

УДК 655.366:621.375.826(045)
DOI: 10.20535/2077-7264.1(71).2021.233605

© **В. А. Бабич**, аспірант, **Ю. О. Шостачук**, канд. техн. наук,
доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ПРИ ОБРОБЦІ ДРУКОВАНОЇ ПАПЕРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Проаналізовано види, структуру, поверхневі та механічні характеристики і параметри паперових матеріалів, а також визначено особливості виконання окремих технологічних процесів з можливістю використання лазерних пристроїв при обробці друкованої паперової продукції.

Ключові слова: обробні процеси; поліграфічні матеріали; лазерні пристрої; різання; різальні машини.

Постановка проблеми

Розвиток сучасного поліграфічного ринку вимагає підвищення якості та швидкості обробки друкованої продукції, яка характеризується широкою різноманітністю та призначенням. Ефективність виробництва залежить від можливості удосконалення існуючих способів обробки, а також від впровадження нових способів з покращеними технічними характеристиками.

Можливим варіантом розрізування матеріалів може бути використання лазерної техніки, що дозволить забезпечити відповідне підвищення швидкості та задану якість виконання процесу подальшої обробки, в тому числі і розрізування.

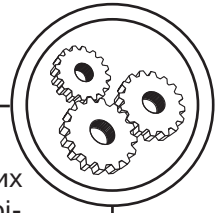
Використання лазерної техніки постійно поширюється, удосконалюється процес її застосування в різноманітних сферах, замінюючи або доповнюючи та-

ким чином процеси і прилади, що вважалися стандартними та традиційними.

Процес обробки паперового матеріалу з використанням лазерної техніки залежить від технічних параметрів лазерного променя, які, в свою чергу, залежать від типу матеріалу і його міцнісних параметрів, його структури та властивостей поверхні тощо. При взаємодії лазерного променя і структурної поверхні матеріалів можуть виникати явища, наприклад, підпалення, пожовтіння, що потребує відповідного дослідження процесу взаємодії матеріалів і лазерного променя.

Аналіз попередніх досліджень

Обробні процеси поліграфічних матеріалів (папір, картон тощо) залежать від їх характеристик та структури поверхні, а також від призначення продукції. Це стосується процесів роз-



різання, висікання, пробивання отворів, перфорування, при виконанні яких необхідно мати уяву про чинники впливу на ці процеси. До основних чинників, які впливають на технологічні процеси обробки паперової продукції відносяться: внутрішня структура та розташування волокон в аркушах, співвідношення целюлози, наповнювачів та фарбових додатків, товщина аркушів, ступінь каландрування тощо. При цьому ставиться вимога, що при виконанні технологічних операцій з оздоблення матеріали не повинні змінювати свої характеристики: білизну, непрозорість, незасміченість тощо [1].

Для обробки паперу та картону лазерна технологія застосовується з 1970-х рр., але не для різання [2]. Причина в тому, що при взаємодії світлового потоку з паперовим матеріалом, можуть відбуватися такі явища як відбиття, заломлення, дифракція та поглинання, які впливають на поверхню і внутрішню структуру матеріалів. Це пояснюється тим, що паперовий матеріал характеризується мікроскопічно тривимірною структурою, а не рівним і однорідним суцільним аркушем, а також має хімічні та мінеральні частинки в своїй структурі, що спричиняє, наприклад, підгорання (з'являється пожовтіння до краю взаємодії).

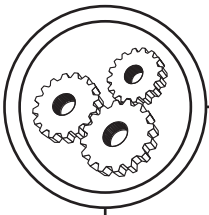
Зазвичай різання паперового матеріалу в основному виконується механічним лезом або штампом. При механічному різанні паперової продукції якість різання погіршується через зношування леза ножів, внаслідок чого з'являється пил, який складається із шматочків дрібних волокон

та частинок пігменту, вирваних з паперу фізичним контактом ріжучих лез. Цей пил від механічного подрібнення паперу призводить до проблем у процесі виготовлення поліграфічної продукції [3].

Вироби з картону та паперу використовуються в багатьох випадках, наприклад, при виготовленні пакувальних виробів та сувенірної продукції. Розрізати матеріал відповідно до необхідних параметрів можна традиційним способом. Застосування лазерного способу різки дозволяє отримати з паперу справжні витвори мистецтва, включаючи: пакування і картонні коробки; ексклюзивні і оригінальні листівки та іншу сувенірну продукцію; макети, оригінальні буклети та аплікації; сніжинки і сердечка будь-якої складності та багато інших декоративних елементів; трафарети для фарбування і лекала; оформлювальну і декоративну продукцію тощо.

