УДК 621.375.826:621

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ПОЛІГРАФІЇ

© В. П. Котляров, д.т.н., професор, М. А. Аліверді, аспірант, О. І. Артемчук, магістрант, Н. Л. Талімонова, аспірантка, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Для известных и новых видов лазерной обработки при изготовлении полиграфической продукции предложены методики выбора режимов обработки для разных технологических схем формообразования и их информационное обеспечение.

For the known and new types of laser machining at making of graphic art the methods of machining modes choice for the different flowsheets of forming and them informative providing are offered.

Вступ

Лазерне гравірування має ряд переваг перед іншими способами виготовлення друкарських форм [1]. Це — висока продуктивність, точність, а так само гнучкість методу.

Постановка проблеми

Перший етап у виготовленні друкарської продукції — створення друкарської форми, яка може бути плоскою або циліндровою, цілісною або такою, що складається з окремих частин. В процесі виготовлення різними способами [2] створюють друкуючі і не друкуючі (пробільні) елементи у вигляді системи лунок (отворів), рисок (щілин). При друкуванні на друкуючі елементи форми наноситься фарба, яка потім переноситься на задруковуваний матеріал.

Можливість прийомами лазерної технології виготовляти лунки або отвори складної форми є однією з основних переваг лазерної розмірної обробки при виготовленні елементів форм для друку [3]. В цьому відношенні лише електронно-променева обробка здатна скласти конкуренцію лазерній обробці. Особливістю технологічного забезпечення операцій лазерної обробки складно профільних отворів, лунок є спроможність незалежного управління їх подовжньою і поперечною формою. Це досягається при використанні в операціях різних технологічних схем обробки.

Технологічна схема встановлює початкове взаємне положення заготівки і інструменту (у ЛРО — це визначає умови опромінення), вид і характеристики оброблювального інструменту (у ЛРО — це параметри перетвореного в інструмент пучка лазерного випромінювання), а також напрям, вид і закон відносного переміщення інструменту і заготівки під час виконання технологічної операції.

Аналіз попередніх досліджень

Прийнято розрізняти дві форми поперечного перетину лунок: кругла і фасонна. До останньої відносяться: овальні, багатогранні, кільцеві лунки і ін. Залежно від розмірів лунки і її профілю застосовують три технологічні схеми їх формоутворення пучком лазерного випромінювання (рис. 1 [1]):

— з видаленням матеріалу одночасно зі всього поперечного перетину порожнини (а);

— профілювання порожнини методом обходу контуру її поперечного перетину (б);

— комбінований спосіб (в).

За першою схемою обробки (а) форма поперечного перетину лунки *7* в деякому масштабі відповідає формі перетину *6* перетвореного лазерного променю *4* на поверхні заготівки *5*, а її розміри (X, Y) визначаються розмірами пучка (a, b), режимом обробки і теплофізичними властивостями матеріалу.

У другому випадку (б) контур поперечного перетину подібний до траєкторії відносного переміщення лазерного променя *4* і оброблюваної заготівки *5*, а його розміри (X, Y) підсумовуються з величин переміщень у кожному напряму перетину (наприклад, траєкторією *8* обертання заготівки *5* із швидкістю ω) і ефективного розміру одиничної зони обробки *6* перетвореним лінзою 3 пучком випромінювання *1* (ши-

