

Підвищення адаптивності лазерних технологічних систем

В.Л. Дубнюк, В.П. Котляров

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація:** Сучасні лазерні технологічні системи, що експлуатуються на машинобудівних підприємствах зазвичай є вузькоспеціалізованими, призначеними для здійснення однієї єдиної операції. З одного боку це є доцільним тому, що значно підвищує ефективність використання такого обладнання та обмежує кількість та вартість допоміжного технологічного устаткування. З іншого боку, інколи потрібно розширити технологічні можливості обладнання з метою отримання децю специфічних характеристик оброблюваних заготовок та підвищення адаптивності обладнання до проєктованих технологічних операцій. Метою даного дослідження було визначення основних потреб у технологічному оснащенні лазерних технологічних систем для поверхневої обробки, які мають надати можливості розширити спектр оброблюваних заготовок за конфігурацією та розширити перелік оброблюваних матеріалів. Таке підвищення адаптивності технологічної системи має надати можливості зі збільшення гнучкості їх застосування. Задля досягнення поставленої мети було визначено, що для отримання точних фізико-механічних параметрів оброблених деталей необхідно чітко витримувати та контролювати температуру нагрівання поверхні заготовки у різних точках її поверхні та забезпечувати час впливу на кожну окрему ділянку. Ці дві характеристики залежатимуть від фізико-термічних характеристик самого матеріалу і конфігурації оброблюваної заготовки (товщини, ширини, довжини, об'єму, наявності загострених крайок тощо).*

***Ключові слова:** лазер; технологічна система; адаптивність; поверхнева обробка*

На даний час лазерне проміння стало добре вивченим, легко керованим та універсальним інструментом для здійснення великого різноманіття технологічних операцій майже усього діапазону конструкційних матеріалів. Зараз найбільш розповсюджені різання листових матеріалів, зокрема, металів та сплавів, поверхнева обробка з метою змінення фізико-механічних властивостей поверхневого шару матеріалу та зварювання.

Сучасні лазерні технологічні системи, що експлуатуються на машинобудівних підприємствах зазвичай є вузькоспеціалізованими, призначеними для здійснення однієї єдиної операції. З одного боку це є доцільним тому, що значно підвищує ефективність використання такого обладнання та обмежує кількість та вартість допоміжного технологічного устаткування. З іншого боку, інколи потрібно розширити технологічні можливості обладнання з метою отримання децю специфічних характеристик оброблюваних заготовок та підвищення адаптивності обладнання до проєктованих технологічних операцій.

Метою даного дослідження було визначення основних потреб у технологічному оснащенні лазерних технологічних систем для поверхневої обробки, які мають надати можливості розширити спектр оброблюваних заготовок за конфігурацією та розширити перелік оброблюваних матеріалів. Таке підвищення адаптивності технологічної системи має надати можливості зі збільшення гнучкості їх застосування.

Задля досягнення поставленої мети було визначено, що для отримання точних фізико-механічних параметрів оброблених деталей необхідно чітко витримувати та контролювати температуру нагрівання поверхні заготовки у різних точках її поверхні та забезпечувати час впливу на кожну окрему ділянку. Ці дві характеристики залежатимуть від фізико-термічних характеристик самого матеріалу і конфігурації оброблюваної заготовки (товщини, ширини, довжини, об'єму, наявності загострених крайок тощо).

При лазерному поверхневому зміцненні партії оброблювані поверхні заготовок частіше за все мають розміри суттєво більші, ніж переріз лазерного пучка, тому необхідно застосувати технологічну схему з кількома проходами пучка зі зміною напрямку подачі для обробки усієї поверхні. Це, а також різноманіття стану поверхні заготовок в партії, може призвести до коливання визначеного заздалегідь рівня поглинання поверхні внаслідок змінення умов опромінення з причини іншої орієнтації шорсткості відносно напрямку подачі, появи бруду, іржі та залишків оливи або змінення рівня поглинальної властивості нанесеного поглинального покриття. У таких випадках необхідно оперативно втручатись у режими

технологічної операції для відповідного компенсування поглинальної здатності змінням рівня одного чи декількох складових, наприклад, швидкості подачі або потужності проміння.

Запропоновано методику та пристрій для опромінення заготовки з підтримуванням кількості поглиненої потужності або енергії проміння на постійному рівні визначеному технологічним регламентом. Для реалізації цієї методики створюються умови оперативного визначеного рівня реальної поглинальної здатності поверхні безпосередньо у зоні опромінення та вздовж напрямку відносного переміщення пучка шляхом активного контролю рівня відбитої від поверхні потужності або енергії.