Використання лазерів забезпечує безпильний варіант різання. Лазерне випромінювання знайшло широке використання в сфері захисту цінних паперів, в тому числі для захисту паспортів та банкнот [4].

Дослідження процесу різання з використанням лазерних пристроїв показало залежність структури матеріалу, маси і особливостей його поверхні від швидкості різання та структури і технічних параметрів лазера. Враховуючи результати досліджень, лазерне різання паперових матеріалів може потенційно замінити звичайні методи різання паперової продукції.



Мета роботи

Забезпечення обробки паперових матеріалів із заданою якістю і швидкістю відповідно до технологічно визначеного призначення кінцевої продукції. Це стосується обробки паперових матеріалів: розрізування, висікання, пробивання отворів тощо за допомогою лазерних пристроїв. Цей процес характеризується взаємодією двох суб'єктів: матеріал—папір, який має певні характеристики, і лазерні пристрої, які також мають визначені параметри. Для забезпечення якості виконання технологічних операцій необхідно визначити основи взаємодії як паперових матеріалів, так і лазерних пристроїв, на предмет їх можливостей взаємодіяти між собою із забезпеченням певних вимог.

Результати проведених досліджень

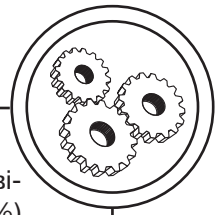
При використанні лазерного обладнання для безпосереднього обрізування або розрізування аркушів виявилася низка проблем через складність визначення параметрів обладнання, які можуть бути використані в даному процесі. До основних проблем відносяться такі явища як підпал розрізаного матеріалу та пожовтіння країв зони різку.

Лазерне світло істотно відрізняється від звичайного своїми унікальними характеристиками. Лазерне світло має фотони однакової частоти, довжини хвилі та фази. Порівняно зі звичайним світлом, лазерні промені мають високу спрямованість, а також високу щільність потужності та кращі характеристики фокусування [5]. Різні типи лазерів ге-

нерують промінь з різними властивостями. Це дозволяє використовувати лазерний промінь для обробки будь-яких матеріалів.

Взаємодія лазерного променя з оброблюваним матеріалом полягає в нагріванні поверхневого шару і його переходу з фази твердого тіла в фазу випаровування, щоб пропустити фазу горіння [6]. В момент нагрівання матеріалу до температури випаровування викликається сублімація зони різку. Енергія лазера взаємодіє з папером, розриваючи хімічні зв'язки, завдяки чому порушується структура матеріалу. При різанні паперу, целюлози чи картону даний процес призводить до зменшення целюлозних молекул до їх елементарних складових — водню, вуглецю та кисню [7].

Процес лазерного різання можна розглядати також як процес термохімічного розкладання, що призводить до зміни структури поверхневого шару матеріалу. Однак цей розклад відбувається тоді, коли лазерний промінь поглинається папером. Так як лазер передає свою енергію як світло, процес взаємодії паперу і лазерного променя є також оптичним процесом. При цьому, виключається будь-яка деформація матеріалу. В процесі розрізання всі елементи на папері вирізняються точними розмірами і мають абсолютно рівні краї. Обробка паперових виробів відбувається досить швидко і забезпечує отримання продукцію будь-якої складності, що не завжди забезпечується при використанні звичайних методів розрізування [8].



Сам паперовий матеріал має в своєму складі декілька оптичних меж: поверхня, пори з різними формами і розміром, мінеральні пігменти розмірністю у декілька мікронів та довгі волокна [9]. Світло може пропускатися, відбиватися, заломлюватися, дифрагмувати, поглинатися при взаємодії з паперовим матеріалом. Якщо на папір нанесена додатково фарба, даний процес ще більше ускладнюється. З причин складності даного процесу, його вивчення та аналіз є досить складним завданням (рис. 1), ще більші проблеми пов'язані зі спробами контролю цих явищ [10].

