

Колибашкин С.О. Котляров В.П.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛАЗЕРНОЇ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ОБРОБКИ РЕЖИМНИМИ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНИМИ СПОСОБАМИ

Вступ

До класу прецизійних відносяться елементи виробів, які характеризуються підвищеними вимогами до їх якості, зокрема, точності розмірних характеристик, правильності повздовжньої форми та попереку, шорсткості зовнішніх та внутрішніх поверхонь, наявності тріщин на них та остаточного розплаву на крайках (дросу та грату). Головним чинником названих вище недоліків є залишковий розплав в оброблювальному елементі (в отворі, пазі, різі) та на оточуючих їх поверхнях виробу. Хоча його наявність та кількість завдячують невідповідності режимів обробки обраній схемі формоутворення елементу виробу та властивостям (теплофізичним та механічним) його матеріалу, шляхи зменшення недоліків у оброблених елементах виробів, зокрема, підвищення точності їх розмірів, полягає не тільки в оптимізації режимів виконання технологічної операції, а і в насиченні останньої технологічним оснащенням.

Яким чином враховуються вимоги технічного завдання (ТЗ) під час визначення технологічного регламенту операції? Для прогнозування кількісних рівнів її розмірних показників, а також обрання режиму обробки за заданими розмірними результатами розроблені на підставі різних концепцій формоутворення прецизійних елементів виробів аналітичні моделі та на їх основі - алгоритми виконання технологічного забезпечення різних операцій лазерної обробки [1]. Лише одна з відомих робіт [2], яка оснований на приблизному аналітичному рішенні задачі теплопровідності в металевих виробах із звичайних (конструкційних та інструментальних матеріалів) та з підвищеною теплопровідністю (Al, Cu, Au, Pt та їх сплавів), дозволяє визначати рівні комплексу керуємих параметрів процесу обробки окремо для тонких виробів $z \ll r/2$ (z – товщина їх стінки, r – радіус отвору (пів ширини різу) та глибоких лунок, пазів $4z/2r \gg 1$). Інші моделі за формою призначені для прогнозування розмірних результатів обробки (r та z), тобто вони не можуть бути використані для однозначного визначення режиму обробки на етапі проектування операції внаслідок входження в їх склад більшості параметрів процесу.

Проблемами якості операцій лазерної прецизійної обробки цікавилось багато спеціалістів, головним чином, точністю розмірних результатів та відповідністю форми (у попереку та повздовжньою) оброблювальних елементів ідеалу. Підвищення відтворюваності розмірів досягається за рахунок інтенсифікації процесу обробки шляхом скорочення тривалості подачі імпульсної енергії в зону опромінювання за умови підтримання незмінного рівня енергії. Це призводить до підвищення інтенсивності лазерного променя, тобто виключення плавлення матеріалу виробу безпосереднім його діям. Так, за методикою аналітичного проектування режимів обробки [2] перехід від обробки отворів в тонкостінних виробах до глибоких лунок в матеріалах з підвищеною теплопровідністю вимагає скорочення тривалості з 63 мкс до 22,5 мкс, або заміну одноімпульсної обробки на багатоімпульсну пічками тривалістю 4 мкс. В останні роки поширилися операції лазерної прецизійної обробки надкороткими імпульсами тривалістю від нано до фемто секунд. Але досягнення високого рівня точності оброблених елементів (розмірів і їх форми) наряду з якістю поверхні дорого коштує внаслідок видалення матеріалу нано порціями, що за умови тієї ж відносної нестабільності параметрів операції суттєво зменшує абсолютну величину похибок, але з падінням її продуктивності. Наприклад, прецизійне вирізання стентів імпульсами піко секундної тривалості виконується за умови багато імпульсної наскрізної прошивки стінки трубки, що при той же частоті надходження імпульсів зменшує швидкість подачі в 10 раз, тобто до 25 мм/хв. [3]. В протилежному напрямку діє скорочення тривалості імпульсу на якість поверхні обробленого елементу тому, що знижується або виключається «лікувальна» дія розплаву на недоліки діяння променя.

Недоліки поперечної та повздовжньої форми оброблювального елемента зменшуються шляхом оптимізації схем обробки, зокрема, використанням проєкційного методу, особливо, для формування точних та складних за контуром елементів [5], або застосуванням методу трепанації та спірального свердлення [6]. Останній метод формоутворення отвору також може бути використаний для надання йому заданого повздовжнього профілю.

Наведені приклади методів та засобів досягання високої якості обробки прецизійних елементів не виконують головного свого призначення – не викривають та не усувають дію чинників, що псують результати обробки. Деякі дослідження складових сумарної похибки технологічної операції [7 – 9] не розкривають повної картини її створення та не визначають шляхи комплексного покращення результатів технологічної операції.

