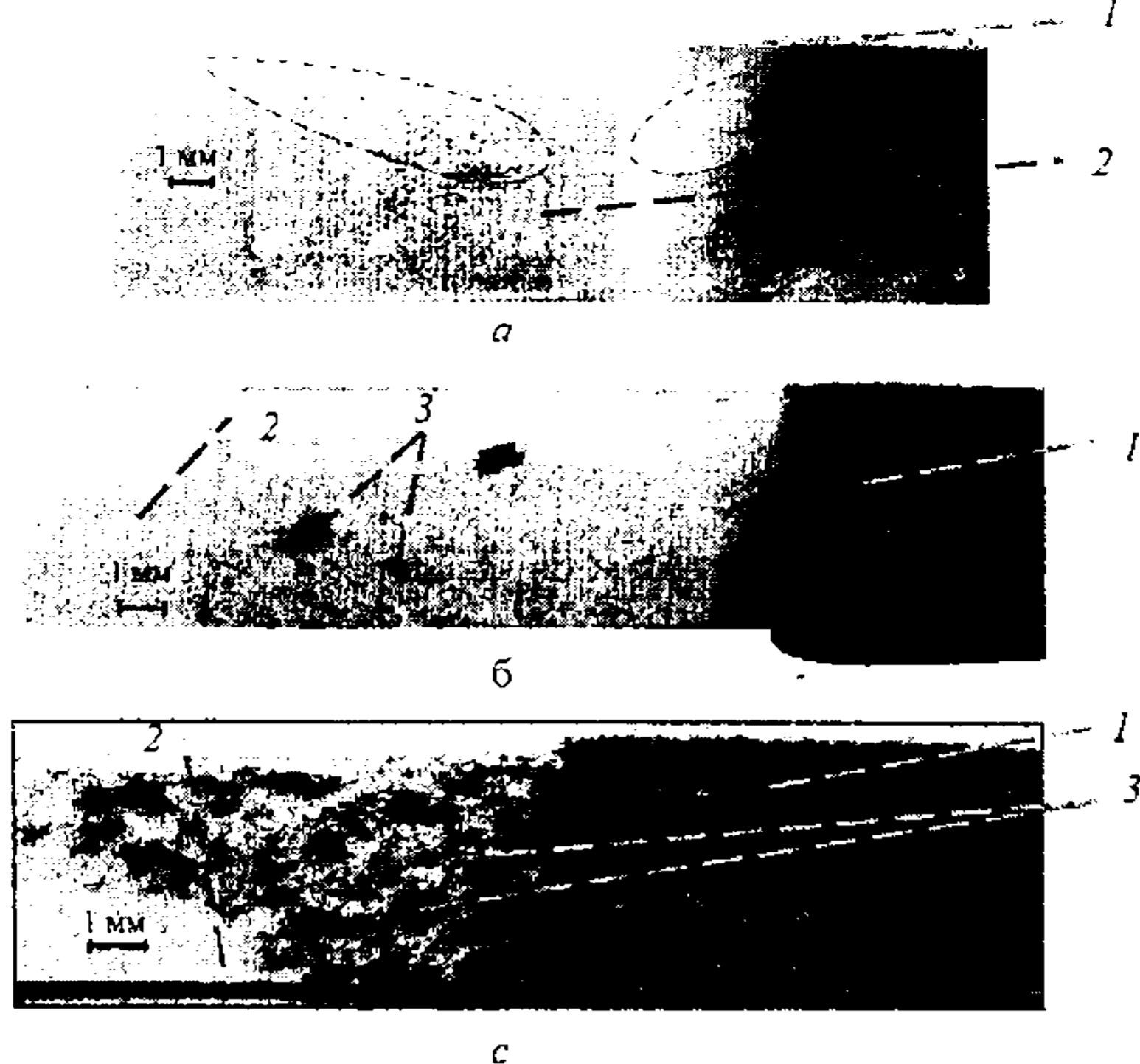


Рис. 4. Мікрофотографія склесних (клей Eukalin) флокованих взірців з нанесеним флоком на картон Arktika GC-1 після відриву: а – капронового довжиною 0,5 мм; б – віскозного довжиною 0,75 мм; с – капронового довжиною 1,0 мм: 1 – флок-покриття (лицева сторона); 2 – картон (зворотна сторона); 3 – відірвані волокна флоку

