

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ

**Афанасьєва О.В., к.т.н., доцент, ХНУРЕ,
Лалазарова Н.О., к.т.н., доцент, ХНАДУ**

***Анотація.** У роботі розглянуто технології гібридного лазерного різання. Показано можливість газолазерного різання матеріалів твердотільним Nd:YAG- лазером, що працює в імпульсно-періодичному режимі. Визначено вплив параметрів лазерного випромінювання на якість лазерного різання. Використання двох джерел енергії в технологічному процесі дозволяє підвищити якість обробки.*

***Ключові слова:** лазерне різання, гібридні технології, мікрообробка, режими лазерного різання, гібридні технології лазерної обробки.*

MODERN TECHNOLOGIES OF LASER CUTTING OF MATERIALS

**Afanasieva O., PhD, Associate Professor, KhNURE,
Lalazarova N., PhD, Associate Professor, KhNAHU**

***Abstract.** The paper considers hybrid laser cutting technologies. The possibility of gas-laser cutting of materials by a solid-state Nd:YAG laser operating in a repetitively pulsed mode is shown. The effect of laser radiation parameters on the quality of laser cutting is determined. The use of two energy sources in the technological process improves the quality of processing.*

***Key words:** laser cutting, gas laser cutting, micromachining, laser cutting modes, hybrid laser processing technologies.*

Вступ

Різання є однією із найчастіше застосовуваних технологічних операцій із використанням лазерів – на його частку припадає близько 30...35 % всіх промислових застосувань лазерів. Лазерне різання є практично у всіх галузях промисловості: від авіакосмічного, судно- та автомобілебудування до високоточного приладобудування та медицини.

Воно однаково успішно використовується як для різання габаритних виробів (деталей кузовів, будівельних конструкцій, вузлів літальних апаратів тощо), так і для виготовлення мініатюрних виробів з високою точністю (фільтри, прокладки, медичні імплантати тощо) [1, 2].

Порівняно з традиційними методами лазерне різання як металевих, так і неметалевих матеріалів має ряд істотних переваг. В першу чергу це велике різноманіття оброблюваних виробів; можливість отримання тонких розрізів завдяки гострому фокусуванню лазерного променя (рис.1); мала зона термічного впливу випромінювання; мінімальний механічний вплив на матеріал; хімічна чистота процесу різання; висока продуктивність методу [3, 4].

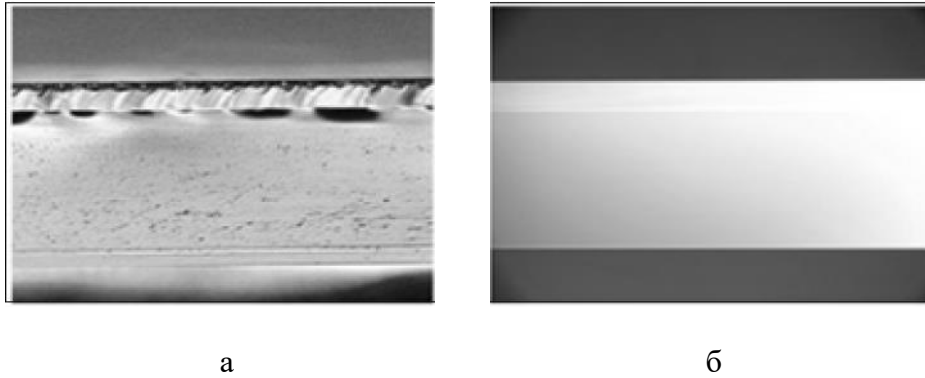


Рисунок 1 - Якість лазерного різання: а – бічна кромка скляної пластини (розріз зроблений алмазним інструментом), б – та сама пластинка, розрізана променем лазера

Легке та порівняно просте управління лазерним випромінюванням дозволяє здійснювати лазерне різання по складному контуру плоских та об'ємних деталей та заготовок з високим ступенем автоматизації процесу.

Максимальна швидкість різання (швидкість виробництва) обмежена низкою факторів, включаючи потужність лазера, товщину матеріалу, тип процесу (реактивний чи інертний) та властивості матеріалу.

Для лазерного різання багато років традиційно використовували безперервний CO₂-лазер, який знаходить застосування при різанні металів, скла та кераміки, органічних та синтетичних матеріалів, полімерів, шкіри, тканини, деревини, паперу, картону та інших матеріалів на основі целюлози. Останнім часом все більше лазерного різання потребує електронна промисловість. Для мікрообробки матеріалів широко застосовують імпульсно-періодичні Nd:YAG- та Nd:YVO₄-лазери, які використовуються в основному для різання тонких металевих листів, а також напівпровідників та металевих плівок.