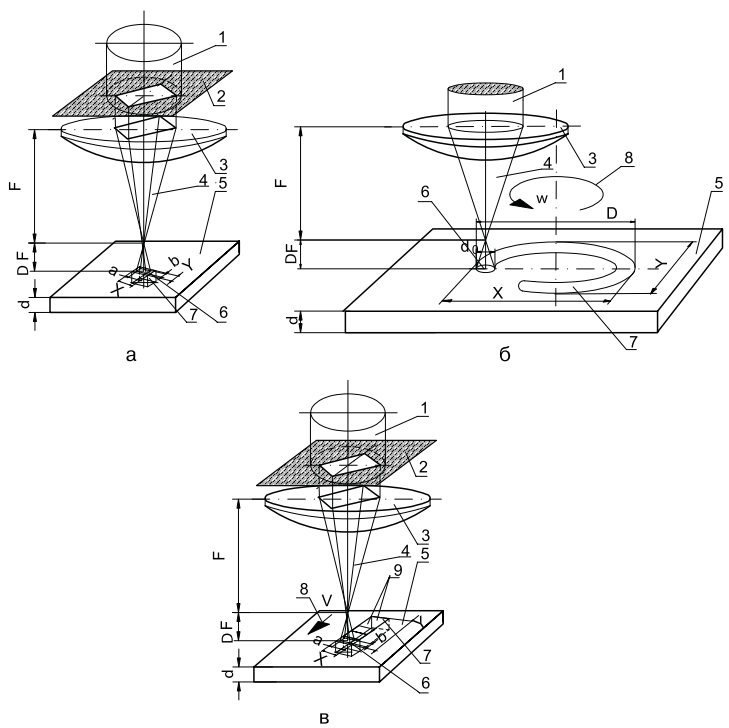


Рис. 1. Технологічні схеми формоутворення попереку лунок пучком лазерного випромінювання

рини різу d_0). Форма поперечного перетину за комбінованою схемою обробки (в) повторює форму пучка *6* на поверхні заготівки вздовж однієї координати (X) і формується суперпозицією *9* цих форм вздовж іншої (Y). Також визначаються і розміри поперечного перетину лунки, отриманої за цим методом.

Отже, форма і розміри перетвореного пучка лазерного випромінювання на поверхні заготівки в тій або іншій мірі (залежно від режимів обробки) визначають форму і розміри поперечного перетину оброблювальної лунки за будь-якою схемою обробки. Тому завдання формування пучків лазерного випромінювання з необхідною конфігурацією поперечного перетину є проблемою, визначальною не лише при обробці за першим методом, але і за іншими.

Мета роботи

Систематизувати методики аналітичного та експериментального проектування операцій лазерної обробки елементів друкарських форм лазерним променем в залежності від складності технічного завдання та розробити алгоритм їх виконання для нових технологічних операцій по захисту бланків строгої звітності та цінних паперів.

Результати проведених досліджень

Лазерний промінь, як інструмент, до того ж характеризується набором енергетичних, часових та просторових характеристик, співвідношення яких визначає його оброблювальні можливості та визначається технічним завданням на проектування (ТЗ). Для наближення методики режимного забезпечення до можливостей практикуючого технолога із додрукарських процесів необхідно вирішення наступних задач:

— розподілити аналітичні методи проектування за кожною з трьох можливих схем обробки (рис. 1);

— визначити застосовність аналітичних методів проектування в зв'язку із складністю ТЗ;

— обґрунтувати необхідність в експериментальних методах проектування та забезпечити їх потрібною інформаційною базою;

— використати можливості лазерного гравірування для прямого формування друкованої продукції.

А. Для формування елементів друкарської форми за схемою рис. 1, а необхідна достатньо висока енергонасиченість імпульсу випромінювання для створення необхідного рівня інтенсивності в зоні обробки. Схема обробки лунки імпульсом з такою інтенсивністю I_{p_a}, що діє протягом часу τ на ділянку поверхні заготівки діаметром d_0 показана на рис. 2. Основному імпульсу *7* тривалістю τ передує пічок *6* тривалістю τ_s оскільки із-за невисокої інтенсивності випромінювання в «гладкому» імпульсі I_{p_a} необхідно підвищити поглинальну здатність поверхні заготівки, особливо при обробці прозорих або таких матеріалів, що добре відбивають випромінювання. Інтенсивність пічка $I_{p_S} >> >> I_{p_a}$.