Пояснюється це довжиною волокон флоку, які використовуються при виготовленні флокованого матеріалу і відрізняються жорсткістю: чим довше волокно, тим менша жорсткість. Більш довгі волокна, занурюються в клейовий шар, згинаються верхньою своєю частиною і перешкоджають входженню в нього інших волокон. Наступні волокна проникають на незначну глибину, від чого міцність закріплення зменшується. Тому зі збільшенням довжини флоку збільшується кількість слабо приклеєних волокон, які і відриваються в першу чергу. Капроновий флок довжиною 0,5 мм внаслідок високої жорсткості приймає вертикальне положення при нанесенні його в електростатичному полі, зменшуючи тим самим кількість погано приклеєних волокон.

Але з іншої сторони, уже при склеюванні флокованої упаковки, знову флок дотикається до нанесеного клейового шару. Під дією навантаження волокна згинаються і розташовуються в ньому доволі хаотично. І якщо збільшується площа дотику флоку з клеєм, збільшується і міцність склеювання. Звідси випливає, що чим довше волокно, тим більшою своєю частиною воно склеюється з картоном і тим вище необхідно зусилля для відриву. Це підтвердили і експериментальні дослідження, де сила відриву флокованого взірця із капронового флоку довжиною 1,0 мм становила 16,0-26,0 Н, тоді як капронового флоку довжиною 0,5 мм – 12,0-18,0 Н.

Характер руйнування взірців, склеєних вододисперсійним клеєм Eukalin і поліуретановим двокомпонентним марки 1405 не відрізнявся, зменшувалась тільки міцність з'єднання при склеюванні клеєм 1405 на 32-35 %.

Через низьку міжшарову міцність картони Neoprint GD-3 і Duoplex UD-3 зразу ж починали розшаровуватись і, не доходячи до кінця смужки, відривались (рис. 5).

