

УДК 655.35:655.224

## МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ СТРУКТУРНОЮ БУДОВОЮ ДРУКАРСЬКОЇ ТА ФАРБОВОЇ СИСТЕМ МАШИН ГЛИБОКОГО ДРУКУ

Єжи Чубак, Я. М. Угрин

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

*Розвиток пакувальної індустрії спонукає виробників продукції до пошуку шляхів підвищення її якості. Однією з проблем забезпечення якості є налагоджений баланс взаємодії структурних вузлів друкарської машини, зокрема фарбового та друкарського апаратів. У глибокому друці важливим аспектом є дотримання технологічних режимів друкування, які визначаються будовою друкарської та фарбової систем машини. Стаття присвячена морфологічному аналізу структурної будови друкарської та фарбової систем рулонних машин, які використовуються для задруковування пакувальних матеріалів способом глибокого друку. Розглянуто різновиди друкарських циліндрів рулонних машин, наведено класифікацію фарбових апаратів. Досліджено, що конструкція друкарського циліндра суттєво впливає на деформацію його покриття під час друкування. Описано методику розрахунку тиску під час друкування. Підтверджено, що при постійній деформації покриття друкарського циліндра внутрішня напруга зменшується і спостерігається явище релаксації, яке призводить до поступового зменшення тиску в зоні друку. Щоб більша ширина машини, то більший тиск необхідно докласти, щоб отримати потрібну ширину зони друкування. Значний тиск по краях циліндра великого діаметра викликає прогин цього циліндра і нерівномірний розподіл тиску в зоні друку. У таких випадках виникає різниця в якості зображення по ширині друку та проблеми, пов'язані з проходженням рулону (задруковуючої основи), що впливає на точність суміщення кольорів на відбитку.*

**Ключові слова:** морфологічний аналіз, структура, друкарська і фарбова система, деформації, глибокий друк, відбитки, пакування, якість.

**Постановка проблеми.** Сьогодні пакувальне обладнання набуває популярності через збільшення застосування в багатьох галузях виробництва продуктів харчування та напоїв, охорони здоров'я, косметики та інших споживчих товарів, а також у низці промислових секторів. Попит на пакувальне обладнання значною мірою зумовлений збільшенням попиту на споживчі товари, поширенням автоматизованих пакувальних машин та розробкою енергоефективних машин. Сучасні автоматичні пакувальні машини використовуються на різних етапах пакування і гарантують, що етапи завершуються за хвилини, а не за години порівняно зі старими версіями. Іншими ключовими факторами, що впливають на ринок пакувального

обладнання, є зростання попиту на пакувальних роботів. Пакувальні машини відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки продукції у всьому ланцюжку поставок. За даними досліджень Allied Market Research, обсяг глобального ринку пакувального обладнання у 2020 р. оцінювався в \$ 43520,0 млн і, за прогнозами, досягне \$ 69218,0 млн до 2030 р. із сукупним середньорічним темпом росту 4,7 % з 2021 по 2030 рр. [1, 2]. Однак спалах пандемії COVID-19 вплинув на зростання індустрії пакувального машинобудування через карантин у країнах та затримку у виробництві пакувального обладнання, яке використовується в широкому діапазоні галузей. Оскільки пакувальна галузь продовжує залишатись одним із секторів економічного розвитку багатьох країн, увагу дослідників привертає асортимент парку пакувальних машин, потокових ліній з виготовлення паковань різного призначення для забезпечення потреб промислових виробництв і споживачів. У сучасному пакувальному виробництві інтенсивно використовується великий асортимент машин глибокого способу друку для оздоблення продукції. Для забезпечення підвищених вимог до якості оздоблення паковань необхідно здійснити оптимальний вибір друкарських машин за технічними характеристиками та їх технологічними можливостями. Тому актуальними є дослідження структурної будови машин глибокого друку, від яких залежить процес отримання якісних відбитків.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Кожний спосіб друкування має свої переваги і недоліки. Для глибокого друку позитивним є тривалий термін використання друкарського циліндра (більше 1 млн примірників), змінність форматів друку, двосторонній задрук субстратів за один прогін, використання великої гами кольорів та асортименту пакувальних матеріалів, висока якість надрукованих зображень, простий принцип друку. До недоліків можна зарахувати відносно дорогий процес виготовлення друкарських форм, тривале і трудомістке налагодження машини до друкування [3, 4]. Завдяки високій швидкості машин глибокого друку перенесення фарби займає 1–3 мілісекунди. За цей короткий час фарба повинна рівномірно перенестися з дрібних комірок друкарської форми на поверхню субстрату [5]. Так, у публікації [6] автори наводять результати дослідження механізму перенесення фарби за допомогою електростатичного поля на поверхні контакту. Електростатичне поле сприяє інтенсифікації перенесення фарби із заглиблених комірок друкарської форми і покращує контакт взаємодії між друкарською фарбою та субстратом для задруковування. При використанні системи електростатичного контакту кількість перенесеної фарби з друкарської форми може збільшитись до 95 %. Багатьох авторів цікавлять проблеми якості друкарських відбитків, які пов'язані з впливом структурної будови формного циліндра, анілоксового валика, кута нахилу растрових комірок, їх ємкості, форми на якість відбитків [7]. Важливим аспектом у машинах глибокого друку, особливо багатокольорного, є висушування відбитків після кожної друкарської секції [8, 9] для випаровування розчинника з фарби, частина якого поглинається субстратом. Встановлено, що збільшення швидкості висихання фарби спричиняє зростання її в'язкості, а це може створити проблеми при перенесенні фарби на субстрат. Тому рекомендують проводити охолодження фарбової системи [10]. Тому для розв'язання проблем якості відбитків необхідні

