

УДК 655.326.1:621.798.1

ФЛЕКСОГРАФІЧНИЙ ДРУК НА АЛЮМІНІЄВІЙ ФОЛЬЗІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

П. Б. Валовий

НУ «Львівська Політехніка», вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна,
<https://orcid.org/0009-0001-9989-7190>, pavlo.a.valovyi@lpnu.ua



Ліцензія Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0).

У статті розглянуто технологію флексографічного друку як провідний метод нанесення зображень на алюмінієву фольгу при виготовленні пакувальної продукції. Проаналізовано фізико-хімічні властивості алюмінієвої фольги як специфічної друкарської основи. Охарактеризовано ключові технологічні особливості флексографічного процесу на металевій основі: специфіку підготовки поверхні (плазмова обробка та коронним розрядом, нанесення адгезійних праймерів), вибір анілоксових валиків з оптимальними параметрами гравіювання, режим мінімального тиску, вимоги до спеціалізованих фарбових систем. Детально розглянуто явище розтискування растрової крапки на негігроскопічній поверхні та методи його компенсації на етапі додрукарської підготовки. Проаналізовано вплив металевої підкладки на кольоровідтворення та оптичні характеристики відбитків. Систематизовано переваги флексографічного методу для друку на фользі, виокремлено основні обмеження технології та типові дефекти з аналізом причин їх виникнення та методів усунення. Результати дослідження мають практичне значення для оптимізації технологічних процесів виробництва пакувальної продукції з алюмінієвої фольги.

Ключові слова: флексографічний друк, алюмінієва фольга, гнучке пакування, розтискування растрової крапки, адгезія фарби, анілоксовий валик, кольоровідтворення.

Постановка проблеми. Алюмінієва фольга посідає особливе місце серед сучасних пакувальних матеріалів завдяки унікальному поєднанню функціональних властивостей: абсолютній бар'єрності щодо світла, кисню та вологи, відмінній формованості, механічній міцності при мінімальній товщині та характерному металевому блиску, який асоціюється з преміальною якістю продукту [1]. Друк на алюмінієвій фользі є обов'язковим етапом виробництва широкого спектру пакувальної продукції — від харчових та фармацевтичних пакувань до преміум-етикеток алкогольних напоїв і косметичних засобів [2, 3].

Водночас алюмінієва фольга є одним із найскладніших матеріалів для друку. Її негігроскопічна металева поверхня, низька поверхнева енергія, схильність до

деформації під тиском та специфічні оптичні властивості створюють комплекс технологічних викликів, що суттєво відрізняють процес друку на фользі від традиційного паперового виробництва [4, 5]. Відсутність систематизованих науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації технологічних параметрів флексографічного друку на алюмінієвій фользі є актуальною проблемою, що гальмує розвиток вітчизняної пакувальної галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням якості флексографічного друку на алюмінієвій фользі присвячено ряд наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів. Конохова І. І., Рибка Р. В., Ривак П. М. та Гук І. Р. [2] провели комплексне дослідження якості друку етикеткової продукції на алюмінієвій фользі, встановивши оптимальні параметри анілоксових валиків та вимоги до фарбових систем. Borbély Á. та Szentgyörgyvölgyi R. [6] дослідили колориметричні властивості відбитків флексографічного друку на фользі та встановили нелінійний характер залежності колориметричних параметрів від друкарського тиску. Liu J. H. та співавтори [4] розробили математичні моделі кольороутворення на алюмінієвій фользі з урахуванням відбивання від металевої підкладки.

Технологічний процес флексографічного друку на гнучких матеріалах досліджено у роботах Кукури Т. Ю. [3], Жолек-Тризновської З. та співавторів [7], які встановили вплив умов друку на тоновий приріст при відтворенні на полімерних плівках. Оліхневич В. С. [8] систематизував проблеми друку на невбираючих матеріалах та методи підготовки їх поверхні. Авдяков Є. В. та Золотухіна К. І. [5] провели аналітичний огляд сучасних технологій виготовлення гнучкого пакування. В дослідженні Mahmoud M. [9] порівняно флексографічний та цифровий друк на блістерній фользі для фармацевтичної промисловості. Mandal M. та Vandyopadhyay S. [10] вивчали стабільність друку на фользі методами спектрального аналізу та з використанням штучних нейронних мереж.