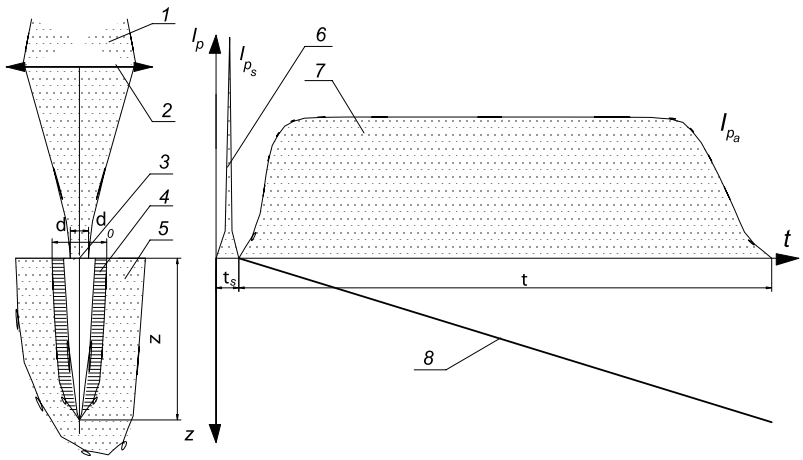


Рис. 2. Схема опромінення та формування лунки квазістаціонарним імпульсом лазерного випромінювання

Внаслідок приблизного рішення теплової задачі створено схеми розрахунку режимів обробки за наступним алгоритмом:

а) розрахунок тривалості імпульсу $\tau_р$ для досяжного за обраною схемою опромінення рівня щільності потужності ($W_{ра} \approx 10^7 – 10^8$ Вт/см^2);

б) уточнення дійсного значення тривалості $\tau_д$ згідно з можливостями обраного технологічного обладнання;

в) визначення рівня імпульсної енергії, який потрібен для формування лунки (риски) заданої глибини;

г) визначення діаметра пучка випромінювання на поверхні заготівки з урахуванням механізму формоутворення отвору (лунки, риски);

д) обрання параметрів перетворюючої оптичної системи (телескопу та об'єктиву) з урахуванням дійсного кута розбіжності пучка випромінювання.

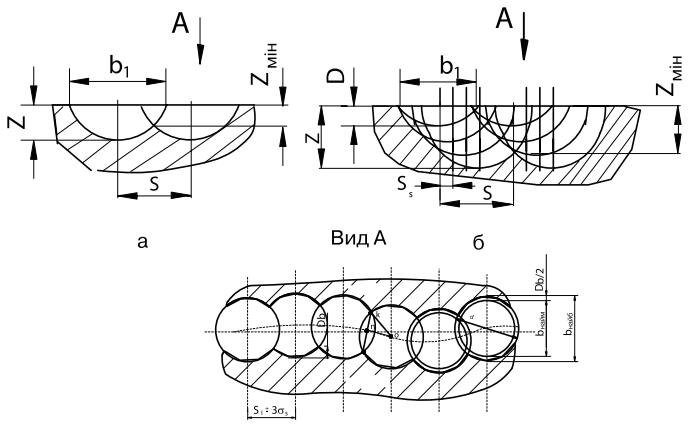


Рис. 3. Схема формування риски (лунки) системою ненаскрізних лунок

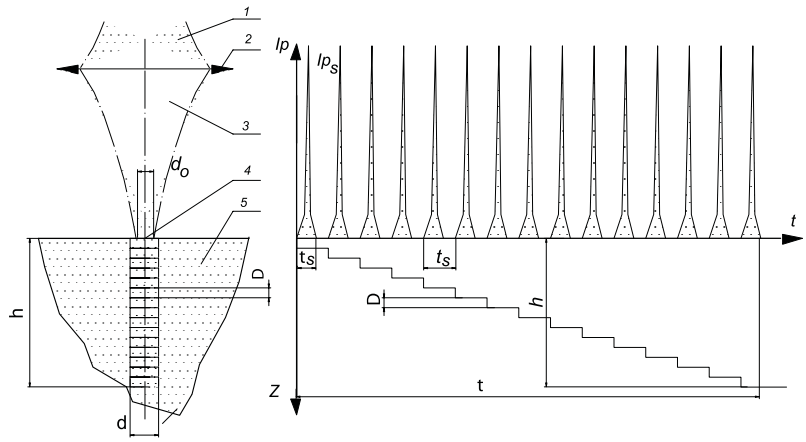


Рис. 4. Схема опромінення та формування лунки регулярною послідовністю пічків лазерного випромінювання

Автором цієї схеми формоутворення лунки запропоновано декілька алгоритмів для отворів (лунок):

— обмеженої глибини;

— глибоких (h >> d);

— циліндричної форми.