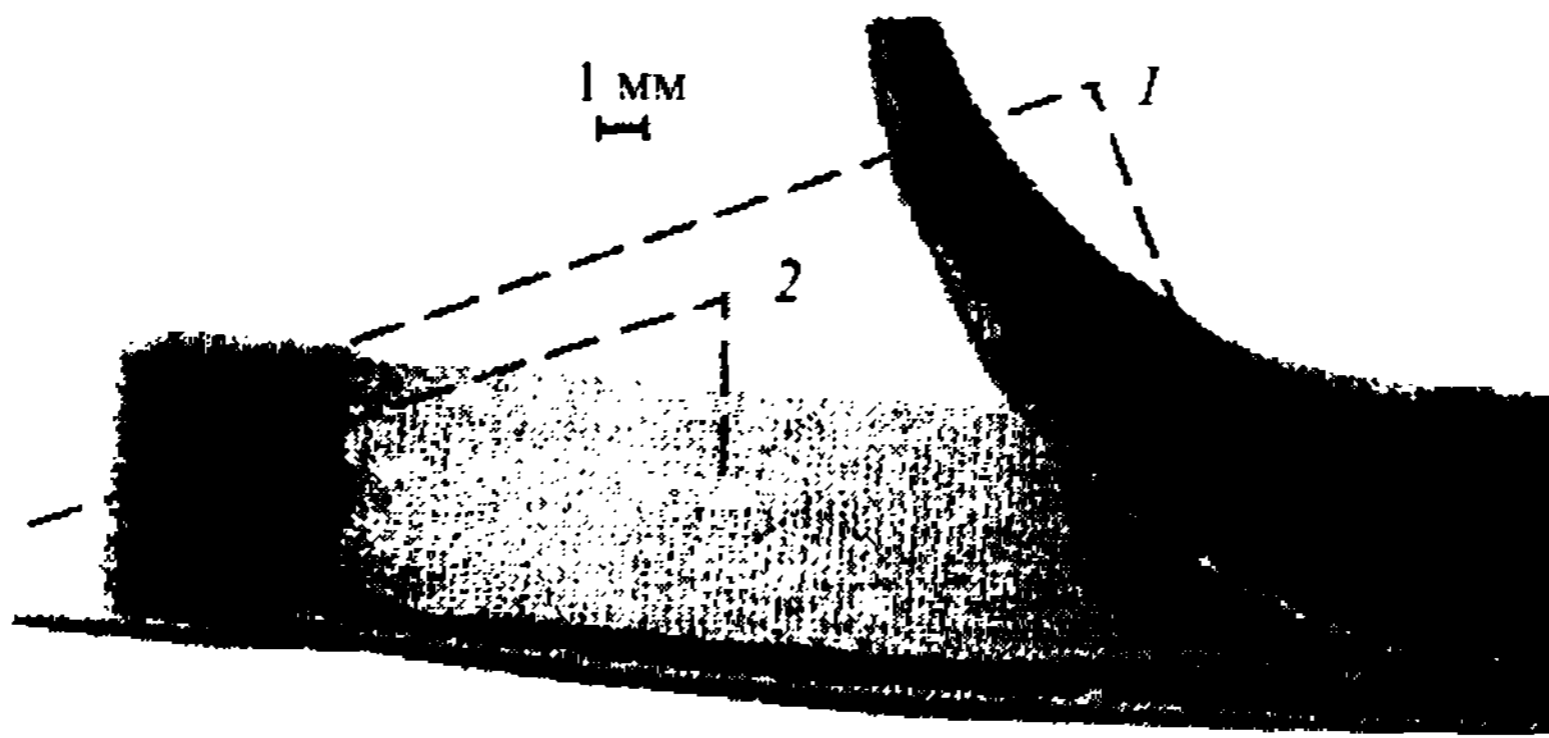


Рис.5. Мікрофотографія склеєного (клей Eukalin) флокованого взірця, отриманого із капронового флоку довжиною 1 мм і картону Duoplex UD-3, після відриву: 1 – флок-покриття; 2 – картон; 3 – клейовий шар

Інколи спостерігалась нерівномірність відриву (рис.6). Ймовірно, що прикладене зусилля в більшій мірі припадало на центр взірця, тому і руйнування відбувалось від центру до країв.