Вирішення таких різних завдань можливе при впровадженні лазерних гібридних технологій. Гібридними технологіями в загальному випадку називаються технології одночасного впливу різних методів на матеріал: обробка лазерним променем одночасно з використанням іншого джерела енергії. Переваги гібридних технологій треба розглядати стосовно, як до одного джерела, так і до іншого. Зазвичай гібридні технології стосуються лазерного зварювання [5, 6, 7], але деякі гібридні технології лазерного різання будуть розглянуті у даній роботі.

Аналіз публікацій

Різання, як і інші види лазерної обробки, засноване на тепловій дії випромінювання на оброблюваний матеріал і відбувається за допомогою джерела тепла, яке може рухатися у двох взаємно-перпендикулярних напрямках за допомогою спеціальної оптичної системи, що дозволяє формувати світловий пучок з великою щільністю потужності випромінювання і направляти його в необхідну зону на поверхні оброблюваного виробу [8, 9].

Вплив лазерного випромінювання на метал при розрізанні характеризується загальними положеннями, пов'язаними з поглинанням та відбиттям випромінювання, поширенням поглинутої енергії в об'ємі матеріалу за рахунок теплопровідності та ін., а також рядом специфічних особливостей.

У зоні впливу лазерного променя метал нагрівається до першої температури руйнування – плавлення. З подальшим поглинанням випромінювання відбувається розплавлення металу і фазова границя плавлення переміщується вглиб матеріалу. У той же час енергетична дія лазерного променя призводить до подальшого збільшення температури, що досягає другої температури руйнування – кипіння, при якій метал починає активно випаровуватися. Таким чином, можливі два механізми лазерного різання – плавлення та випаровування. Однак останній механізм вимагає високих енерговитрат і здійснюється лише для досить тонкого металу. Тому на практиці різання виконують плавленням.

До найбільш перспективних процесів поділу матеріалів слід віднести газолазерне різання металів (ГЛР), засноване на фізичних процесах нагріву, плавлення, випаровування та хімічних реакціях горіння – видалення розплаву із зони різу (рис. 2).

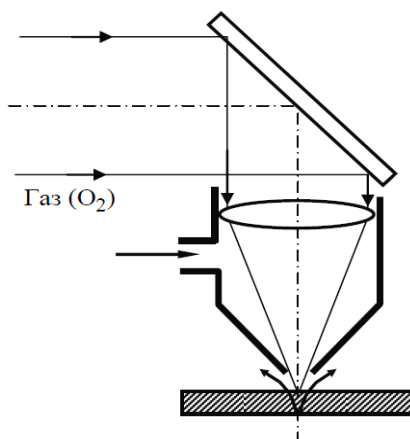


Рисунок 2 – Оптична схема різачка для газолазерного різання

При газолазерному різанні в зону обробки спільно з лазерним променем подається струмінь газу, що сприяє видаленню продуктів руйнування та ініціює хімічну реакцію в місці випромінювання на матеріал. Для цього використовуються кисень, стиснене повітря, інертний чи нейтральний газ.

При газолазерному різанні в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу і роду газу, що піддувається, розрізняють два механізми: хімічний і фізичний.

Хімічний механізм характеризується суттєвим внеском енергії реакції горіння в загальний тепловий баланс і спостерігається в основному при лазерному різанні в струмені кисню, металів, що утворюють рідкі оксиди.

При реалізації хімічного механізму різання можливі два режими:

1) керованого різання, коли тепло реакції горіння тільки доповнює ефект впливу лазерного випромінювання;

2) некерованого (автогенного) різання, коли метал горить за рахунок тепла реакції горіння по всьому діаметру струменя, а лазерна енергія служить лише для ініціювання цієї реакції.

Такий механізм різання зазвичай використовується для матеріалів, схильних до займання і горіння нижче точки плавлення і таких, що утворюють рідкотекучі оксиди. Прикладами можуть бути низьковуглецева сталь і титан.

Фізичний механізм полягає в плавленні металу лазерним випромінюванням та видаленні розплаву із зони різання струменем газу. Такий механізм спостерігається зазвичай при обробці металів з малим тепловим ефектом реакції горіння або металів, що утворюють при горінні тугоплавкі оксиди (леговані та високовуглецеві сталі, алюміній, мідь та ін.), а також при використанні піддування інертними газами.