Ці алгоритми [3] модифікуються для матеріалів з низькою та високою теплопровідністю.

Б. Якщо елементи друкарської форми формуються за схемами рис. 1, б та в, тобто з відносним переміщенням пучка випромінювання та заготівки (рис. 3), то потрібна інша технологічна схема їх формоутворення з поступовим прирощуванням розмірів елемента за рахунок порціонної подачі енергії (рис. 4).

За цією схемою додатково до наведеного алгоритму обрання режимів необхідно визначити енергію випромінювання в мікро імпульсі (пічку), частоту їх надходження та кількість для обрахування сумарної енергії та тривалості імпульсу (групи пічків).

Цей режим складає особливу цінність при використанні багатошарових формних матеріалів, наприклад Laser-Plate [4], властивості яких різняться по їх перетину, тому що дозволяє використовувати розроблений метод пошарового руйнування матеріалів [5].

В. Якщо технологічна задача ускладнена додатковими вимогами до результатів технологічної операції, то описані вище методи режимного забезпечення не дозволяють їх враховувати внаслідок відсутності відповідних моделей процесу обробки. Цими можливостями володіють експериментальні методи його моделювання відносно додаткових показників, на які встановлено межові критерії.

Інформаційна база експериментальних досліджень складається з наступного:

1. Для ефективного використання багатофакторної методики експерименту необхідно мати каталог планів, ефективних для різних експериментальних ситуацій, тобто заданої точності одержуємих моделей та тривалості досліджень.

Набір ефективних експериментальних планів

№ пп	Модель Кількість ефектів План	Кількість факторів n						
		2	3	4	5	6	7	8
1	Лінійна, $L_л = 1 + n + 0,5n(n - 1)$	4	7	11	16	22	29	37
	Тип плану	2^2	2^3	2^4	2^{5-1}	2^{6-1}	2^{7-2}	2^{8-2}
	Кількість дослідів	4	8	16	16	32	32	64
2	Квадратична $L_{кв} = 0,5(n + 2)(n + 2)$	6	10	15	21	28	36	45
	Тип плану (композиційний)	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k, H_c	B_k	B_k
	Кількість дослідів	8	14	24	26	44	48	80
3	Квадратична $L_{кв} = 0,5(n + 2)(n + 1)$	6	10	15	21	28	36	45
	Тип плану (насичений)	H_cквD	H_cквD	Рехтш	Рехтш	Рехтш	Рехтш	Рехтш
	Кількість дослідів	6	10	15	21	28	36	45
4	Лін.(квадр.)$(n + 1) \le L \le 0,5(n + 2)(n + 1)$	3–6	4–10	5–15	6–21	7–29	8–37	9–46
	Тип плану (компромісний) № плану	41	45	46	56	52	31	32
	Кількість дослідів	$\ge L$	$\ge L$	$\ge L$	$\ge L$	$\ge L$	$\ge L$	$\ge L$

В табл. наведено деякі з експериментальних планів [6], які зручно використовувати в різних обставинах, наприклад:

— на початкових етапах досліджень процесу обробки для проектування нових за змістом технологічних операцій (плани 1 та 2);

— для розширення меж факторного простору (меж досліджень) для освоєних операцій (плани 1, 2 та 3);

— для одержання додаткових моделей процесу відносно додаткових нових показників у освоєній операції, на які встановлено відповідні критерії (плани 4).

2. Для обмеження об'єму досліджень шляхом використання в експериментах лише суттєво впливових факторів необхідно використовувати рангові діаграми, які побудовані для процесу лазерної обробки лунок (отворів) (рис. 5) та контурного формування рисок, пазів та наскрізних порожнин (в тому числі отворів) (рис. 6).