Мета досліджень

Визначаючи складність режимного забезпечення операцій прецизійної обробки, результати яких описуються декількома показниками, внаслідок чого це завдання є багато критеріальним з невизначеними або складними методиками моделювання якісних їх складових, пропонується спрощення класичного алгоритму його виконання за рахунок виключення найбільш проблемних та пошуку організаційних та технологічних заходів досягнення результатів на заданому рівні якості. Для досягнення цієї мети потрібно розробити програму спрощення алгоритму, забезпечити її інформаційними даними та визначити напрямки та засоби компенсації дії не керуємих внаслідок цього показників.

Результати розробок

Найменш затратними заходами, як завжди, вважаються режимні та організаційні. Але дієвість перших з них гарантується за умови інформаційного забезпечення процесів прецизійної обробки, тобто ранговими діаграмами впливу керуємих факторів на показники якості операції (точності розмірних та характеристик форми, показників якості поверхні після лазерної обробки) та відпрацьованими методиками їх експериментального моделювання. Крім того, необхідно різноманітнити схеми формоутворення оброблювальних елементів та забезпечити операції відповідним технологічним оснащенням.

Оглядаючи способи та засоби підвищення якості обробки отворів, пазів та різів вдосконаленням режимного регламенту, які описано вище, необхідно відмітити однобічний підхід до оптимізації процесу формоутворення, хоча результати обробки у рівній мірі залежать не тільки від умов введення променистої енергії в зону обробки, а і від ефективності використання створеного нею теплового джерела у виробі. Таким же чином, як скорочення тривалості опромінення впливає на якісні показники обробки, зменшення теплопровідності матеріалу виробу дозволяє густіше сконцентрувати та корисніше витратити енергію теплового джерела. Для цього потрібно подрібнити структури матеріалу любым способом (термічним, деформаційним, тощо), наприклад, виробу, які потребують термообробку, необхідно піддавати лазерній розмірній обробці після виконання термічної, що потребує лише додаткових транспортних витрат, але поле розсіювання розмірів отворів в партії виробів може скоротитися у 1,5 рази ($6S_{d\ доТО} = 52,8$ мкм порівняйте з $6S_{d\ після\ ТО} = 36,3$ мкм для $d_{ном} = 0,35$ мм у сталі 18Х2Н4ВА). Якщо виріб не потребує термообробки, недоцільно її впроваджувати задля лазерної операції з наступною її нейтралізацією відпалом тому єдиним виходом може бути місцеве подрібнення структури в місці розташування оброблювального елемента, наприклад, тією ж лазерною обробкою в режимі поверхневого зміцнення [10]. Враховуючи суттєву різницю в режимах розмірної та зміцнюючої обробки, трітально можна очікувати необхідність в двох ЛТУ, с налаштуванням кожної з них на відповідний режим. Але з метою заощадження додаткових витрат на організацію операції локального подрібнення структури матеріалу в зоні розташування розмірного елемента можливо використання однієї ЛТУ, налагодженої на більш енергетичний режим опромінення за більший проміжок часу для формування зони $d_{зм} \times h_{зм}$, більшої ніж розміри, наприклад лунки $d_o \times h_o$. Наступний імпульс повинен бути інтенсивнішим, ніж попередній $I_{p2} \gg I_{p1}$, тобто здбним для формування розмірного елемента випаровуванням матеріалу. В зв'язку з тим, що переналгоджування ЛТУ на інший режим опромінення потребує

не тільки змінення умов функціонування лазера, а також інших параметрів опромінення: лінзи (типу та фокусної відстані) і її положення відносно оброблювальної поверхні. На цих заставках працює ЛТУ [11]. Але практичніше використання іншої концепції суміщення гартування локальної зони з формуванням розмірного елементу [12]. На рис. 1 зображена схема ЛТУ, лазер якої 1 утримує пасивний затвор 4 (для YAG: Nd³⁺ – кристал LiF₂: F₂⁻) діаметром $D_u = 0,83D_n\sqrt{\alpha}$, де α – параметр розподілу потужності у лазерному промені. Його завдання – затримати початок генерації променя 5 центральним осередком активного елементу до досягнення в ньому найвищого рівня потужності (за максимального рівня збудження елементу), тоді, коли периферійна його частина почала генерувати промінь 6 меншої потужності. Об'єктив ЛТУ створено двома лінзами 2 і 3, причому перша має отвір під центральний промінь 5, тобто останній перетворюється однією лінзою 3 і її розташовують на відповідній відстані від поверхні виробу 11 для формування лунки 9 заданих розмірів ($h_o \times d_o$). Промінь 6 концентрується системою із двох лінз 2 (F_1) і 3 (F_2) з загальною фокусною відстанню $F' = F_1F_2/(F_1+F_2-a)$, причому виріб 11 розташовується із зміщенням $\Delta F' = F_2 - b'$, де $b' = F'(1-a/F_1)$ – робочий відрізок системи лінз 2 – 3.

