

ENGINEERING AND TECHNOLOGY**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Афанасьєва О. В.,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри фізичних основ електронної техніки

Харківський національний університет радіоелектроніки

м. Харків, Україна

Лалазарова Н. О.,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри технології металів та матеріалознавства

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

м. Харків, Україна

Анотація. Лазерна обробка матеріалів заснована на можливості лазерного променя створювати на малій ділянці поверхні високі щільності потужності (до $10^8 \dots 10^9$ Вт/см² в безперервному режимі і до $10^{16} \dots 10^{17}$ Вт/см² в імпульсному режимі), які потрібні для інтенсивного нагріву або розплавлення практично будь-якого матеріалу. Квантованість, когерентність, монохроматичність, спрямованість, можливість фокусування в пляму малого діаметра, технологічність роблять лазерний промінь унікальним інструментом обробки матеріалів. В даний час для обробки матеріалів застосовуються газові, твердотільні та волоконні лазери. Найбільш перспективними технологічними інструментами є волоконні лазери, які мають високу ефективність, що зменшує експлуатаційні витрати, невеликі розміри, що дозволяє легко вбудовувати їх в існуючі системи виробництва.

Результат дії імпульсного лазерного випромінювання залежить від його інтенсивності і часу впливу (тривалості імпульсу). В залежності від співвідношення цих параметрів при лазерній обробці мають місце різні технологічні процеси – термообробка, зварювання, різання, скрайбування та ін. Для дослідження можливості використання YAG-лазерів малої потужності (до 10 Вт) для таких технологічних режимів, як різання, зварювання, термообробка було проведено калориметричне вимірювання енергії в імпульсі. Розрахунки свідчать, що щільність потужності випромінювання твердотілого Nd³⁺:YAG-лазера середньою потужністю 5 Вт змінюється в межах $1,0 \cdot 10^5 \dots 1,40 \cdot 10^7$ в залежності від тривалості імпульсу. Аналіз результатів показує, що за допомогою даного лазера можна проводити гартування з оплавленням і без нього, різання і зварювання металів малої товщини, а при зменшенні тривалості імпульсу – і гравірування.

Ключові слова: Безперервний режим, Імпульсний режим, Лазерне випромінювання, Щільність потужності.

Розвиток лазерної техніки і технології є зараз одним з пріоритетних напрямів прискорення науково-технічного прогресу, важливим фактором інтенсифікації різних галузей промисловості. Лазерна обробка матеріалів заснована на можливості лазерного променя створювати на малій ділянці поверхні високі щільності потужності (до $10^8 \dots 10^9$ Вт/см² в безперервному режимі і до $10^{16} \dots 10^{17}$ Вт/см² в імпульсному режимі), які необхідні для інтенсивного нагріву або розплавлення практично будь-якого матеріалу. Лазерне випромінювання є не єдиним висококонцентрованим джерелом енергії, придатним для обробки матеріалів, однак ряд специфічних особливостей, таких як квантованість, когерентність, монохроматичність, спрямованість, можливість фокусування в пляму малого діаметра, а також його технологічність роблять лазерний промінь унікальним інструментом обробки матеріалів. В даний час з

технологічною метою використовуються три типи лазерів: газові, твердотільні і волоконні.

Газові CO₂-лазери потужністю понад 1 кВт, надійні в експлуатації, з автоматизованою системою управління технологічного комплексу, широко застосовуються для різних технологічних операцій, в тому числі для термічної обробки. Однак висока вартість таких комплексів та їх низька продуктивність обмежують їх застосування.

Твердотільні лазери на алюмоітрієвому гранаті (Nd³⁺:YAG-лазери) мають в порівнянні з газовими ряд переваг. Вони більш компактні, мають більш високі значення коефіцієнта корисної дії. Одночасно з цим YAG-лазери є більш дорогими і вимагають великих експлуатаційних витрат. З технологічною метою використовуються YAG-лазери потужністю 1...1,5 кВт, що працюють як в безперервному, так і в імпульсному режимі.

На сьогоднішній день найбільш перспективними технологічними інструментами є волоконні лазери. До числа переваг волоконних лазерів слід віднести високу ефективність (до 50 %), що зменшує експлуатаційні витрати, невеликі розміри дозволяють легко вбудовувати їх в існуючі системи виробництва. Однак їх вартість поки залишається дуже високою, що також не дозволяє говорити про їх широке використання.