Використання останніх базується на наступних діях:

— Аналіз набору рангових діаграм для тих показників операції, що проектується, на які встановлено критерії, з метою вибору обмеженої їх кількості

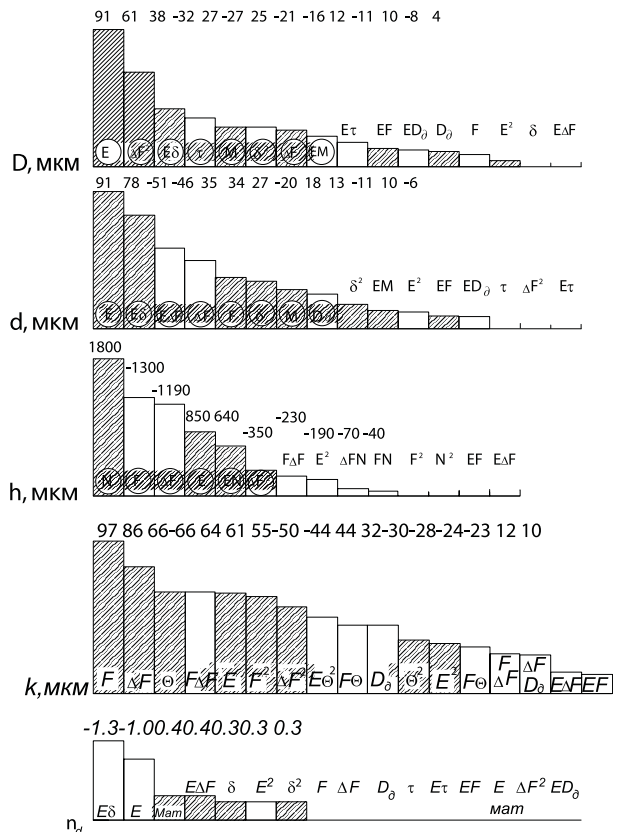


Рис. 5. Рангові діаграми керуємих факторів лазерної обробки по впливу на розмірні та якісні показники лунок (отворів)