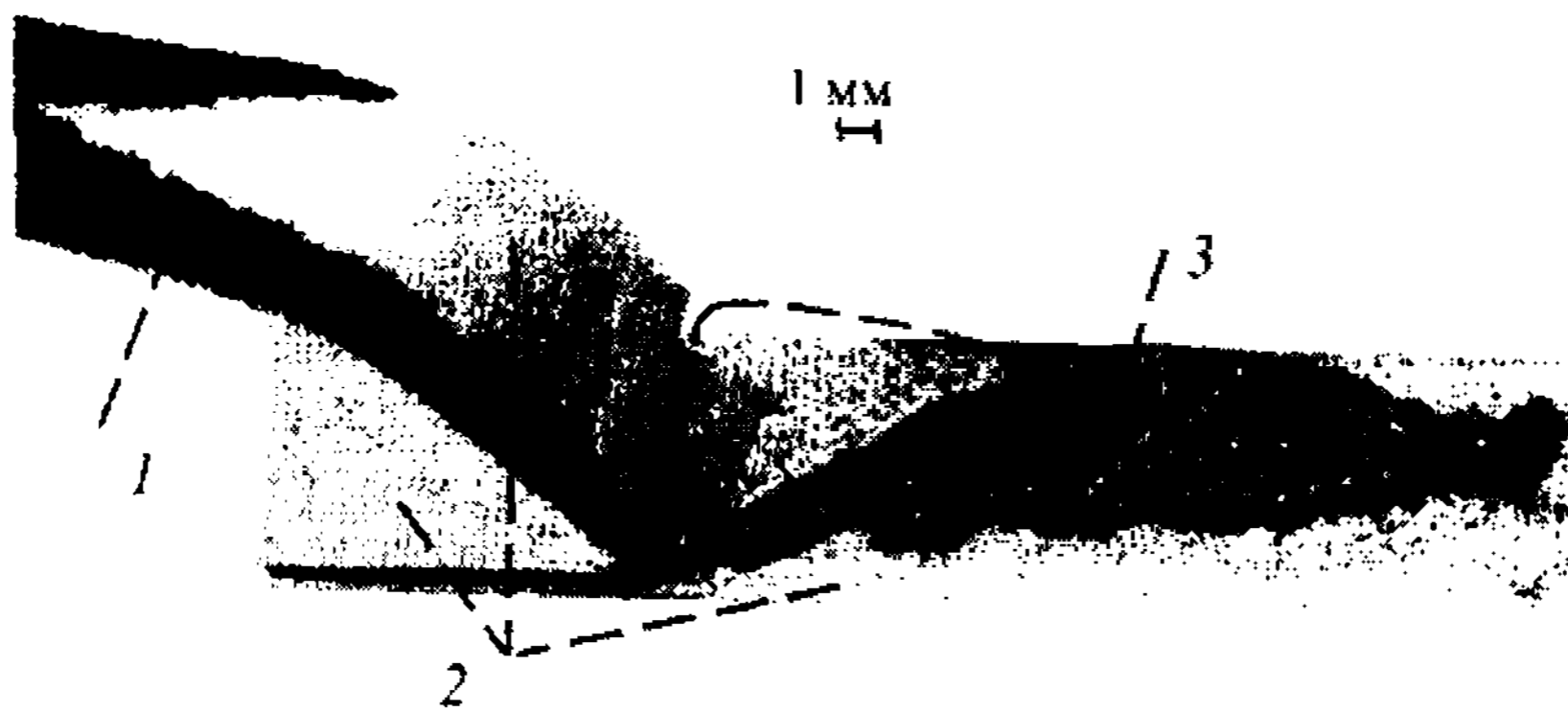


Рис.6. Мікрофотографія флокованого взірця (вигляд зверху), отриманого із капронового флоку довжиною 1 мм і картону Arktika GC-1, після відриву: 1 – флок-покриття; 2 – картон; 3 – відірване флок-покриття

Міцність поверхневого шару картону зі сторони нанесеного флок-покриття виявилась меншою за міцність склеєних взірців, тому відірвались не окремі волокна флоку, а все флок-покриття. Зазначена лінією ділянка на рис.6 свідкує про те, що спочатку відривався тільки крейдований шар картону, потім руйнувались і внутрішні шари.

Причиною нерівномірно відірваних волокон є, по-перше, низька міцність нанесеного флоку при виготовленні флокованого матеріалу; по-друге, нерівномірне змочування флоку клеєм; по-третє, різна площа дотику флоку з клеєм, а відповідно і міцність відриву.

Приймаючи до уваги мікроскопічні фотографії, проведені дослідження кількості подвійних перегинів, вимірювання капілярного всотування визначили деякі властивості картонів:

1) картон Alaska GC-2 відрізняється високим ступенем проклейки (всотування найменше і складає в напрямку MD 0,9 см; CD – 0,5 см) навіть внутрішніх шарів, оскільки відрив відбувався по клейовому шву, розшаровування картону при дослідженні взірців не спостерігалось, тільки в окремих місцях відбувалось роз'єднання внутрішніх його шарів. Про високу міцність волокон картону Alaska GC-2 свідкує кількість подвійних перегинів – 2446 циклів в напрямку MD.

2) величина капілярного всотування картону Arktika GC-1 3,8 см в напрямку MD свідкує про низьку ступінь проклейки, але наявність в картоні наповнювача, який підвищує вбираючу здатність. Разом з тим, крейдяний шар зі звороту погіршує адгезію склеюваних поверхонь, зменшуючи міцність з'єднання. Картон Arktika GC-1 складається із трьох крейдяних шарів, що надають йому підвищеної білизни і гладкості, але абразивні частинки наповнювача, які входять в картон, знижують опір картону до згину. Кількість подвійних перегинів в напрямку MD дещо зменшується (2304 циклів). Розшаровування картону Arktika GC-1 відбувалось з відривом поверхневого крейдованого шару, інколи проходило відшаровування внутрішніх шарів.

3) величина капілярного всотування картону Neoprint GD-3 складає 2,7 см. Це говорить про слабе проклеювання і наявність в ньому крейдованого шару. Із кількості подвійних перегинів (1153 циклів в напрямку MD) можна сказати, що міцність макулатурних картонів знижується в два рази, але все таки залишається достатньою, оскільки в склад картону входить приблизно 10-13 % целюлози.

4) картон Duoplex UD-3 виготовлений із макулатурної маси. Підтвердженням цьому є кількість подвійних перегинів, які витримує картон (тільки 107 циклів в напрямку MD). В порівнянні з картоном Neoprint GD-3 в 10 разів міцність зменшується, оскільки картон виготовлений із 100 % дешевої макулатурної сировини. Про багат шаровість картону і руйнування окремих шарів, а також про слабкий міжшаровий зв'язок можна спостерігати із мікрофотографії взірця після дослідження на згин.