Для визначення можливостей та ефективності використання лазерної техніки для обробки паперової продукції було проведено експериментальні дослідження з використанням CO₂-лазера

потужністю $N = 105$ Вт (з можливістю її варіації в межах $N = 10-45$ %) і швидкістю переміщення матеріалу в межах $V = 30-100$ мм/с. На рис. 2 та 3 представлено результати обробки 1-ого аркуша паперу. На передній частині (рис. 2) помітно, що отвори рівні, гладкі та без переривань. Зміни кольору немає, слідів обпалення майже немає. На зворотній стороні (рис. 3) зміни кольору теж немає, обпалення паперу більш істотні (в межах 5 мк), але не по всьому контуру, обпал має зональну природу.

Дослідження розрізу проводилося також для стопи кількістю 5 аркушів (рис. 4 та 5).

Параметри установки, за яких виконувався розріз: потужність 40–45 % від номінальної ($N = 45$ Вт), за швидкості $V = 30$ мм/с. На передній частині стосу (рис.

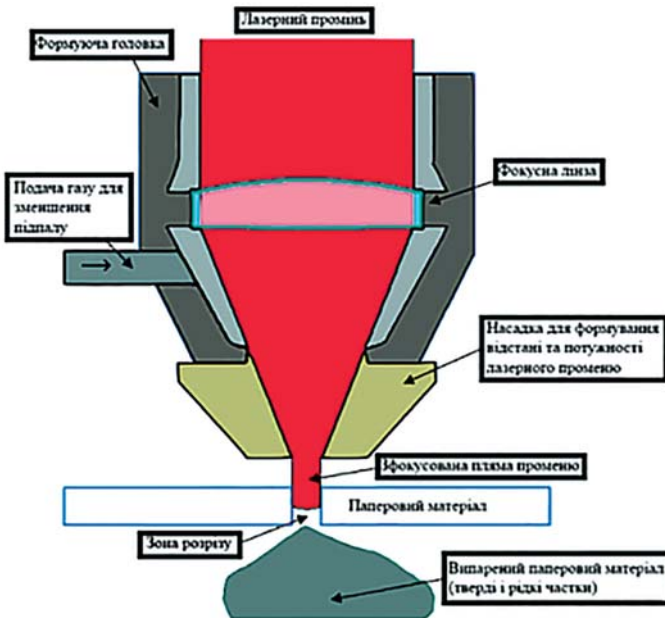


Рис. 1. Принципова схема процесу розрізування паперових матеріалів

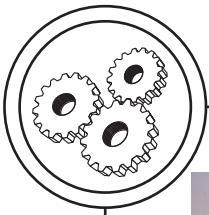


Рис. 2. Один аркуш, вид спереду

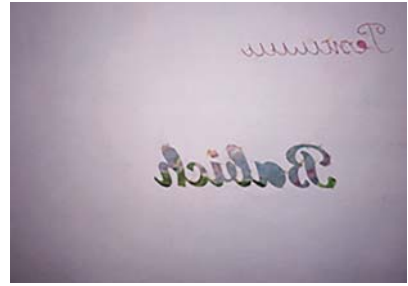


Рис. 3. Один аркуш, вид зворотного боку

4) фігурні розрізи чисті, лінійні розрізи мають невеликі забруднення, а також невеликі потовщення ліній по краям. Всередині має місце пожовтіння паперу, досить суттєве по розмірам, до сантиметра по краям різю. На задній стороні стосу (рис. 5) пожовтіння паперу має локальний характер, підпалень є тільки декілька, основне поле досить чисте.

При збільшенні стопи (до 15 аркушів) ефект підпалу підвищується і пожовтіння розповсюджується на всі аркуші, що є причиною появи ефекту відбиття лазерного проміння всередині стопи, при чому пожовтіння аркушів після верхнього відбувається з обох сторін. Однак цей ефект можливо відбувається ще й через те, що використовується потужність лазерної установки зависока.

Аналіз лінійності отриманих розрізів та розмірів різю на аркушах (рис. 6) показав їх розбіжність і залежність від параметрах потужності лазера та швидкості руху матеріалу.