Одна з цікавих новацій останніх років у лазерному гібридному різанні – використання впливу лазера у поєднанні з подачею в зону різання водяного струменя під високим тиском. Ця технологія була розроблена швейцарською компанією Synova SA [10]. Вона називається LaserMicroJet і полягає у такому. Перш ніж потрапити на оброблювану поверхню, лазерний пучок спочатку проходить спеціальну камеру з водою (він потрапляє туди через скляне вікно) і виходить із неї крізь сопло, встановлене в нижній частині камери (рис. 3).

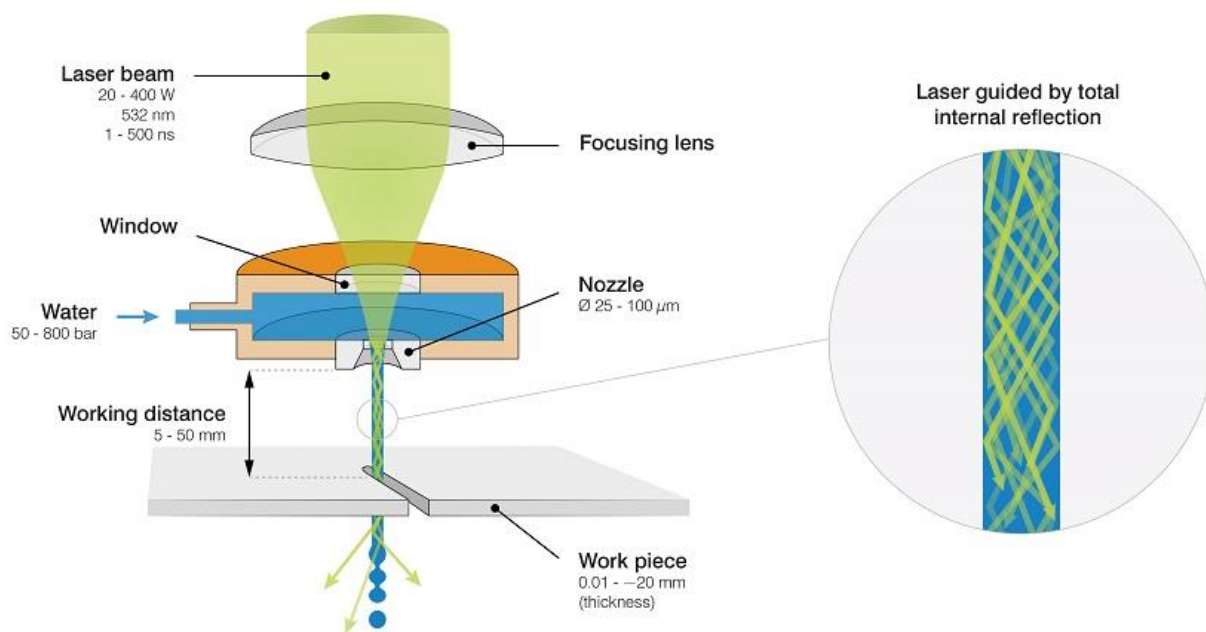


Рисунок 3 – Фізичні принципи технології LaserMicroJet

Сопло виготовляється із сапфіру або алмазу, залежно від конкретного технологічного завдання використовуються сопла діаметром від 25 до 150 мкм. В результаті ефекту повного внутрішнього відбиття від стінок «водяного циліндра» випромінювання лазера, що виходить з камери з водою, набуває

вигляду вузького паралельного пучка і залишається всередині водяного струменя до тих пір, поки не досягне поверхні матеріалу. Коли лазерний промінь потрапляє в зону обробки, починається випаровування матеріалу. При цьому водяний струмінь, що ударяє в це ж місце, видаляє з області різку продукти розплаву і охолоджує її в проміжках між лазерними імпульсами.

Як лазерне джерело в установках фірми Synova SA використовується Nd:YAG-лазер (працюючий або на основній довжині хвилі 1,06 мкм, або другій чи третій гармоніці випромінювання) або волоконний лазер з довжиною хвилі 1,07 мкм. Середня потужність лазера становить від 50 до 200 Вт, тривалість імпульсу може бути в межах від нано- до мікросекунд, а частота повторення – від 500 Гц до 50 кГц (залежно від тривалості імпульсу).