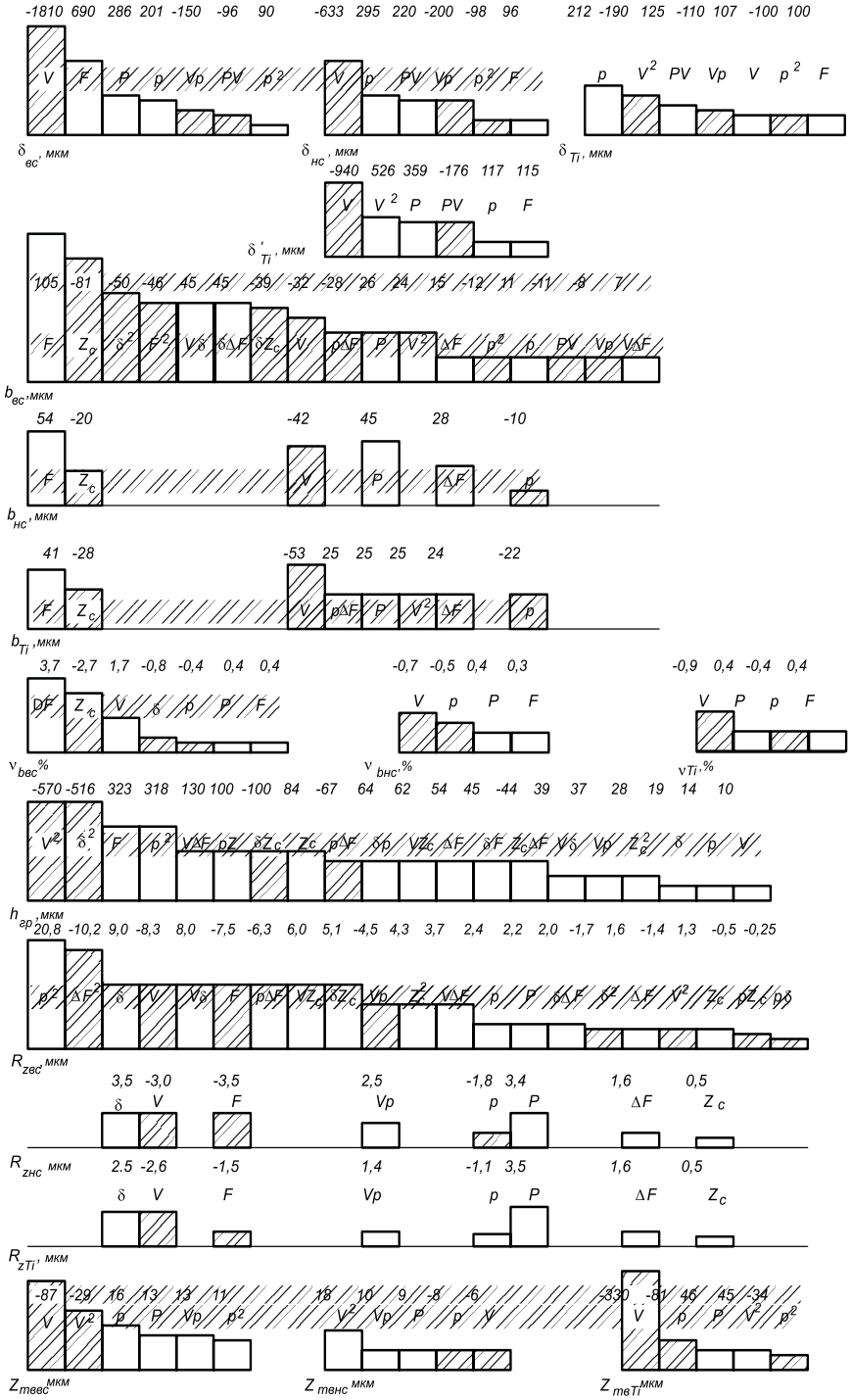


Рис. 6. Рангові діаграми керуємих факторів лазерної обробки по їх впливу на розмірні та якісні показники рисок та різів

з найбільш впливових комплексно на набір показників для формування факторного простору експерименту.

— Аналізуючи зміст технологічної задачі та характер впливу факторів, які не приймають участь у формуванні факторного простору експерименту, на кожний показник, визначають їх рівні для фіксації протягом експерименту та під час подальшого використання одержаних моделей.

— Вибір рівня останніх факторів та їх знак обираються такими, щоб спростити досягання заданих значень нормованих показників, тобто придати моделям, що будуються, бажаної тенденції.

Використання лазерної обробки для захисту від підробки бланків строгої звітності

Подальше розширення застосовності лазерної обробки може бути досягнуто за рахунок розробки технологічних операцій, що додають виробам нові, досяжні лише лазерним променем властивості, наприклад, підвищення міри їх захищеності від підробки.

Впровадження лазерної технології в процес перфорації бланків коштовних паперів і документів строгого обліку дозволяє скоротити тривалість виробничого процесу, забезпечити додаткову міру їх захисту, підвищити гнучкість виробництва, поліпшити умови праці, а також на 95 % автоматизувати процес контролю якості перфорації.

Сучасні методи перфорації застосовують механічну операцію формування отворів — прошивкою пуансонами. Така технологія має наступні недоліки:

— низька якість отворів;

— циліндрова форма;

— складна процедура зміни вмісту напису;

— складність зміни розміру формоутворюючих отворів;

— низька продуктивність;

— необхідність в періодичному загострюванні інструментів.

Особливі властивості матеріалів, які використовуються для виготовлення документів (низький поріг сублімації, відсутність процесу оплавлення), дозволяють використовувати лазерне випромінювання для формування отворів, з яких утворюється захисний знак. Залежно від розміру отворів (діаметру) і товщини документу можуть застосовуватися дві технологічні схеми їх формування:

— для $d \leq 0{,}3$ мм — випаром матеріалу виробу за всією площею отвору (рис. 1, а);

— для $d > 0{,}3$ мм — вирізка отвору методом трепанації — обходом його контуру (рис. 1, б, в).

Остання схема формоутворення більш універсальна, оскільки дозволяє одним типом інструменту виконувати обробку різних отворів, як за діаметром, так і за подовжньою формою.