Незважаючи на значний обсяг досліджень окремих аспектів флексографічного друку на фользі, відсутні систематизовані дослідження, які б охоплювали весь комплекс технологічних особливостей, переваг, недоліків та обмежень цього методу у взаємозв'язку. Це визначає актуальність та мету даної публікації.

Мета статті — систематизувати та узагальнити технологічні особливості флексографічного друку на алюмінієвій фользі, визначити його переваги, недоліки та обмеження на основі аналізу сучасних наукових досліджень і виробничого досвіду.

Виклад основного матеріалу дослідження. Алюмінієва фольга як друкарська основа пакувальної продукції виготовляється переважно із сплавів серій 1xxx та 8xxx, де вміст алюмінію перевищує 99% [1]. Товщина фольги варіюється залежно від сфери застосування та визначає комплекс властивостей матеріалу як для функціонування пакування, так і для технологічного процесу друку (табл. 1).

З точки зору друкопридатності, алюмінієва фольга характеризується низкою специфічних властивостей. По-перше, поверхня фольги покрита природним оксидним шаром Al_2O_3 товщиною 2–10 нм, що суттєво знижує поверхневу енергію (менше 30 мН/м для необробленої поверхні) і унеможливорює адгезію більшості

стандартних фарб [8]. По-друге, абсолютна негігроскопічність металевої поверхні виключає механізм абсорбційного закріплення фарби, притаманний паперу. По-третє, висока відбивна здатність фольги (до 85% для полірованих поверхонь) кардинально змінює характер кольороутворення порівняно з білим папером [4]. По-четверте, тонка фольга є надзвичайно схильною до деформації — навіть незначний надлишковий тиск під час друку може спричинити незворотні зміни форми матеріалу.

Таблиця 1

Характеристика алюмінієвої фольги залежно від сфери застосування

| Сфера застосування | Товщина фольги | Технологічні особливості для друку |
|--|----------------|--|
| Для гнучкого харчового пакування | 6–20 мкм | Висока пластичність, легка деформація при тиску, потребує мінімального тиску друку |
| Для блістерного пакування (фармацевтика) | 20–25 мкм | Вища жорсткість, підвищена міцність до розриву, стійкість до стерилізації |
| Для етикеток преміум-класу | 12–20 мкм | Висока гладкість, металевий блиск, формостійкість при нанесенні на виріб |
| Для ламінованих структур | 6–9 мкм | Компонент багат шарового матеріалу, найнижча власна жорсткість |

Ключовим етапом технологічного процесу флексографічного друку є підготовка поверхні алюмінієвої фольги, мета якої — підвищення поверхневої енергії до рівня, що забезпечує змочування та адгезію фарбових систем. Найпоширенішим методом є обробка коронним розрядом, яка підвищує поверхневу енергію до 40–44 мН/м за рахунок іонізації межового шару повітря та окислення поверхневого шару матеріалу [3]. Альтернативою є плазмова обробка, яка забезпечує більш рівномірний та глибший вплив, проте є складнішою в реалізації в умовах рулонного виробництва [8].

Для матеріалів з підвищеними вимогами до адгезії або у випадку нанесення фарб на основі розчинників поверх попередніх шарів застосовуються адгезійні праймери – тонкі шари спеціальних полімерних сполук (поліетиленмін, поліуретанові системи), що хімічно зв'язуються як з металевою поверхнею, так і з фарбовим шаром [3]. Конюхова І. І. та співавтори [2] встановили, що адгезія фарби до фольги суттєво залежить від якості попередньої обробки поверхні – недостатня підготовка є (рис. 1) найчастішою причиною відшарування фарбового шару.

Вибір фарбової системи є критичним параметром, що визначає якість та довговічність друку на алюмінієвій фользі. На відміну від паперового пакування, де для друку широко застосовуються водні фарби зі стандартними параметрами адгезії, для фольги потрібні спеціалізовані фарбові системи трьох основних типів:

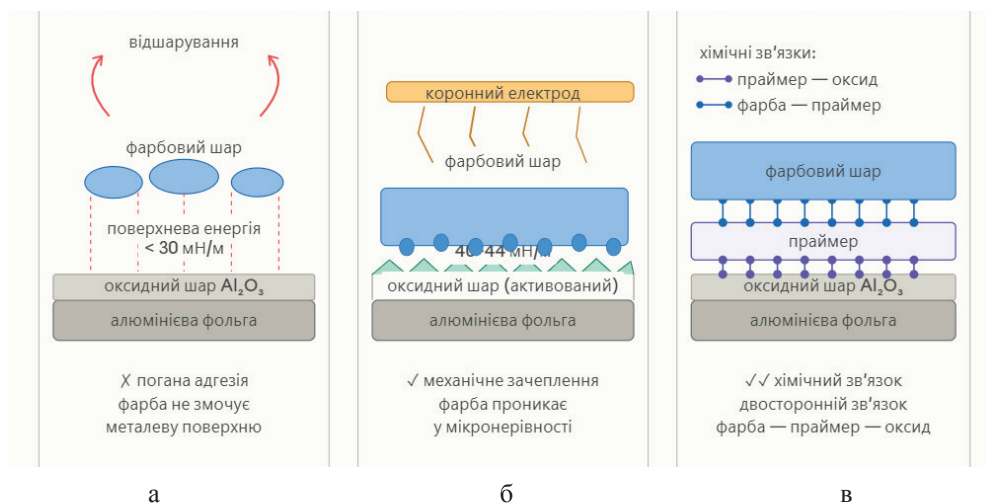


Рис. 1. Порівняльна схема механізмів адгезії фарбових систем до поверхні алюмінієвої фольги: а — без обробки (низька поверхнева енергія, відшарування); б — після обробки коронним розрядом (механічне зачеплення); в — з праймером (хімічний зв'язок)

- Фарби на основі органічних розчинників традиційно забезпечують найкращу адгезію до металевих поверхонь завдяки здатності розчинника проникати в мікронерівності поверхні та забезпечувати механічне зачеплення [5]. Проте вони потребують ефективних систем рекуперації розчинників та дотримання вимог екологічного законодавства щодо викидів летких органічних сполук.
- Водні фарби є пріоритетними з екологічної точки зору, однак потребують більш ретельної підготовки поверхні та застосування адгезійних праймерів. Mandal M. та Vandyopadhyay S. [10] встановили задовільний рівень стійкості водних фарб на фользі ($\Delta E = 3-6$ після 1000 год. світлового опромінення), що є допустимим для більшості видів пакувальної продукції.
- УФ-полімеризаційні фарби набувають все більшого поширення завдяки миттєвому закріпленню, відмінній стійкості до механічних впливів та відсутності розчинників. Дослідження [10] показали, що УФ-фарби забезпечують найкращу світлостійкість ($\Delta E < 3$ після 1000 год.), що робить їх оптимальними для фармацевтичного та косметичного пакування. Проте УФ-фарби є більш крихкими порівняно з водними та сольвентними системами, що потребує додаткової перевірки гнучкості фарбового шару [7].

Анілоксовий валик є ключовим елементом системи дозування фарби у флексографічній машині. Для друку на алюмінієвій фользі вибір параметрів анілоксу є особливо відповідальним завданням. Дослідження [2] показали, що оптимальна лініатура гравіювання для друку плашок на фользі становить 360–550 лін/см, а об'єм комірок — 2,5–5 см³/м², що забезпечує необхідну оптичну щільність без надлишкового нанесення фарби. Для відтворення растрових зображень з високою лініатурою Mahmoud M. [9] рекомендує анілоксові валики з лініатурою 360–400 lpi та малим об'ємом комірок, що дозволяє мінімізувати розтискування растрової крапки.

Важливим аспектом є регулярне технічне обслуговування анілоксових валиків, оскільки засмічення комірок є однією з найпоширеніших причин нерівномірності фарбового шару (смугастості) при друці на гладкій металевій поверхні [3].

Режим тиску є найкритичнішим технологічним параметром при флексографічному друці на алюмінієвій фользі. На відміну від паперу, фольга практично не компенсує надлишковий тиск завдяки власній пружності та пористості, що призводить до незворотної деформації матеріалу. Загальноприйнятим у галузі є принцип «kiss-print» — мінімально необхідний контакт форми з матеріалом, за якого забезпечується повний перенос фарби без механічного ушкодження фольги [3, 9].

Borbély Á. та Szentgyörgyvölgyi R. [6] встановили, що оптимальний діапазон тиску для стабільного кольоровідтворення на фользі є відносно вузьким, а залежність колориметричних параметрів від тиску — нелінійною. При цьому жовтий та пурпурний кольори виявляють більшу чутливість до варіацій тиску порівняно з блакитним та чорним, що необхідно враховувати при налаштуванні багатofарбових машин.