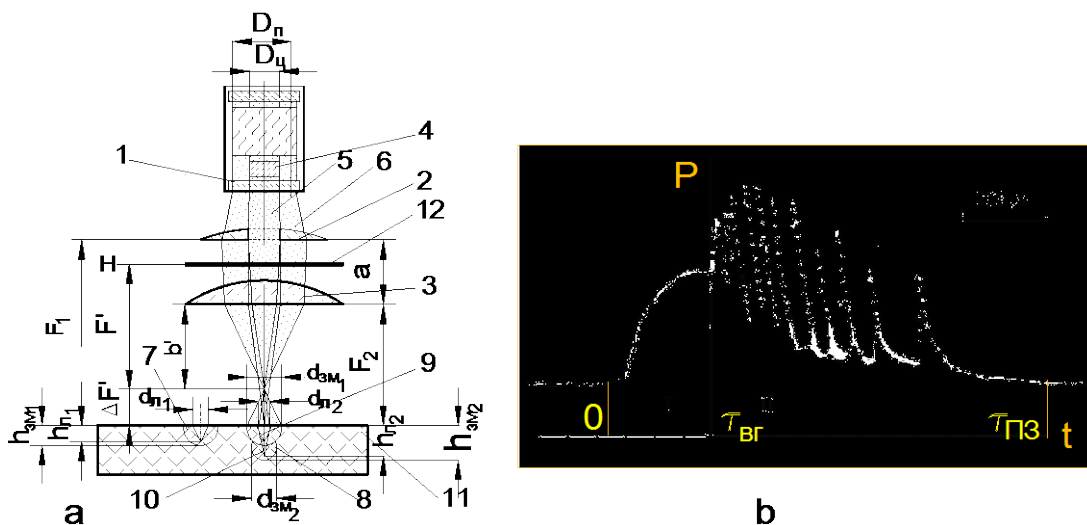


Рис. 1. Схема ЛТУ для обробки отворів з одночасною термообробкою матеріалу виробу в зоні їх розташування (а);, структура імпульсу випромінювання периферійного (І) і центрального (ІІ) променя (b):

1 – лазер, 2 – лінза з отвором, 3 – перетворююча лінза, 4 – пасивний затвор, 5, 6 – центральний та периферійний промені, 7 і 8 – зона зміцнення першим і другим імпульсом, 9 і 10 – лунка після першого та другого імпульсу, 11 – заготовка, 12 – головна площина системи лінз.

Така послідовність обробки отвору із попереднім опроміненням зони його розташування в режимі гартування 7 та з наступним формуванням отвору 9 в подрібненій структурі матеріалу сприяє зменшенню відтоку тепла від стінок лунки, що формується, та їх оплавлення.

Для виробів із металів, які не мають термічних структурних перетворень у твердому стані подібний ефект можна досягти при механічному подрібненні структури в зоні обробки розмірного елементу [13]. ЛТУ (рис. 2) має лазер, подібний попередньому, а для перетворення лазерних променів центрального 7 та периферійного 6 використано оптичну систему із від'ємної лінзи 8 з осьовим отвором та лінзу – кульку 9, виготовлену із плавленого кварцу. Периферійний промінь 6 перетворюється обома лінзами в кільцевий на рівні поверхні виробу 13, має невеликий рівень густини потужності (до 10^4 Вт/см²) для підігріву матеріалу в зоні обробки 12, на поверхню якої тисне підпружинена лінза – кулька 9. Центральний промінь затримується в надходженні в зону опромінення завдяки дії пасивного затвору 4 лазера, тому вона при короткотривалій дії периферійного променя піддається ударному діянню кульки, що викличе подрібнення матеріалу в зоні опромінення. Надходження з невеликим затриманням імпульсної енергії центрального променя (рис. 1b) викличе руйнування (сублімацію) матеріалу в межах зони його концентрації, що в разі тонкостінного виробу 13 утворить наскрізний отвір 11 в умовах обмеженого тепловідведення від стінок оброблювального елементу.