Отримані зображення прорізаних отворів в стопах паперу показують, що під час цього процесу лазерний промінь не прорізує по «прямій», як напрямлений промінь в точку фокусування, а відбуваються процеси, які впливають на лінійність виконання через послаблення енергії по краях променю, що може відбуватися через: вплив коефіцієнта відбивання променя від поверхні аркушів, внаслідок чого частина енергії розсіюється, наявність повітряного прошарку між аркушами, через зміну зон проходження проміню (повітря—матеріал),



Рис. 4. Розріз стопи — 5 аркушів, вид спереду

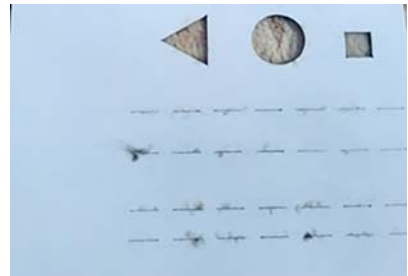
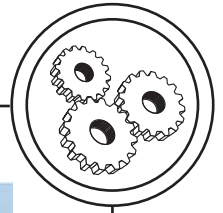


Рис. 5. Розріз стопи — 5 листів, вид зворотного боку



що призводить до втрати енергії, через те, що частина енергії витрачається на нагрівання розрізаного матеріалу, що призводить до пожовтіння кромки зони розрізу.

Для визначення можливості використання лазерної техніки та забезпечення оптимальної якості при обробці паперових матеріалів необхідно створити алгоритм визначення параметрів і взаємозв'язок лазерного випромінювача відповідно до зазначених паперових матеріалів (встановлення довжини хвилі випромінюваного світлового променя, потужності лазерного променя, швидкості обробки матеріалу тощо).

Висновки

Різальні машини механічного типу на даний момент часу використовуються на будь-якому поліграфічному виробництві. Загалом їх перевага над лазерною технікою полягає в можливості обрізу стопи готової поліграфічної продукції великим обсягом, тобто високою стопою. Труднощі, що виникають при використанні даної техніки полягають в постійній перевірці ступеню гостроти ножа, при недостатній увазі і високому ступені затуплення кромки при проведенні розрізу будуть рвані краї стопи, що змінює якість продукції. Достатньою проблемою для маленьких друкарень є громіздкість такого типу обладнання, адже навіть для обрізу малого формату різальна машина має досить великі габарити і масу.

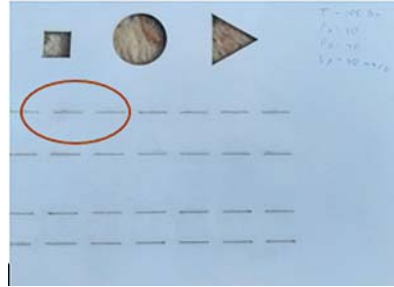
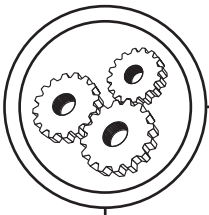


Рис. 6. Аналіз лінійності розрізів

Перевагами лазерного обладнання є мала маса та невеликі габарити даних технічних установок, висока точність операції різки, можливість безперервної роботи лазерного променя, можливість корегування навіть після початку виконання операції.

У процесі роботи проведено аналітичний огляд існуючих видів паперів, визначена їх структура, особливості поверхні і механічні характеристики та інші параметри паперових матеріалів, а також визначено особливості виконання окремих технологічних процесів з можливістю використання лазерних пристроїв.

Для оптимізації якості при обробці паперових матеріалів з використанням лазерів необхідно визначати певні параметри матеріалів та їх відповідність лазерному випромінювачу відповідно до зазначеного процесу, основними з яких є довжина хвилі випромінюваного світлового променя, потужність лазерного променя, швидкість обробки матеріалу, кількість аркушів у стопі, а також якість та обробка поверхні матеріалу).