При впливі потужного лазерного випромінювання в матеріалах протікають різні фізико-хімічні процеси. Вид цих процесів і характер їх протікання визначаються температурою, часом і швидкістю нагріву та охолодження матеріалу, які, в свою чергу залежать від енергетичних і геометричних характеристик лазерного променя, властивостей оброблюваного матеріалу, геометричної форми і маси виробу, технологічних схем обробки та ін.

Метою роботи є дослідження можливості використання YAG-лазерів малої потужності (до 10 Вт) для таких технологічних режимів, як різання, зварювання, термообробка. Традиційно лазери потужністю менше 0,5 кВт для цих цілей не використовуються (Кебнера, 1988). Незважаючи на переважаючу

думку (Коваленко та ін., 1990; Григорьянц та ін., 2006) про те, що безперервний режим більш придатний для проведення термічної обробки, можна припустити, що використання імпульсного випромінювання дозволить знизити потужність лазерних пристроїв. Мала тривалість імпульсів і можливість фокусування випромінювання в пляму малого діаметра дозволяють створювати щільності потужності, достатню для нагріву оброблюваної поверхні до температур вище фазових перетворень.

При нагріві матеріалу за допомогою лазера можуть реалізовуватися такі процеси: 1) лазерний нагрів поверхневого шару матеріалу до температури, що не перевищує температуру плавлення, витримка при цій температурі і подальше охолодження; 2) нагрів матеріалу до температур, що перевищують температуру плавлення, кристалізація розплаву і охолодження закристалізованого матеріалу; 3) нагрів матеріалу до температур, що перевищують температуру його випаровування, пластична деформація за рахунок ударної хвилі, нагрів поверхневого шару плазмою, яка утворюється при взаємодії лазерного випромінювання з матеріалом.

Результат дії імпульсного лазерного випромінювання залежить від інтенсивності і часу впливу (тривалості імпульсу). Тому ефективність реалізації кожного технологічного процесу можлива лише для обмежених інтервалів q і τ (Коваленко та ін., 1990), що наведені на рис. 1: 1 – обробка без плавлення (термообробка); 2 – мала глибина проплавлення; 3 – плавлення без випаровування; 4 – випаровування; 5 – утворення плазми; 6 – зварювання; 7 – пробивання отворів; 8 – різання; 9 – гравірування матеріалу.

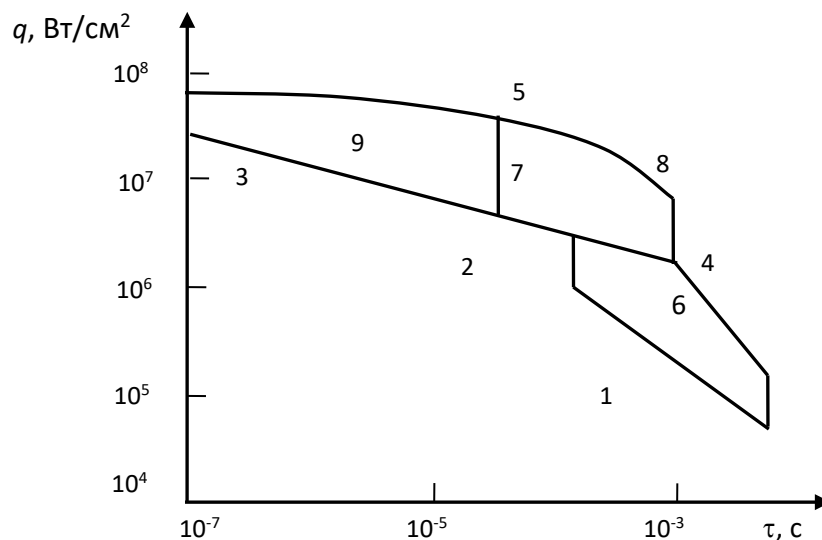


Рис. 1. Галузі застосування різних технологічних процесів (Кебнера, 1988)

При $q \leq 10^4 \dots 10^5$ Вт/см² відбувається нагрів матеріалу без зміни агрегатного стану речовини. Це – галузь термообробки (гартування швидкорізальних сталей, відпал напівпровідникових матеріалів), а також поділ крихких матеріалів за рахунок руйнуючих (розколюють) напружень.

Підвищення q до $10^5 \dots 10^6$ Вт/см² призводить до плавлення без викидів матеріалу. Це – галузь точкового и шовного зварювання, а також лазерного легування.