Із чотирьох видів картонів тільки Alaska GC-2 відрізнявся сильною проклейкою. Тому при дослідженні на відрив взірців розшаровування картону не спостерігалось, тоді як у картонів Neoprint GD-3 і Duoplex UD-3 через низьку міжшарову міцність відбувалось руйнування шарів.

Отже, досягнути міцного клейового з'єднання флокованих упаковок можна тільки тоді, коли міжшарова міцність картону і міцність приклеювання флоку при нанесенні його в електростатичному полі будуть перевищувати міцність самого клейового з'єднання упаковки. Тільки в сукупності враховуючи вид і довжину волокон, із яких складається картон, ступінь проклейки, кількість наповнювача і інших домішок в паперовому матеріалі, а також властивості клею і флоку, можна отримати якісний пакувальний матеріал, який задовольняв би вимогам як при склеюванні, так і при механічній дії на упаковку.

Висновки

1. Проведеними експериментальними дослідженнями і оптично-мікроскопічним аналізом виявлено, що руйнування склеювання відбувалось по клейовому шву, здійснювалось розшарування картону чи проходив відрив волокон флоку від флокованого матеріалу. Причиною розшаровування картону є низька поверхнева і міжшарова його міцність.

2. При склеюванні флокованої упаковки не слід використовувати картони з крейдованим зворотом (картон Arktika GC-1).

3. Як при дослідженні флокованих взірців на відрив, також і на опір до згину впливає напрямок волокон. Кількість подвійних перегинів картону

Alaska GC-2 в машинному напрямку складає 2446 циклів, в поперечному – 1507 циклів (на 38,4 % менше).

4. Наявність в картоні мінерального наповнювача сприяє збільшенню вбираючої здатності внаслідок збільшення міжволоконного всотування за рахунок підвищення розмірів пор (вбираюча здатність картону Arktika GC-1 в машинному напрямку за Клеммом становить 3,8 см).

1. Самышкіна М.А., Бершев Е.Н., Павлов С.А., Петухов М.С. Производство материалов с ворсом электростатическим способом. – М.: ЦИНТИ, 1966. - 44с.
2. Бершев Е.Н. Электрофлокирование. М.: «Легкая индустрия». - 1977. - 232с.
3. Гавенко С., Мізюк О., Логазяк І., Микитин О. Дослідження системи “папір–клей–флок” при декоративному оздобленні друкованої продукції // Комп’ютерні технології друкарства. – Львів: УАД, 2004. – Вип.11. – С.223-227.
4. Мізюк О.М. Вплив фізико-механічних характеристик клею на якість оздоблення ворсом друкованої продукції //Квалілогія книги: Збірник наук. праць. – Львів: ПТВФ “Афіша”. – 2003. – Вип. 6. – С.140-144.
5. Gurav S.P., Bereznitski A., Heidweiller A., Kandachar P.V. Mechanical Properties of Paper-Pulp Packaging. *Composites Science and Technology*, 2003, No.63, p.1325–1334.
6. Marcondes J.A. Effect of Load History on the Performance of Corrugated Fibreboard Boxes. 1992, Volume 5, Issue 4, p.179-187.
7. Guo Y., Fu Y., Zhang W. Creep Properties and Recoverability of Double-wall Corrugated Paperboard. *Experimental Mechanics*, 2007.
8. Biancolini M., Brutti C. Numerical and Experimental Investigation of the Strength of Corrugated Board Packages. *Packag.Technol.Sci.*, 2003, No.16(2), p.47–60.
9. Urbanik T. Effect of Corrugated Flute Shape on Fiberboard Edgewise Crush Strength and Bending Stiffness. *J. Pulp Pap Sci*, 2001, No.27(10), p.330–335.
10. Dabkevičius A., Kibirkštis E. Investigation of Mechanical Characteristics of Polymer Films for Packaging Production. – *Mechanika*, 2006, No. 4(60), p.5-8.
- Baramboim N. K. Some Peculiarities of Mechanical Breakdown of Components in Mechanical Dispersion of Polymer Mixtures. – *J. of Applied Polymer Science*, 2003, Volume 18, Issue 9, p.2617 – 2621.