грунтовні дослідження, пов'язані зі структурною будовою основних систем машин глибокого друку.

**Мета статті** — проведення морфологічного аналізу проблем забезпечення якості відбитків, пов'язаних зі структурною будовою друкарської та фарбової систем машин глибокого друку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сьогодні для виготовлення паковань інтенсивно використовуються рулонні машини глибокого друку, які мають різну будову і конфігурацію. Розв'язуючи проблему забезпечення якості відбитків глибокого друку, пов'язану зі структурною будовою складових друкарської машини, розглянемо її друкарську і фарбову систему та проаналізуємо основні елементи з притаманними їм вадами і перевагами. Потрібно зауважити, що елементи пов'язані між собою, і кожен елемент виконує ту або іншу функцію, яка окреслює основну функцію, що її виконує головна система в цілому. Тому актуальними є дослідження структурної будови елементів друкарської машини. Проведення морфологічного аналізу технічної системи, установлення структури, а також параметрів, що характеризують її роботу дозволить виявити закономірності взаємодії основних елементів та пояснити їх вплив на якість друкарських відбитків. Так, фарбова система машини глибокого друку зазвичай складається з термостатованої ванни з фарбою, фарбового валика і системи ніж-ракель. Покритий спеціальним матеріалом сталевий валик фарбової системи, у нижній частині занурюється у ванну з фарбою, а у верхній стикається з друкарською формою. Надлишки фарби, видалені ракелем, повертаються у ванну. У сучасних друкарських машинах глибокого друку застосовують систему циркуляції фарби. Фарби та розчинники подаються пневматичними насосами з віддаленого складу фарб. Фарба, розчинники (толуол, ксилол) і лак зберігаються в цистернах. Шість-сім шлангів закачують фарбу в машину залежно від будови. Вибрані для друкування кольори фарб подаються до окремих друкарських секцій на машину спеціальними шлангами, які заповнюють резервуари на кожному блоці. Кожна фарбово-друкарська система передає на субстрат точно визначений колір. Оскільки при глибокому друку наноситься лише один колір, кількість друкарських секцій залежить від потреб друкарні. Тому машини мають модульну будову і складаються здебільшого з 8–13 друкарських блоків. Біля кожного фарбового апарата встановлено прилад для вимірювання в'язкості та дозування фарби. Необхідна в'язкість фарби (50–250 мПа•с) встановлюється розведенням її розчинником. Залежно від типу субстрату та циліндра регулюють в'язкість фарби. Окрім того, фарби для глибокого друку мають повністю заповнювати друкуючі елементи формного циліндра, але водночас легко видалятися ракелем з пробільних елементів форми і легко переноситися на задруковану основу, забезпечуючи якість відбитків.

Щодо друкарського циліндра (прес), який покривають шаром гуми відповідної твердості, то він має бути менший за діаметр формного циліндра. Одним з його недоліків є здатність до деформування, тому його притискають одним або двома металевими валиками (рис. 1).