Для операції перфорування отворів перспективне використання лазера на CO_2, випромінювання якого ефективно поглинається папером і картоном. Обґрунтованим є імпульсний режим опромінення для підвищення рівня інтенсивності в зоні опромінення, що скорочує протяжність зони термічного впливу, а значить, підвищує якість обробки.

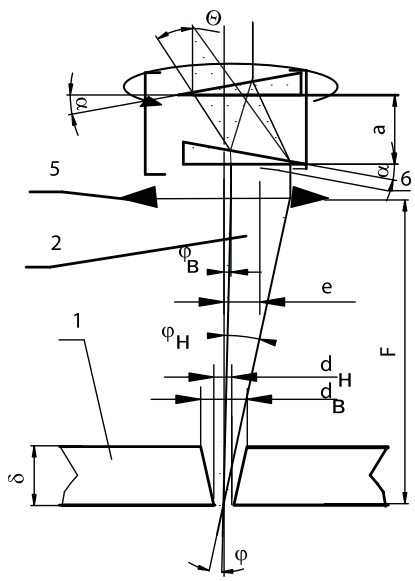
Набор технологічних переміщень визначається вибраною технологічною схемою обробки:

— для обробки отворів малого розміру (рис. 1, а) основним технологічним переміщенням є відносне позиціювання інструменту і заготівки при переході до обробки наступного отвору;

— для обробки із скануванням (рис. 1, б, в) позиціювання доповнюється відносним переміщенням інструменту і заготівки уздовж контуру оброблюваного отвору, що частіше виконує пучок лазерного випромінювання, тобто і рух уздовж лінії контурного вирізування, і позиціювання пучка від одного отвору до наступного.

У ЛТУ, призначених для виконання такого комплексу переміщень, ці переміщення променю зазвичай додає двокоординатний сканер на двох плоских дзеркалах (рис. 2 [7]) з полем обробки 120×120 мм, що покриває поле звичайного захисного знаку. Для формування отворів конічної форми розроблено сканер на двох оптичних клинах (рис. 7), але для відносного позиціювання променя та заготівки потребується координатний стіл.

Враховуючи об'єм завдання перфорування документів, а також обмежену кількість друкарень, що виготовляють бланки документів строгої звітності і які повинні виконувати подібні операції перфорації, необхідна висока продуктивність ЛТУ при їх виконанні і для його переналагодження для зміни вмісту знаку, що наноситься, від бланка до бланка. Це може бути досягнуто за рахунок повної автоматизації операції, включаючи контроль її результатів і відбракування виробів з відхиленнями за якістю. Така форма її організації, не зважаючи на витрати на реалізацію,



$$k = d_в - d_н = \frac{2a\delta}{F} tg[\alpha(n-1)]$$

Рис. 7. Схема вирізання отвору конічної форми з керуванням його конусоподібності

дозволить отримати істотну економію за рахунок високої продуктивності методу лазерної перфорації і гнучкості операції.

Перфорація паспортів за першою схемою дозволяє отримати систему отворів одного розміру з характерними ознаками, які можна віднести до засобів додаткового захисту:

— «обгорілі» краї отворів, які неможливо отримати іншим методом перфорації;

— змінний розмір отворів по глибині перфорації: отвори на верхньому аркуші документа мають більший розмір ніж отвори на наступних сторінках;

— на нижній сторінці документу (обкладинці), що перфорується, формується малюнок з некрізних отворів (лунок) істотно меншого поперечного розміру, ніж на першій сторінці;

— отвори на всіх сторінках співвісні, не дивлячись на різні їх розміри.

Такий комплекс елементів захисту може бути ускладнений виготовленням отворів довільної подовжньої форми (не лише конічної), що унеможливлює кустарну підробку бланків.

При порівнянні сторінки документу з номером, який перфоровано традиційним методом — прошивкою пуансонами, видно сліди деформації сторінок, отвори одного розміру, наскрізні, що знижує ступінь захисту паспорту.