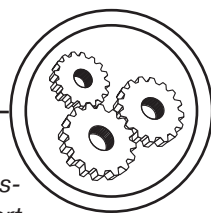


Список використаної літератури

1. Тарасов Л. В. Лазеры: Действительность и надежды / Л. В. Тарасов. М.: Наука, 1985. 176 с.
2. Тарасов Л. В. Четырнадцать лекций о лазерах / Л. В. Тарасов. М.: Наука, 2017. 176 с.
3. Хведчин Ю. Резальные машины и комплексы POLAR / Ю. Хведчин, Ю. Шостачук, М. Овчар. Киев: ПКП СТ-Друк, 2004. 204 с.
4. Справочник по лазерной технике: пер. с нем. М.: Энергоатомиздат, 1991. 544 с.
5. Лазеры: устройство и действие: учеб. пособие / А. С. Борейшо. СПб: Мех. ин-т, 1992. 215 с.
6. Комаров В. И. Определение жесткости бумаги при изгибе / В. И. Комаров, Д. М. Фляте // Целлюлоза, бумага, картон. 1971. № 30. С. 11–13.
7. Силенко П. Н. Динамика бумажного листа в транспортных системах полиграфических машин / П. Н. Силенко. М.: Изд-во МГУП, 1999. 166 с.
8. Котляров В. П. Використання лазерної техніки для виготовлення бланків і документів суворої звітності. В кн.: XXVI Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі (Україна, м. Київ, 25 квітня 2018 р.) / В. П. Котляров, В. А. Бабич, Ю. О. Шостачук. Київ: УкрНДІСВД, 2018. С. 11–12.
9. Шостачук Ю. О. Можливості використання лазерної техніки для обробки паперової продукції. В кн.: XXVII Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі (Україна, м. Київ, 30 листопада 2018 р.) / Ю. О. Шостачук, В. П. Котляров, В. А. Бабич. Київ: УкрНДІСВД, 2018. С. 10–11.
10. Бабич В. А. Технологічне обладнання для використання операцій захисту бланків та коштовних паперів / В. А. Бабич, В. П. Котляров, Ю. О. Шостачук // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Інновації молоді — машинобудуванню». 2018. С. 87–91. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2018/paper/view/12874>.

References

1. Tarasov, L. V. (1985). *Lazery: Deystvitel'nost' i nadezhdy [Lasers: reality and hopes]*. Moscow: Nauka, 176 p. [in Russian].
2. Tarasov, L. V. (2017). *Chetyrnadtsat' lektsiy o lazerakh [Fourteen lectures on lasers]*. Moscow: Nauka, 176 p. [in Russian].
3. Khvedchin, Yu. & Shostachuk, Yu. & Ovchar, M. (2004). *Rezal'nye mashiny i komplekсы POLAR [Cutting machines and complexes POLAR]*. Kiev: PKP ST-Druk, 204 p. [in Russian].
4. (1991). *Spravochnik po lazernoy tekhnike [Laser Handbook]*. Moscow: Energoatomizdat, 544 p. [in Russian].
5. Boreysho, A. S. (1992). *Lazery: ustroystvo i deystvie [Lasers: device and action]*. Sankt-Peterburg: Mekh. in-t, 215 p. [in Russian].
6. Komarov, V. I. & Flyate, D. M. (1971). *Opredelenie zhestkosti bumagi pri izgibe [Determination of the flexural stiffness of paper]*. *Tsellyuloza, bumaga, karton*, 30, 11–13 [in Russian].



7. Silenko, P. N. (1999). *Dinamika bumazhnogo lista v transportnykh sistemakh poligraficheskikh mashin* [Dynamics of the paper sheet in the transport systems of printing machines]. Moscow: Izd-vo MGUP, 166 p. [in Russian].

8. Kotliarov, V. P. & Babych, V. A. & Shostachuk, Yu. O. (2018). Vykorystannia lazernoï tekhniki dlia vyhotovlennia blankiv i dokumentiv suvoroi zvitnosti [The use of laser technology for the production of forms and documents of strict reporting]. *XXVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia z problem vydavnycho-polihrafichnoi haluzi*. Kyiv: UkrNDISVD, 11–12 [in Ukrainian].

9. Shostachuk, Yu. O. & Kotliarov, V. P. & Babych, V. A. (2018). Mozhlyvosti vykorystannia lazernoï tekhniki dlia obrobky paperovoi produktsii [Possibilities of using laser equipment for processing paper products]. *XXVII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia z problem vydavnycho-polihrafichnoi haluzi*. Kyiv: UkrNDISVD, 10–11 [in Ukrainian].

10. Babych, V. A. & Kotliarov, V. P. & Shostachuk, Yu. O. (2018). Tekhnolohichne obladnannia dlia vykorystannia operatsii zakhystu blankiv ta koshtovnykh paperiv [Technological equipment for the use of operations to protect forms and securities]. *Vseukrainska naukovo-tekhnichna konferentsiia molodykh vchenykh ta studentiv 'Innovatsii molodi – mashynobuduvanniu'*, 87–91. Retrieved from <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2018/paper/view/12874>.

The types, structure, surface and mechanical characteristics and parameters of paper materials are analyzed, and also features of performance of separate technological processes with a possibility of use of laser devices at processing of printed paper production are defined.

Keywords: postprinting processes; printing materials; laser devices; cutting; cutting machines.

Надійшла до редакції 10.03.21