Коефіцієнт відбивання R визначаємо як відношення відбитої потужності P_B до потужності, що потрапляє на заготовку P :

$$R = P_B / P.$$

У разі недопустимих коливань коефіцієнта відбивання R внаслідок зміння оптичних властивостей поверхні заготовки або покриття, питома потужність (енергія) у зоні термічного впливу має підтримуватися на заданому рівні змінням умов опромінення при відносному переміщенні пучка лазерного проміння та заготовки під час проведення операції:

– для імпульсного опромінення:

$$W_p = I_p A = \frac{AE}{S\tau}; W_E = \frac{AE}{S}; S = \left(\frac{\pi d_0}{4} + V\tau \right) d_0;$$

– для безперервного опромінення:

$$W_p = I_p = \frac{AP}{S}; W_E = \frac{AP}{S} t; S = \left(\frac{\pi d_0}{4} + Vt \right) d_0; t = \frac{d_0}{V}.$$

де A – коефіцієнт поглинання проміння поверхнею заготовки; d_0 та S – діаметр та площа опромінюваної ділянки заготовки; τ – тривалість імпульсу опромінення; t – тривалість опромінення; V – швидкість відносного переміщення пучка та заготовки; P та E – енергія та потужність лазерного проміння.

Найбільш впливовими є енергетичні параметри операції (P або E) та умови опромінення (d_0 , t або V). Керування енергетичними параметрами зміною умов роботи випромінювача лазерної технологічної системи з ЧПК потребує вільного каналу керування та виконавчих електронних ключів у системі накачування активного середовища. Вплив на умови опромінення, наприклад, на розмір пучка на поверхні заготовки d_M може виконуватися через зміння просторових параметрів лазерного пучка (діаметр пучка на лінзі фокусування D , кут розбіжності θ). Керування процесом лазерної обробки при параметричному змінні характеристик лазерного проміння, ускладнюється одночасною залежністю основних характеристик пучка лазерного проміння (енергії, потужності, тривалості імпульсу, модового складу, розподілу інтенсивності за перерізом пучка та кута розбіжності, поперечних розмірів та спрямованості осі пучка) від рівня потужності накачування активного середовища. Тому на практиці для операцій поверхневої обробки використовують особливості каустики проміння, перетвореного лінзами або дзеркалами, тобто залежність розміру її перерізу від положення заготовки вздовж осі пучка:

Для Гаусова пучка з кутом розбіжності θ , перетвореного тонкою лінзою з фокусною відстанню f , розташованою на відстані z_p від її переднього фокусу до перетинки каустики d_p пучка у резонаторі, діаметр пучка d_M , який відповідає розміру опромінюваної ділянки заготовки d_0 , можна визначити за залежністю [1]:

$$\left(\frac{d_M}{2} \right)^2 = \left(\frac{d_p}{2f} \Delta f \right)^2 + \left(\theta - \frac{\theta z_p}{f} \Delta f \right)^2$$

У сучасних лазерних технологічних комплексах з відносним переміщенням інструмента та заготовки за трьома координатами таке керування не викликає труднощів та не потребує додаткового технологічного оснащення. У деяких випадках має сенс застосовувати керування часом опромінення. При застосуванні імпульсних лазерів доцільно застосовувати регулювання тривалості імпульсів опромінення та шпаруватості обробки, а для безперервного режиму – швидкість відносного переміщення V тому, що тривалістю опромінення зони розміром $d_{\Delta f}$ є величина $t = d_{\Delta f} / V$, тобто з пришвидшенням руху енерговкладення зменшується та навпаки.

З метою адаптивного керування режимом обробки пропонується застосування пристрою для лазерної обробки поверхонь зі стабілізацією рівня поглинання енергії проміння (рис. 1) [2]. Для заданих режимів обробки, у тому числі діаметра зони опромінення $d_{\Delta f_4}$ та обраної перетворюючої лінзи 4 з фокусною відстанню f_4 , визначаються умови опромінення, тобто величина зміщення поверхні заготовки з фокальної площини лінзи Δf_4 :

$$\Delta f_4 = (d_{\Delta f_4} - f_4 \theta) f_4 / D.$$

Далі обираються параметри лінзи 3 для відбирання частини потужності променя: діаметр центрального отвору в ній $D_0 < D$ та її фокусну відстань f_3 :

$$f_3 = f_{34} (f - a) / (f_4 - f_{34}),$$

де f_{34} – фокусна відстань об'єктиву з двох лінз 3 та 4 з відстанню між ними $(a \pm \Delta)$.

Робоча відстань об'єктиву з двох лінз b_{34} буде дорівнювати: $b_{34} = f_{34} (1 - (a \pm \Delta) / f_3)$. На відстані $(f_4 + \Delta f_4)$ від головної площини лінзи 4 розташовують поверхню заготовки 13, та зміщують лінзу 3 на величину $\pm \Delta$ відносно нормального положення, а для концентрації периферичної частини променя $(D - D_0)$ у кільце діаметром d_k навколо зони опромінення, яке матиме розмір $d_k = d_{\Delta f_4} + (0,3 \dots 0,5)$ мм.