Відтворення растрових зображень на алюмінієвій фользі супроводжується значно більшим тоновим приростом порівняно з друком на папері. Це явище обумовлене низькою абсорбцією та розтіканням фарби по негігроскопічній поверхні [2, 7]. Автори [7] встановили, що збільшення тиску друку та в'язкості фарби призводить до суттєвого зростання тонового приросту на полімерних плівках; аналогічна закономірність характерна і для алюмінієвої фольги.

Для компенсації розтискування Попова К. О. [11] рекомендує розробку індивідуальних компенсаційних кривих та ICC-профілів для кожної комбінації фольги, фарбової системи та умов друку. Технологія HD Flexo, що передбачає лініатуру растру понад 200 lpi та стохастичне або гібридне растрування, дозволяє зменшити розтискування на 3–5% порівняно з традиційною флексографією та відтворювати штрихові елементи товщиною до 30 мкм [1].

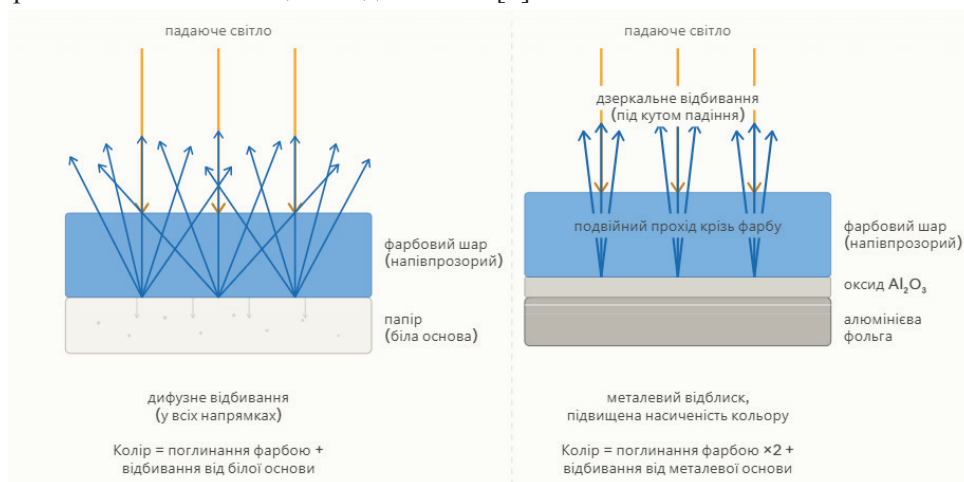


Рис. 2. Порівняльна схема кольоровідтворення при флексографічному друці:

- а — на папері (абсорбційне закріплення, відбивання від паперу);
- б — на алюмінієвій фользі (металеве відбивання крізь фарбовий шар)

Унікальною особливістю флексографічного друку на алюмінієвій фользі є специфічний характер кольоровідтворення, принципово відмінний від процесів на непрозорому папері (рис. 2). Напівпрозорі флексографічні фарби, нанесені на металеву основу, пропускають частину світла, яке відбивається від поверхні фольги та повертається крізь фарбовий шар, утворюючи характерний металевий відтінок. Liu J. H. та співавтори [4] розробили модифіковані моделі Нойгебауера та Кубелки-Мунка для металевих основ, що дозволяють прогнозувати колір відбитків з колірними відмінностями менше 3 одиниць ΔE .

Текстура поверхні фольги суттєво впливає на характер кольоровідтворення: глянцева фольга з дзеркальним відбиванням створює більш насичені та контрастні кольори, тоді як матована фольга з дифузним розсіюванням дає м'якші відтінки [4]. Chen C. L. та співавтори [12] встановили систематичні колірні відмінності між друком на товстій алюмінієвій пластині та тонкій фользі, обумовлені різницею в мікрорельєфі поверхні та товщині матеріалу.