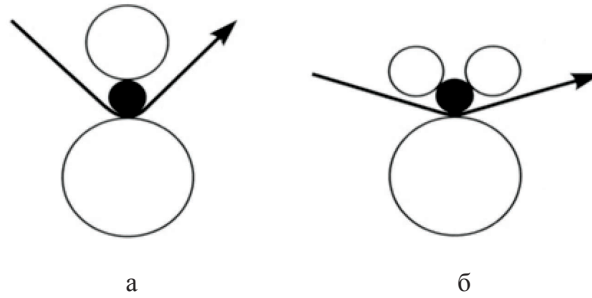


Рис. 1. Схема друкарських циліндрів ролонних машин глибокого друку:  
а — з одним дотисковим циліндром; б — з двома дотисковими циліндрами

Розв'язання проблеми забезпечення якості відбитків, пов'язаної зі структурною будовою друкарської та фарбової систем у машинах глибокого друку, потребує поглибленого дослідження характеристик основних елементів, їх функцій, виявлення притаманних їм недоліків.

Як відомо, найстарішою технологією виготовлення форм глибокого друку є технологія, яка дає змогу досягти змінної глибини друкарських елементів, тому її називають традиційною. Ці циліндри втратили свою популярність, оскільки їх виробництво було дуже складним. Циліндри зі змінною площею сьогодні практично не використовуються. Найпопулярнішими є формні циліндри з одночасною змінною глибиною і поверхнею, які у промисловості виготовляються на основі електронного або механічного гравіювання (рис. 2).

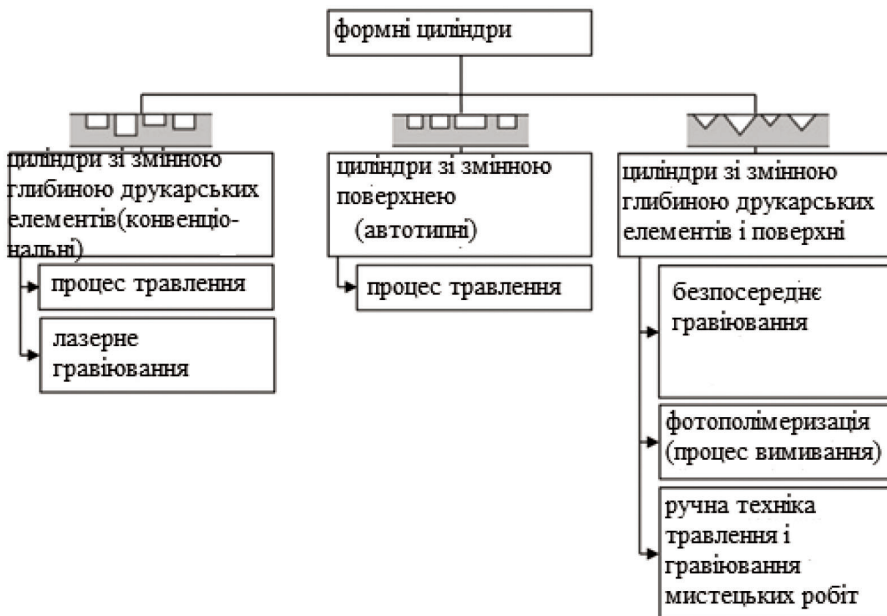


Рис. 2. Класифікація технологій виготовлення форм глибокого друку

Фарбу на формний циліндр можна наносити різними способами. Однак незмінним принципом є те, що надлишки фарби видаляються гострим металевим ножом (ракелем), розміщеним безпосередньо перед зоною друку (рис. 3). Налаштування ракеля значно впливає на якість друку, якого змінними параметрами є кут встановлення, тиск на прес-форму, розмір і частота осевого руху та ширина його краю в зоні контакту.

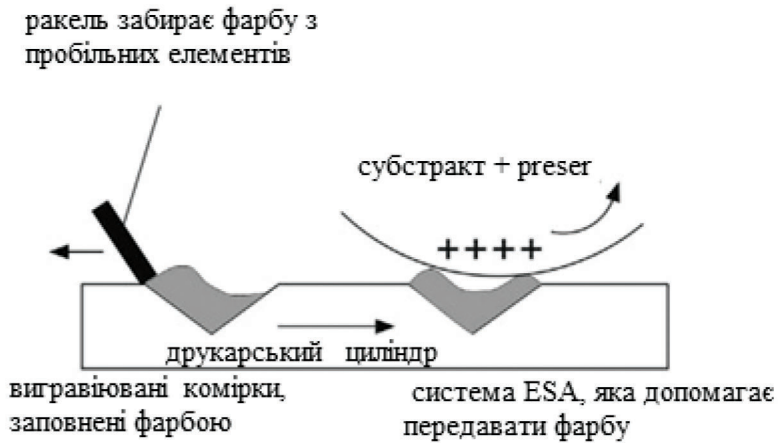
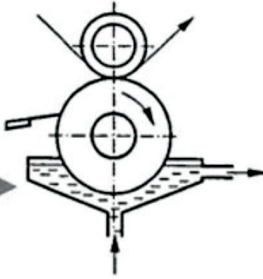