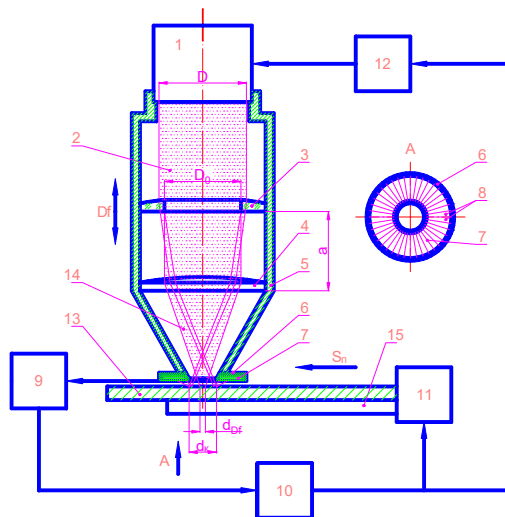


Рис. 1. Схема пристрою для лазерної обробки поверхонь зі стабілізацією рівня поглинання енергії проміння: 1 – випромінювач; 2 – лазерний пучок; 3 – лінза з отвором; 4 – лінза фокусувальна; 5 – корпус; 6 – корпус датчика; 7 – датчик; 8 – сектори датчика; 9 – вимірювач; 10 – процесор; 11 – механізм переміщення; 12 – блок живлення випромінювача; 13 – заготовка; 14 – сконцентрований пучок; 15 – стіл технологічний

ЧПК має програму підключення до вимірювача 9 тих секторів 8 (одного чи двох) датчика 7, які знаходяться зі сторони подачі заготовки. При зміні напрямку переміщення

автоматично обираються інші сектори датчика. Вимірювач 9 аналізує сигнал, отриманий від цих секторів та, у разі змінення його потужності, яку визначає процесор 10 та видає керуючий сигнал або на корекцію швидкості подачі V приводом 11, або на змінення потужності променя P через блок живлення 12.

Таким чином, враховується дійсний рівень поглинання ділянки поверхні заготовки перед її опроміненням, тобто досягається мета контролю потужності, що поглинається поверхнею заготовки та відбувається регулювання або потужності або швидкості переміщення. Причому адаптація до змінення умов поглинання поверхнею заготовки лазерного пучка відбувається з меншими матеріальними та часовими витратами.

В результаті дослідження з'ясовано, що для підтримання цих двох параметрів у визначених технологічним процесом межах, необхідно застосовувати апаратні та програмні засоби. Апаратні засоби мають забезпечувати вимірювання температури поверхні опромінюваної заготовки; змінювати швидкість відносного переміщення заготовки та лазерного пучка, в залежності від температури та конфігурації заготовки на оброблюваній ділянці; контролювати та змінювати відстань між заготовкою та вихідною оптичною системою; змінювати витрати технологічного газу, що подається у зону опромінення тощо. Програмні засоби – мають обробляти отримані з датчиків технологічної системи параметри обробки, перераховувати та корегувати режими обробки у випадку відхилення від заданих величин, видавати дані на корегування режимів обробки. Саме розробка, дослідження та застосування такого додаткового технологічного устаткування в купі з відповідним програмним забезпеченням здатні підвищувати адаптивність лазерних технологічних систем для отримання деталей із заданими експлуатаційними характеристиками.

Список літератури

1. Котлярів В. П. Технологія лазерної обробки. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308 с.
2. Дубнюк В. Л. Лазерна установка для опромінення поверхні заготовки. Котлярів В. П., Дубнюк В. Л., Патент України № 106618 В23К 26/04 по заявці № u 2015 12243 від 10.12.2015, оп. 25.04. 2016, б. № 8.

Increasing the adaptability of laser technological systems

V. Dubniuk, V. Kotliarov

Abstract: Modern laser technological systems operated at machine-building enterprises are usually highly specialized, intended for the implementation of one single operation. On the one hand, this is expedient because it significantly increases the efficiency of using such equipment and limits the number and cost of auxiliary technological equipment. On the other hand, sometimes it is necessary to expand the technological capabilities of the equipment in order to obtain somewhat specific characteristics of the processed workpieces and increase the adaptability of the equipment to the designed technological operations. The purpose of this study was to determine the main needs for technological equipment of laser technological systems for surface treatment, which should provide opportunities to expand the range of processed workpieces by configuration and expand the list of processed materials. Such an increase in the adaptability of the technological system should provide opportunities to increase the flexibility of their application. In order to achieve the set goal, it was determined that in order to obtain accurate physical and mechanical parameters of the processed parts, it is necessary to clearly withstand and control the heating temperature of the surface of the workpiece at different points of its surface and ensure the time of exposure to each individual area. These two characteristics will depend on the physical and thermal characteristics of the material itself and the configuration of the processed workpiece (thickness, width, length, volume, presence of pointed edges, etc.).

Keywords: laser; technological system; adaptability; surface treatment