Таблиця 2

**Типові дефекти флексографічного друку на алюмінієвій фользі,
їх причини та методи усунення**

| Дефект | Причина виникнення | Метод усунення |
|--|--|--|
| Відшарування фарби | Недостатня поверхнева енергія фольги; відсутній або неякісний праймер; несумісна фарбова система | Обробка коронним розрядом до 40–44 мН/м; підбір спеціалізованих фарб для металевих основ; нанесення адгезійного праймера |
| Надмірне розтискування растрової крапки | Розтікання фарби по негігроскопічній поверхні; завищений тиск друку; висока в'язкість фарби | Зменшення розмірів крапки на формі; мінімізація тиску; зниження в'язкості фарби |
| Зморшкування та деформація фольги | Надмірний тиск у зонах друку та транспортування; нерівномірний натяг; механічний удар | Режим «kiss-print» (мінімальний тиск); налаштування системи натягу; контроль балансу між секціями |
| Нерівномірність фарбового шару (смугастість) | Засмічення комірок анілоксового валика; нерівномірне подавання фарби; вібрація машини | Регулярне чищення анілоксу; контроль в'язкості та pH фарби; технічне обслуговування обладнання |
| Зміна відтінку кольору | Відбивання світла від металеві підкладки крізь фарбовий шар; варіації товщини фарбового шару | Створення ІСС-профілів для конкретної фольги; корекція колірних кривих; нанесення білого ґрунту |

Флексографічний метод є домінуючою технологією для друку на алюмінієвій фользі в промислових масштабах, що обумовлено низкою суттєвих переваг. Висока продуктивність рулонних флексографічних машин (120–300 м/хв) та можливість роботи з різними форматами забезпечують рентабельність виробництва широкого спектру накладів [9]. Порівняно з глибоким друком, флексографія вимагає значно менших інвестицій у виготовлення форм при достатній якості зображення для переважної більшості пакувальної продукції [5]. Valaban P. та співавтори [13] встановили, що флексографічний процес чинить мінімальний механічний вплив на гнучкі матеріали, що є особливо цінним при роботі з тонкою фольгою.

Поряд з перевагами, флексографічний друк на алюмінієвій фользі має ряд суттєвих обмежень та є схильним до специфічних дефектів, систематизованих у табл. 2.

Для об'єктивної оцінки переваг та обмежень флексографічного методу необхідно розглянути його в контексті альтернативних технологій (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняльна характеристика методів друку на алюмінієвій фользі

| Параметр | Флексографія | Глибокий друк | Цифровий друк |
|---------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|
| Продуктивність | 120–300 м/хв | 80–200 м/хв | 20–50 м/хв |
| Тиск на матеріал | Мінімальний (1–5 Н/см ²) | Середній (5–15 Н/см ²) | Мінімальний |
| Якість растру | До 150 lpi (HD Flexo — до 220 lpi) | До 200 lpi і вище | До 1200 dpi |
| Вартість форм | Середня | Висока | Без форм |
| Рентабельний наклад | Від 5 000 м | Від 20 000 м | До 5 000 м |
| Адгезія на фользі | Добра (з праймером) | Відмінна | Задовільна (потребує обробки) |
| Типове застосування | Харчове, фармацевтичне пакування, етикетки | Преміум-пакування | Короткі наклади, персоналізація |

Порівняльний аналіз свідчить, що флексографічний друк займає оптимальну нішу між глибоким та цифровим методами: поступаючись глибокому друку за максимальною якістю відтворення растрових зображень, він суттєво перевершує його за гнучкістю та собівартістю при середніх накладах, тоді як порівняно з цифровим друком — забезпечує вищу продуктивність та крашу оптичну насиченість кольорів на металевій поверхні [5, 9]. Mahmoud M. [9] встановив, що для великосерійного фармацевтичного виробництва флексографічний друк забезпечує продуктивність понад 150 м/хв проти 20–30 м/хв для цифрових систем, що робить його безальтернативним вибором для промислових обсягів.

Висновки. Флексографічний друк є провідною технологією нанесення зображень на алюмінієву фольгу в пакувальній промисловості, що забезпечує оптимальне поєднання продуктивності, якості та економічності при середніх та великих накладках. Специфіка алюмінієвої фольги як друкарської основи зумовлює комплекс технологічних вимог: обов'язкову підготовку поверхні до рівня поверхневої енергії 40–44 мН/м, застосування спеціалізованих фарбових систем, режим мінімального тиску («kiss-print») та індивідуальні ICC-профілі для кожної комбінації матеріалів.

Характерною проблемою флексографічного друку на фользі є підвищений тоновий приріст на негіроскопічній поверхні, що потребує компенсації на етапі додрукарської підготовки через зменшення розмірів растрових елементів на формі та застосування стохастичного растрування. Металева підкладка кардинально змінює характер кольоровідтворення через відбивання світла крізь напівпрозорі фарбові шари, що вимагає розробки специфічних моделей управління кольором.