Рис. 3. Схема процесу передавання фарби з форми на субстрат

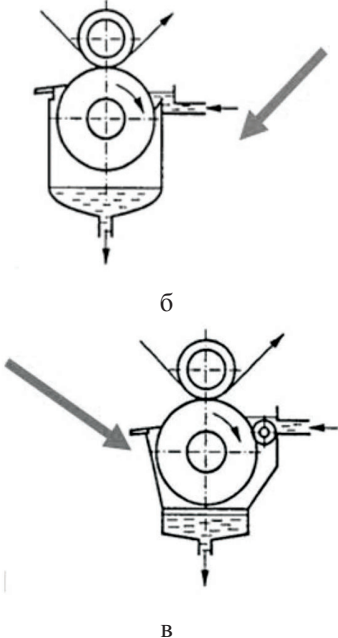
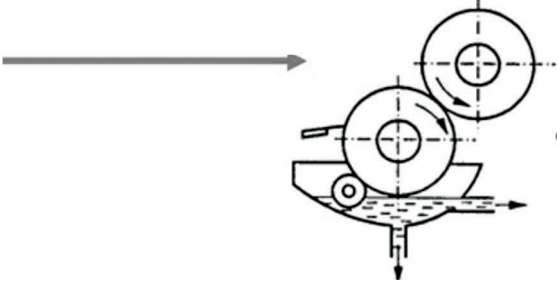
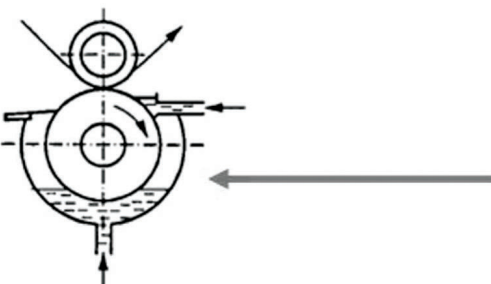
Фарбові апарати машин глибокого друку використовують системи занурення (а), омивання (б, в), з подавальним валиком (г) і комбіновані (д) (табл. 1).

Таблиця 1

**Класифікація фарбових апаратів машин глибокого друку**

Види фарбових систем	Схеми	Опис процесу
1	2	3
Занурення	 <p style="text-align: center;">а</p>	Система занурення циліндра прес-форми у фарбу перевіряється при високих обертах циліндра у фарбовій ємності, при цьому у фарбі утворюються завихрення, які впливають на покриття поверхні формного циліндра

Продовження табл. 1

1	2	3
Омивання	 <p style="text-align: center;">б в</p>	<p>Система омивання (з попереднім ножом або валиком після зони друку та подавання фарби між поверхнею циліндра форми та ножом або валиком) зазвичай використовується для запобігання у фарбі утворення пухирців і спінювання. Смужки виготовляються з металу, пластику або у вигляді тонкої та щільної щітки з нейловою щетиною</p>
3 подавальним валиком	 <p style="text-align: center;">г</p>	<p>Система з фарбоподавальним валиком використовується у машинах спеціального призначення</p>
Комбіновані	 <p style="text-align: center;">д</p>	<p>Комбінована система, яка є комбінацією перших двох фарбувальних систем, використовується в машинах спеціального призначення</p>



Тиск дотискового (preser) циліндра спричиняє пряме перенесення фарби з формного циліндра на субстрат за допомогою друкарського циліндра (preser). Покрыттям циліндра зазвичай є натуральна гума: неопрен, нітрил або поліуретан. Матеріал покриття залежить від умов друку та типу підкладки для друку. Товщина покриття змінюється від 30 до 40 мм. Величина сили тиску в зоні друкування становить до  $\sim 500 \text{ N/m}^2$  і залежить від характеристик еластичності прес-циліндра; властивостей задруковуваного матеріалу, типу зображення, що друкується. Що товстіше і еластичніше покриття друкарського циліндра, то нижчий тиск. При зменшенні товщини покриття циліндра необхідний тиск при друкуванні зростає. Розглянемо приклад розрахунку тиску при друкуванні на машині глибокого друку (рис. 4).