Величина $q \sim 10^6 \dots 10^7$ Вт/см² дозволяє проводити нагрів з видаленням речовини із зони теплового впливу. Завдяки цьому можна пробивати отвори, свердлити, фрезерувати, різати практично всі матеріали, скрайбувати крихкі матеріали, випаровувати, проводити відбір мікропроб для аналітичних цілей.

При $q > 10^7 \dots 10^8$ Вт/см² виникає лазерна плазма, що поглинає випромінювання і тим самим ускладнює проведення технологічних операцій.

Для оцінки можливості застосування лазерів малої потужності для різних видів обробки було проведено калориметричне вимірювання енергії в імпульсі. Розрахунок свідчить, що щільності потужності випромінювання твердотільного Nd³⁺:YAG-лазера середньою потужністю 5 Вт змінюються в межах $1,0 \cdot 10^5 \dots 1,40 \cdot 10^7$ в залежності від тривалості імпульсу. Аналіз результатів

показує, що за допомогою даного лазера можна проводити гартування з оплавленням і без нього, різання і зварювання металів малої товщини, а при зменшенні тривалості імпульсу – і гравірування.

Лазерне гартування засноване на локальному нагріві ділянки поверхні під впливом випромінювання та охолодження цієї ділянки з надкритичною швидкістю після припинення впливу за рахунок тепловідведення у внутрішні шари металу. При цьому не потрібно застосовувати будь-які охолоджуючі середовища, що спрощує технологію термозміцнення. Лазерне гартування характеризується малим часом впливу і забезпечує відсутність деформації деталей. Тепловий вплив при лазерному термозміцненні регулюється в широких межах за рахунок зміни параметрів лазерного випромінювання і режимів обробки. Це забезпечує регулювання швидкостей нагріву і охолодження металу, часу перебування металу при високих температурах, що дозволяє отримувати необхідну структуру поверхневого шару і відповідні властивості. Технологічні можливості лазерного термозміцнення дозволяють використовувати цей процес в якості заключної операції без подальшої механічної обробки (Коваленко та ін., 1990; Григорьянц та ін., 2006).

Раніше було показано (Афанасьєва та ін., 2009; Мачехин та ін., 2009) що застосування імпульсних режимів дозволяє проводити термічну обробку за допомогою YAG-лазера з середньою потужністю всього 5...10 Вт, при цьому на всіх режимах спостерігалось оплавлення і спінення металу в зоні нагріву. Якщо розглянути схему поперечного перерізу зміцненої лазерним випромінюванням доріжки, то в ньому можна виділити кілька основних зон (рис. 2): зону оплавлення (зону гартування з рідкого стану) з максимальною мікротвердістю, зону гартування, зону відпустку, де мікротвердість мінімальна, і вихідну структуру матеріалу.

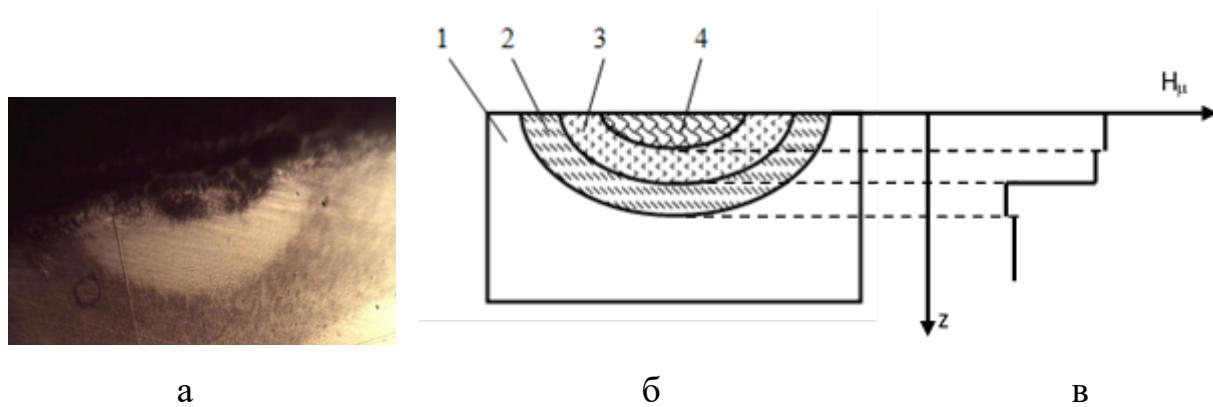


Рис. 2. Будова (а) та схема поперечного перерізу зони лазерної обробки (б) і розподілу мікротвердості за глибини цієї зони (в): 1 – вихідний метал, 2 – зона відпуску, 3 – зона гартування, 4 – зона гартування з рідкого стану