Захист цінних паперів

Останнім часом деякі країни (Швейцарія, Російська Федерація та інші) застосовують додатковий захист банкнот (у РФ — банкноти номіналом більш 100 рублів) системою отворів, прошитих лазерним випромінюванням. Зазвичай, перфорується система отворів в межах зображення номіналу купюр, до того ж висуваються деякі вимоги до якості прошивки — відсутність задирок і шорсткості довкола отворів (∅ 0,3–0,4 мм).

Вдосконалення такого елементу захисту купюри полягає в мініатюризації отворів і збільшенні їх кількості в межах знаку. По-

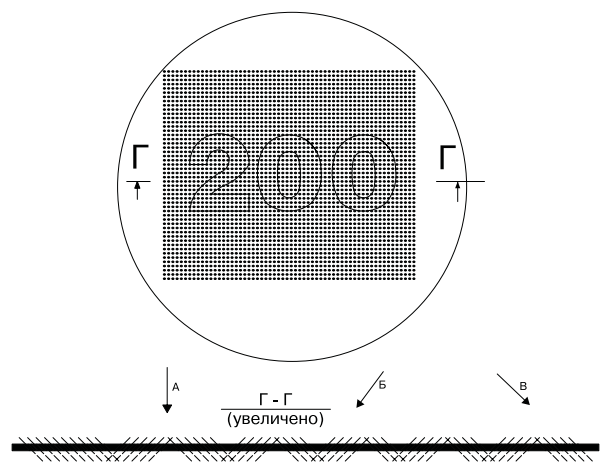


Рис. 8. Приклад перфорації системи захисних отворів похилим пучком випромінювання

дальший розвиток цього методу захисту планується за рахунок ускладнення структури системи отворів: в межах контуру цифри отвору малого розміру перфоруються з нахилом осі 45° до нормалі у бік однієї з коротких сторін, а за її межами з нахилом -45° у вигляді фону довкола цифри (рис. 8).

Тоді при розгляді купюри на просвіт під кутом 45° її номінал буде змальований системою отворів, що світяться, а під кутом -45° його профілем, оточеним системою отворів, що світяться.

Перспективними є формування некрізних лунок замість отворів, що зменшує ефект зниження міцності банкноти в зоні нанесення знаку. Глибина такої лунки має бути достатньою для знебарвлення її дна, тобто більше товщини шару фарби і перехідного шару.

Висновки

1. Аналіз прикладів лазерної перфорації системи отворів показав, що проектування технологічних операцій може бути виконане як за аналітичними залежностями (прості за змістом завдання) так і за методикою експериментальної оптимізації в разі оцінки операції за декількома критеріями.

2. Приклади перфорації бланків строгої звітності і коштовних паперів, як спосіб додаткового їх захисту від контрафактного тиражування показують необмежені можливості лазерної технології на операціях подібного типа. Окрім наявності таких захисних елементів, їх розташування (координатне і просторове), подовжня протяжність, поперечна мініатюрність і закономірна варіація розмірів можуть стати найважливішими з елементів попередження підробок банкнот, акцій і інших коштовних паперів.

3. Надалі планується виконати розробку та апробацію технологічного оснащення для реалізації запропонованих операцій, особливо це актуально для перфорації похилих отворів (або лунок), які неможливо обробити з достатньою швидкістю з використанням штатного обладнання.

1. Котляров В. П. Вопросы качества изготовления печатных форм методами лазерной технологии / В. П. Котляров // Технологія і техніка. — 2006. — № 3. — С. 12—34. 2. Современные печатные технологии. Компания Вариант [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www. variant.ru. 3. Котляров В. П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки) / В. П. Котляров. — Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя. — 2010. — 308 с. 4. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://plastics.com.ua. 5. А.с. СССР № 1392748 B23K 26/00 Способ лазерной обработки слоистых диэлектриков, 1988. 6. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов — М. : Машиностроение, 1980. — 304 с. 7. Котляров В. П. Технологічне забезпечення операцій лазерного гравірування / В. П. Котляров, А. Р. Рахшані // Наукові вісті НТУУ (КПІ). — 2007. — № 2. — С. 46—55.

Рецензент — А. І. Жученко, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 21.03.11