Перспективами подальших досліджень є розробка уніфікованих методик оптимізації параметрів флексографічного друку для конкретних типів алюмінієвої фольги, а також вивчення можливостей технології HD Flexo для підвищення якості відтворення зображень на металевих основах до рівня, що конкурує з глибоким друком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Total Materia. Aluminum alloys for packaging applications. URL: <https://www.totalmateria.com/en-us/articles/aluminum-alloys-for-packaging-applications/> (дата звернення: 15.03.2025).
2. Конюхова І. І., Рибка Р. В., Ривак П. М., Гук І. Р. Дослідження якості друкування етикеткової продукції з алюмінієвої фольги. *Квалілогія книги*. 2020. № 1. С. 16–22.
3. Кукура Т. Ю. Удосконалення технологічного процесу флексографічного друку гнучких паковань : дис. ... д-ра філос. : 186. Київ, 2022.
4. Liu J. H., Mao T. T., Liu Q. L., Gao S. H. Research on Color Matching and Reproduction on Aluminum Foil Packaging Materials. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 469. P. 273–277.
5. Авдяков Є. В., Золотухіна К. І. Аналітичний огляд сучасного стану технологій виготовлення гнучкого пакування та етикетки. *Технологія і техніка друкарства*. 2022. № 3 (77). С. 33–46.
6. Borbély Á., Szentgyörgyvölgyi R. Colorimetric Properties of Flexographic Printed Foils: the Effect of Impression. 2011.
7. Żołek-Tryznowska Z., Rombel M., Petriaszwili G., Dedijer S., Kašiković N. Influence of Some Flexographic Printing Process Conditions on the Optical Density and Tonal Value Increase of Overprinted Plastic Films. *Coatings*. 2020. Vol. 10, № 9. P. 816. DOI: 10.3390/coatings10090816.
8. Оліхневич В. С. Дослідження технологічного процесу виготовлення етикетково-пакувальної продукції на невбираючих матеріалах. 2020.
9. Mahmoud M. A comparative study between the use of flexographic printing and digital printing on blister foil. 2025. Vol. 10, № 51. P. 902–922.

10. Mandal M., Bandyopadhyay S. Study of the lightfastness properties of prints on blister foils by spectral reflectance. *Color Research & Application*. 2020. Vol. 45, № 2. P. 336–344.
11. Попова К. О. Розробка технологічного процесу додрукарської підготовки макетів етикеток для друкування на різних матеріалах. 2022.
12. Chen C. L., Lo M. C., Wei M. C., Wang S. W. A Study of Color Variance between Vacuum Plate of Aluminum and Aluminum Foil Using UV Offset Printing. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 262. P. 253–257.
13. Balaban P., Viduka D., Ristic V. et al. Mechanical and barrier properties of flexible packaging materials after the flexo printing process. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*. 2021. Vol. 49, № 4. P. 513. DOI: 10.4038/jnsfsr.v49i4.10277.

REFERENCES

1. Total Materia. (n.d.). Aluminum alloys for packaging applications. <https://www.totalmateria.com/en-us/articles/aluminum-alloys-for-packaging-applications/>.
2. Koniukhova, I. I., Rybka, R. V., Ryvak, P. M., & Huk, I. R. (2020). Doslidzhennia yakosti drukuvannia etyketkovoї produktsii z aliuminievoi folhy [Quality research of label printing on aluminum foil]. *Kvalilogiia knyhy*, (1), 16–22.
3. Kukura, T. Yu. (2022). Udoskonalennia tekhnolohichnoho protsesu fleksografichnoho druku hnuchkykh pakovan [Improvement of flexographic printing process for flexible packaging] (Doctoral dissertation). Kyiv.
4. Liu, J. H., Mao, T. T., Liu, Q. L., & Gao, S. H. (2014). Research on Color Matching and Reproduction on Aluminum Foil Packaging Materials. *Applied Mechanics and Materials*, 469, 273–277.
5. Avdiakov, Ye. V., & Zolotukhina, K. I. (2022). Analychnyi ohliad suchasnoho stanu tekhnolohii vyhotovlennia hnuchkoho pakovannia ta etyketky [Analytical review of modern flexible packaging and label production technologies]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(77), 33–46.
6. Borbély, Á., & Szentgyörgyvölgyi, R. (2011). Colorimetric Properties of Flexographic Printed Foils: the Effect of Impression.
7. Żołek-Tryznowska, Z., Rombel, M., Petriaszwili, G., Dedijer, S., & Kašiković, N. (2020). Influence of Some Flexographic Printing Process Conditions on the Optical Density and Tonal Value Increase of Overprinted Plastic Films. *Coatings*, 10(9), 816. <https://doi.org/10.3390/coatings10090816>.
8. Olikhnievych, V. S. (2020). Doslidzhennia tekhnolohichnoho protsesu vyhotovlennia etyketkovo-pakuvalnoi produktsii na nevbyrauchykh materialakh [Research of label and packaging production technology on non-absorbent materials].
9. Mahmoud, M. (2025). A comparative study between the use of flexographic printing and digital printing on blister foil, 10(51), 902–922.
10. Mandal, M., & Bandyopadhyay, S. (2020). Study of the lightfastness properties of prints on blister foils by spectral reflectance. *Color Research & Application*, 45(2), 336–344.
11. Popova, K. O. (2022). Rozrobka tekhnolohichnoho protsesu dodrukarskoi pidhotovky make-tiv etyketok dlia drukuvannia na riznykh materialakh [Development of prepress process for label layouts for printing on various materials].