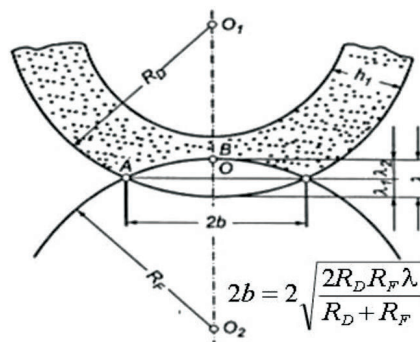


Рис. 4. Схема до розрахунку тиску при друкуванні способом глибокого друку

Для радіуса формного циліндра  $R_F = 318 \text{ mm}$  і радіуса друкарського циліндра (preser)  $R_D = 180 \text{ mm}$  ширина смуги контакту-друку становитиме: при деформації  $\lambda = 0,5 \text{ mm}$  становить  $2b = 15,2 \text{ mm}$ ; а при деформації  $\lambda = 1,0 \text{ mm}$  становить  $2b = 21,4 \text{ mm}$ . Відносна деформація покриття під час друкування визначається за формулою:

$$\epsilon = \lambda / h, \tag{1}$$

де  $\lambda$  — деформація (стиску) покриття;  $h$  — товщина покриття.

Деформація є сумою пружної деформації  $\epsilon_1$  і постійної деформації  $\epsilon_2$ . Закон Гука практично не працює між напругою навантаження та її деформацією (де напруга прямо пропорційна відносній деформації матеріалу). Згідно з формулою Тіра К. В.:

$$\sigma^m = \epsilon E, \sigma = (\epsilon)^{1/m}, \tag{2}$$

де  $\sigma$  — напруга;  $m$  — показник степеня, що залежить від властивостей матеріалу;  $E$  — модуль пружності матеріалу;  $\epsilon$  — відносна деформація.

Дослідження показали, що при постійній деформації покриття друкарського циліндра внутрішня напруга зменшується і спостерігається явище релаксації, яке призводить до поступового зменшення тиску покриття в зоні друку та напружень у ньому. Тиск з урахуванням релаксації навантаження розраховується за допомогою рівняння Максвелла:

$$P = P_0 e^{-t/T}, \tag{3}$$

де  $p$  — тиск під час друкування, коли покриття циліндра працює зі сталою деформацією;  $P_0$  — тиск при друкуванні, де покриття працює зі змінною деформацією;  $e$  — основа натурального логарифма;  $t$  — тривалість тиску при друкуванні;  $T$  — час релаксації, що відповідає часу зміни напруження покриття циліндра.

Залежно від сили тиску в зоні друкування ширина контактної смуги між друкарською формою і покриттям друкарського циліндра коливається від 10 до 25 мм. Що більша ширина машини, то більшу силу тиску необхідно докласти, щоб отримати потрібну ширину зони друкування. Значний тиск по краях циліндра великого діаметра спричиняє прогин цього циліндра і нерівномірний розподіл тиску в зоні друку. У таких випадках виникає різниця в якості зображення по ширині друку та проблеми, пов'язані з проходженням рулону (задрукувальної основи), що впливає на точність суміщення кольорів.

Існують сучасні конструкції друкарських циліндрів, які мають міцний сердечник, навколо якого обертається гнучка оболонка покриття, яка пристосовується до деформації циліндра. Завдяки цьому досягається однаковий тиск по всій довжині формного циліндра, який можна регулювати.

Деякі конструктивні рішення мають машини глибокого друку, які складаються з групи друкарських циліндрів, що містить пари циліндрів: сталевий циліндр з еластомерним покриттям (з меншим діаметром) і хромованого сталевого циліндра. Твердість покриття на циліндрах приблизно дорівнює  $80^{\circ}$  ShA. Перевагою такого рішення є можливість отримати вузьку зону друкування. Що менша ширина зони, то чіткіший друк. На друкарський циліндр можна наносити покриття різного ступеня твердості, змінюючи ширину друку залежно від заданих технологічних параметрів. Це рішення забезпечує кращу стабільність процесу друку, особливо з великою шириною машини. Найпоширенішими рішеннями розв'язування проблем якості відбитків є використання циліндрів з регульованою формою їх покриття (рис. 5).