У ряді окремих випадків деякі з цих зон можуть бути відсутні (наприклад, може бути відсутня зона оплавлення при гартуванні без оплавлення поверхні або зона відпуску при гартуванні попередньо відпаленого металу). Кожна зона в свою чергу може складатися з декількох шарів і мати за своїм перерізом відмінності в мікроструктурі, елементному складі, співвідношенні складових її фаз і тощо.

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок про можливість поверхневого зміцнення сталей малопотужними лазерами при використанні імпульсного режиму. Однак продуктивність такого процесу низька, що не дозволяє зміцнювати поверхні деталей великої площини. В цьому випадку перспективним є проведення подальших досліджень на інструментальних сталях, тому що не для всіх інструментів потрібна значна площа зміцнення, а також на невеликих деталях, наприклад, на голці форсунки двигуна.

Лазерне зварювання в імпульсному режимі може використовуватися в авіабудуванні і автомобільній промисловості для з'єднання тонких деталей із сталей, алюмінієвих і титанових сплавів. У більшості випадків лазерне

зварювання малої товщини успішно заміняє контактне зварювання опором, забезпечуючи більш якісне з'єднання.

Лазерне різання відрізняється відсутністю механічного впливу на оброблюваний матеріал, виникають мінімальні деформації, як тимчасові в процесі різання, так і залишкові після повного охолодження. Внаслідок цього лазерне різання, навіть таких, що легко деформуються, і нежорстких заготовок і деталей, можна здійснювати з високим ступенем точності. Завдяки великій потужності лазерного випромінювання забезпечується висока продуктивність процесу в поєднанні з високою якістю поверхонь різку. Легке і порівняно просте управління лазерним випромінюванням дозволяє здійснювати лазерне різання за складним контуром плоских та об'ємних деталей і заготовок з високим ступенем автоматизації процесу. При проведенні процесу лазерного різання слід передбачити подачу допоміжного газу в зону лазерного впливу.

Проведення різання в імпульсному режимі не забезпечує високої якості різку. Більш доцільно використовувати цей режим для пробивання отворів. У цьому випадку також необхідні дослідження з підбору тривалості імпульсу.

Лазерне гравірування отримало широке застосування у всіх галузях виробництва. У мікроелектроніці воно використовується для маркування заготовок, виробів і оснащення на всіх стадіях розробки і виробництва, наприклад, для кремнієвих пластин. Значну роль для даного типу обробки грають параметри оброблюваного матеріалу, в першу чергу теплопровідність і поглинальна здатність. Поглинальна здатність залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання, яка також визначає потужність падаючого випромінювання. Також значний вплив на процес гравірування має потужність випромінювання.

В результаті проведених досліджень було показано:

1. Не дивлячись на малу потужність використовуваного лазера, імпульсний режим все ж забезпечує проведення різних видів обробки металевих матеріалів.

2. Існує оптимальна тривалість імпульсу, що забезпечує найбільш ефективний вплив лазерного випромінювання.

Література:

[1] Кебнера, Г. (Ред.). (1988). *Промышленное применение лазеров. Машиностроение.*

[2] Коваленко, В. С., Головки, Л. Ф., & Черненко, В. С. (1990). *Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазер.* Техника.

Григорьянц, А.Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. А. Г. Григорьянца. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.

[3] Григорьянц, А. Г., Шиганов, И. Н., & Мисюров А. И. (2006). *Технологические процессы лазерной обработки.* МГТУ им. Н.Э. Баумана.

[4] Афанасьева, О. В., Мачехин, Ю. П., Лалазарова Н. А., & Свергун, Т. Ю. (2009). Особенности применения импульсных лазеров малой мощности для термического упрочнения железоуглеродистых сплавов. *Сборник научных трудов II-й международной конференции Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития.* (С. 125-127). Харьков: АН ПРЭ. ХНУРЭ.

[5] Мачехин Ю. П. и др. (2009). Применение импульсных лазеров малой мощности для поверхностной закалки сталей. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сборник научных трудов,* 3 (59), 979-101.