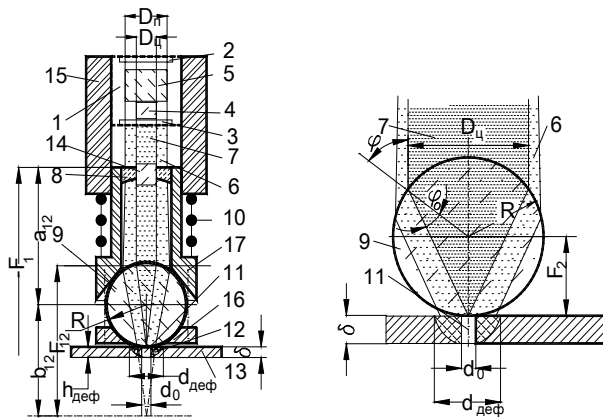


Рис. 2. Схема ЛТУ для якісної обробки отворів в металевих заготовках малої товщини:

1 – лазер, 2 і 3 – резонатор, 4 – пасивний затвор, 5 – активний елемент, 6 і 7 – периферійний та центральний промені, 8 і 9 – негативна та позитивна лінза-куля, 10 – пружина, 11 – отвір, 12 – зона деформації, 13 – заготовка, 14 – елемент нелінійної оптики, 15 – корпус, 16, 17 – обійми лінзи-кулі.

Висновки

- для ефективного керування параметрами лазерного променя, як заготовки оброблювального інструменту, необхідно використовувати засоби резонаторного впливу в параметричному виконанні;
- оперативне та ефективне змінення режиму роботи лазера досягається при модуляції випромінювання впливом на добротність резонатора замість модуляції джерела нагачування активного середовища;
- пристосування лазерного променя до поглинальних властивостей матеріалу та поверхні заготовки, особливо, при складній її будові та рельєфу, буде ефективнішим при гармонічній перебудові частоти випромінювання оптичними елементами з нелінійними характеристиками;
- гнучкість лазерного променя, як основи для створення технологічного інструменту, розширює область застосування лазерів, але ускладнює роботу інженера технолога на етапі створення технологічного оснащення операції.

Використані джерела

1. Киященко О.М. Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України. В.П. Котляров, *Наукові вісті НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»*, - 2017.-№ 1. - С. 94-105.
2. Steffen J. Prozessoptimierung blakus materialabtragenden bearbeitungs problemen ar Lasertrahlung // *Teinverktechn. un messtechn.* – 1979. – **87**, № 7. – Р. 309–320.
3. Kotlyarov V. Optimizing Technological Fabrication Techniques for Laser Cutting of Stents. A.Vahdatinia. A. Aliverdi; H. Mollabashi. *Proc.of int.Conf."Laser Technologies in Welding and Materials Processing. May 26-29,2009, Katsiveli, Crimea, Ukraine* p. 38-41.
4. Коваленко В.С. Малоотходные процессы резки лучом лазер. В.С. Романенко, Л.М. Олещук. – Киев: Техніка. – 1987.- 112 с.
5. Вейко В.П. Лазерная микро обработка. – С.-Петербург: ГУ ИТМО, 2007. – 111 с.
6. HR Aachen Kollquium, Рекламне повідомлення фірми Lasag, 2005. - www/lasers@lasag.ch
7. Вакс Е.Д. Технология обработки деталей машин световым лучом. Москва: Машиностроение. – 1974. – 32 с.
8. Тархов Г.Н. Светолучевая обработка материалов. – *ЭФХМОМ*. 1967. - № 3. – С. 31-44.
9. Тришкин В.М. Назначение режимов лазерной обработки отверстий в зависимости от требований к их точности. – *Авиационная промышленность*. – 1974. - № 8. – С. 34-35.
10. Котляров В.П. Спосіб лазерної обробки отворів в металевих заготовках. В.П. Котляров, Хамеді. Патент України № 42516 МПК³ B23K 26/06 за заявою № u 2009 00916 від 06.02.2009, оп. 10.07.09 б. 13.
11. Котляров В.П. Пристрій для лазерної обробки отворів в металевих виробах. В.П. Котляров, А. Аліверді. Патент України №42519 МПК³ B23K 26/06 за заявою № u 2009 00919 від 06.02.2009, оп. 10.07.09 б. 13
12. Котляров В.П. Пристрій для обробки поверхонь тертя лазерним зміцненням. В.П. Котляров, В.М. Ситник. Патент України № 87370 C21D 1/06 за заявою № u 2013 07835 від 19.06.2013, оп. 10.02.2014, б. №3
13. Котляров В.П. Пристрій для створення регулярного мікрорельєфу. В.П. Котляров, П.П. Шинкаренко. Патент України №76423 B23K 26/00 за заявою № u 2012 05108 від 24.04.2012, оп. 10.01.2013, б. №1