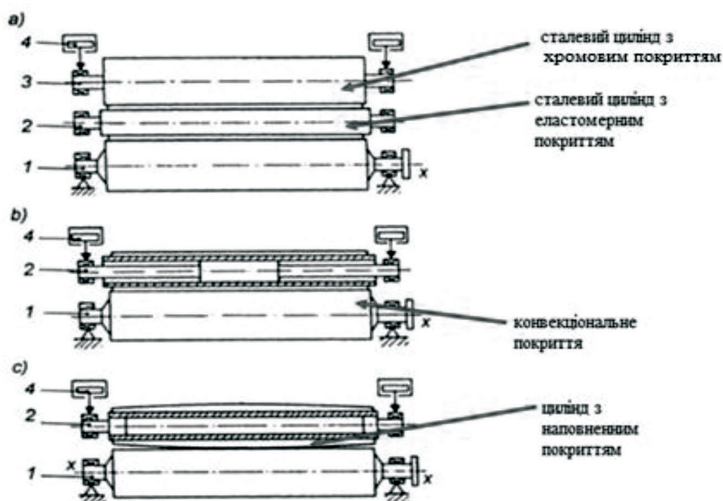


Рис. 5. Морфологічна будова дотискових циліндрів: 1 — формний циліндр; 2 — дотисковий циліндр; 3 — сталевий допоміжний циліндр; 4 — механізм зачеплення циліндрів



На сучасних машинах використовують циліндри типу K2 з компенсацією тиску, які складаються із сердечника з підшипниками та обертової оболонки з обшивкою. Цифра 2 означає, що два незалежних джерела сили впливають на криву прогину циліндра: одна з них діє на обидві кромки, друга на цапфи. Осьовий тиск передається на обертову оболонку через підшипники, розташовані посередині Pre-sera K2. Змінюючи гідравлічно отримані сили, можна отримати необхідні лінійні профілі оптимального тиску для забезпечення якісного друку та правильного транспортування рулону субстрату через друкарсько-фарбові системи машини. Відомі циліндри марки NIPCO, які дають змогу встановити тиск до формного циліндра у межах зони друкування по всій її ширині. Циліндри NIPCO складаються з нерухомої осі, на яку накладено спеціальну сталеву накидку, покриту еластомером, з твердістю по Шору 80÷850 ShA. Еластомерне покриття дає змогу забезпечити однаковий тиск по всій довжині зони друкування та належну якість друкарських відбитків.

**Висновки.** Отже, проведений морфологічний аналіз структурної будови друкарської та фарбової систем рулонних машин глибокого друку підтвердив значний вплив їх конструкції на розподіл тиску в зоні друкування та забезпечення відповідної якості відбитків.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривошей В. М., Халайджі В. В. Тенденції розвитку світового пакування. *Продовольчі ресурси*. 2019. № 13. С. 95–105. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr\\_2019\\_13\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr_2019_13_12).
2. Anon. Graphic arts knowledge base. In *Printing and finishing in sheet-fed gravure- packaging and label printing with combinations of methods*. Johannes Kokot and Dieter Kleeberg in cooperation with the gravure printing project group. Germany : BdgW Agency, 2014. Vol. 4. 127 p.
3. Pilc W. Charakteryzowanie technik drukowania wkłęsłego. Radom : Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, 2007. S. 4.
4. Bery Y. A. Mechanisms governing gravure printing. Atlanta : TAPPI Press, 1985. 11 p.
5. Davies G. R. et al. Effect of viscosity on ink transfer in gravure printing: 33rd International research conference of IARIGAI. Leipzig, 2006. Pp. 235–244.
6. Luo J., Zhang Z. Automatic colour printing inspection by image processing. *Journal of Material Processing Technology*. 2003. Vol. 139. Issue 1–3. Pp. 373–378.
7. Li A. The gravure atom: an evaluation of cell structure. *Gravure*. 2007. 21 (3). Pp. 10–11.
8. Tehrani A. H. Automation improvement of indirect gravure printing with a focus on the mechanical characteristics of silicone rubber pads: dissertation. Darmstadt. 2018.
9. Kipphan H. Handbook of Print Media. New York : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. Pp. 48.
10. Nakola E. Principles of conventional printing. *Print media principles, processes and quality* (2nd ed.). *Papermaking Science and Technology*. 2009. Vol. 13. Chapter 2. Pp. 40–87.