12. Chen, C. L., Lo, M. C., Wei, M. C., & Wang, S. W. (2013). A Study of Color Variance between Vacuum Plate of Aluminum and Aluminum Foil Using UV Offset Printing. *Applied Mechanics and Materials*, 262, 253–257.
13. Balaban, P., Viduka, D., Ristic, V., et al. (2021). Mechanical and barrier properties of flexible packaging materials after the flexo printing process. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 49(4), 513. <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v49i4.10277>.

doi: 10.32403/2411-3611-2026-1-49-81-91

FLEXOGRAPHIC PRINTING ON ALUMINUM FOIL: TECHNOLOGICAL FEATURES, ADVANTAGES AND LIMITATIONS

P. B. Valovyi

*Lviv Polytechnic National University, 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine,
<https://orcid.org/0009-0001-9989-7190>, pavlo.a.valovyi@lpnu.ua*

The article examines flexographic printing as the leading method of image application on aluminium foil in the packaging industry. The physical and chemical properties of aluminium foil as a specific printing substrate are analysed — its non-hygroscopic nature, low surface energy (below 30 mN/m for untreated surface), high reflectivity, metallic gloss, and variable thickness from 6 to 25 μm depending on the application area. Aluminium foil alloys of the 1xxx and 8xxx series are considered, with attention to how their composition and production parameters affect printability. Key technological features of the flexographic process on metallic substrates are characterized in detail: surface preparation specifics including corona and plasma treatment, application of adhesion primers based on polyethyleneimine and polyurethane systems, selection of anilox rollers with optimal engraving parameters, minimum pressure printing mode (“kiss-print”), and requirements for specialized ink systems. Three main ink types — solvent-based, water-based, and UV-curable — are compared in terms of adhesion, flexibility, lightfastness, and compliance with food safety regulations. The phenomenon of dot gain on non-absorbent surfaces and methods of compensation at the prepress stage through correction curves and ICC profiles are considered in detail. The influence of the metallic substrate on colour reproduction is analysed: the mechanism of double light passage through the ink layer and specular reflection from the foil surface, which produces characteristic metallic brilliance and alters perceived hue compared to printing on white paper, is described. The advantages of flexographic printing for foil applications are systematized: high productivity reaching up to 300 m/min, flexibility across various formats and print run sizes, and the possibility of inline integration with finishing processes such as cold foil stamping and varnishing. The main technological limitations and typical defects — ink delamination, foil deformation, and ink film non-uniformity — are identified with analysis of their causes and practical remediation methods. A comparative characterization of flexographic, gravure, and digital printing

on aluminium foil is presented across key parameters including productivity, print quality, tooling costs, and cost-effective run length. The results of the study have practical significance for optimizing production processes in the manufacturing of aluminium foil packaging products.

Keywords: *flexographic printing, aluminium foil, flexible packaging, dot gain, ink adhesion, anilox roller, colour reproduction.*

Стаття надійшла до редакції: 02.04.2026.

Submitted: 02.04.2026.

Прийнято до друку: 13.05.2026.

Accepted: 13.05.2026.

Опубліковано: 20.05.2026.

Published: 20.05.2026.