#### REFERENCES

1. Kryvoshei, V. M., & Khalaidzhi, V. V. (2019). Tendentsii rozvytku svitovoho pakuvannia: Prodovolchi resursy, 13, 95–105. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr\\_2019\\_13\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr_2019_13_12) (in Ukrainian).

2. Anon. Graphic arts knowledge base. In Printing and finishing in sheet-fed gravure- packaging and label printing with combinations of methods. Johannes Kokot and Dieter Kleeberg in cooperation with the gravure printing project group. Germany : BdgW Agency, 2014, 4 (in English).
3. Pilc, W. (2007). Charakteryzowanie technik drukowania wklęsłego. Radom : Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy (in Polish).
4. Bery, Y. A. (1985). Mechanisms governing gravure printing. Atlanta : TAPPI Press (in English).
5. Davies, G. R. et al. (2006). Effect of viscosity on ink transfer in gravure printing: 33rd International research conference of IARIGAI. Leipzig (in English).
6. Luo, J., & Zhang, Z. (2003). Automatic colour printing inspection by image processing: Journal of Material Processing Technology, 139, 1–3, 373–378 (in English).
7. Li, A. (2007). The gravure atom: an evaluation of cell structure: Gravure, 21 (3), 10–11 (in English).
8. Tehrani, A. H. (2018). Automation improvement of indirect gravure printing with a focus on the mechanical characteristics of silicone rubber pads: dissertation. Darmstadt (in English).
9. Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media. New York : Springer-Verlag Berlin Heidelberg (in English).
10. Hakola, E. (2009). Principles of conventional printing. Print media principles, processes and quality (2nd ed.): Papermaking Science and Technology, 13, Chapter 2, 40–87 (in English).

doi: 10.32403/0554-4866-2023-2-86-91-101

## **MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF IMPRINT QUALITY PROBLEMS RELATED TO THE STRUCTURE OF PRINTING AND INKING SYSTEMS OF GRAVURE PRESSES**

Jerzy Czubak, Y. M. Uhryn

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
havenko1559@gmail.com*

*The development of the packaging industry encourages product manufacturers to search for ways to improve its quality. Printing enterprises intensively use gravure printing to decorate packaging. The modern market of printing presses is very diverse. Therefore, the choice of one or another equipment is influenced by many factors. Among them are the number of colours of imprints, the type of printed material, its dimensions (sheets, rolls), print volume, etc. One of the quality assurance problems is maintaining the balance of the interaction of the structural units of the printing press, in particular, the inking and printing units.*

*The article is devoted to the morphological analysis of the structure of the printing and inking systems of web-fed gravure press, which are used for printing packaging*

materials. Varieties of impression cylinders of web-fed gravure press are considered, and the classification of inking units is presented. It is studied that the construction of the impression cylinder significantly affects the deformation of its coating during printing. The method of calculating pressure during printing is described. It is confirmed that with constant deformation of the coating of the impression cylinder, the internal tension decreases and a relaxation phenomenon is observed, which leads to a gradual decrease in pressure in the printing zone. The larger the width of the gravure press is, the more pressure must be applied to obtain the required width of the printing zone. Significant pressure on the edges of a large-diameter cylinder causes its uneven pressure distribution in the printing zone. This causes variation in image quality across the print width and creates problems when passing the roll web, and affects the accuracy of colour matching on the imprint.

Modern gravure presses have a special design of impression cylinders, in which the flexible shell of the coating rotates around the rod and adapts to the deformation of the cylinder. Thanks to this, the same pressure is achieved along the entire length of the plate cylinder, which can be adjusted. Some structural solutions have gravure presses that contain pairs of cylinders: a steel cylinder with an elastomeric coating (with a smaller diameter) and a chrome-plated steel cylinder, which allows for obtaining a narrow printing area. After all, the smaller the width of the zone, the clearer and better the quality of the printing. The impression cylinder can be coated with different degrees of hardness, which ensures the stability of printing on webs with a large width. The most common solution for solving print quality problems is the use of cylinders with an adjustable form of their coating.

**Keywords:** morphological analysis, structure, printing and inking system, deformations, gravure printing, imprints, packaging, quality.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2023.

Received 20.06.2023.