Дана технологія широко застосовується в електронній промисловості для різання та скрайбування підкладок з кремнію, арсеніду галію та германію, а також карбідів кремнію та сапфіру. Характерний приклад таких застосувань – різання пластин SiC товщиною 380 мкм, де технологія LaserMicroJet забезпечує ширину різку 45 мкм [9, 10, 11]. Для різання тонколистового металу, наприклад, автомобільного листа, більш доцільно використовувати газолазерне різання. Саме тому актуальним є виконання технологічних досліджень щодо визначення впливу технологічних параметрів на якість газолазерного різання.

Постановка задачі

Метою досліджень, наведених у роботі, є дослідження впливу технологічних параметрів на продуктивність та якість газолазерного різання. Обробку проводили в імпульсно-періодичному режимі за допомогою Nd:YAG-лазера при середній потужності 20 Вт. Як допоміжний газ використовувався технічний кисень.

Результати досліджень та їх обговорення

Основними технологічними параметрами процесу лазерного різання є: потужність випромінювання; швидкість різання; тиск допоміжного газу; діаметр сфокусованої плями та ін. Ці параметри впливають на швидкість та якість різання, ширину розрізу, зону термічного впливу та інші характеристики. При імпульсному режимі до даних параметрів додаються: частота повторення імпульсів; тривалість імпульсів; середня потужність випромінювання. Використання імпульсного або імпульсно-періодичного режимів дозволяє застосовувати для обробки, в тому числі і для різання, лазери малої потужності [12].

Якість різання визначається шорсткістю поверхні різа. Вона відрізняється для різних зон за товщиною металу. Найкраща якість притаманна верхнім шарам розрізаного металу, найгірша – для нижніх. Шорсткість поверхні залежить від швидкості різання і тиску газу, що подається (рис. 4). Найбільше на шорсткість впливає швидкість обробки. Шорсткість поверхні різку (R_z) накладає певні обмеження на продуктивність лазерного різання: для зменшення величини R_z слід зменшувати швидкість обробки. Для зменшення R_z із

підвищенням швидкості лазерного різання необхідно підвищувати частоту проходження імпульсів.

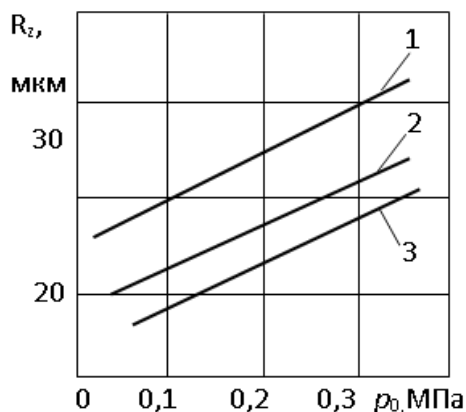


Рисунок 4 - Залежність шорсткості поверхні різання вуглецевої сталі від надлишкового тиску кисню при різних швидкостях газолазерного різання: 1 – швидкість різання 3 м/хв, 2 – 2 м/хв., 3 – 1 м/хв

При ГЛР піддув газового струменя виконує такі функції: 1) підтримує горіння металу із виділенням додаткового тепла; 2) видаляє продукти руйнування, очищає зону різання (і бічні стінки різання) шляхом видування газоподібних продуктів та крапельної фракції; 3) інтенсивно охолоджує прилеглі до зони різання ділянки матеріалу. Таким чином, наявність струменя кисню при різанні металів дозволяє суттєво збільшити глибину, швидкість різання та підвищити якість країв різання. Однак при використанні газу слід уникати сильного окиснення країв. Іноді з метою поліпшення ефективності охолодження разом з потоком газу розпорошується вода. В інших випадках оброблювана поверхня безпосередньо охолоджується водою.

При газолазерному різанні металів у струмені кисню останній сприяє зростанню окисної плівки на поверхні металу і в результаті зниженню його відбивної здатності [13]. Тепло, що виділяється в результаті екзотермічної реакції горіння металу в кисні, йде спільно з лазерним випромінюванням на руйнування металу в зоні обробки. Струмінь забирає продукти руйнування, забезпечуючи приплив кисню безпосередньо до фронту горіння, а також перешкоджає надмірному нагріванню матеріалу деталі. Для не займистих матеріалів газовий струмінь виконує в основному функції з очищення зони різання, а також виконує функцію захисту поверхні оптичної системи від потрапляння на неї продуктів викиду із зони різання. Таким чином, поєднання двох джерел тепла в процесі газолазерного різання сприяє підвищенню продуктивності та якості обробки.

Висновки

1. Встановлено вплив надлишкового тиску кисню та швидкості обробки на шорсткість поверхні стінок різання. Показано, що для одержання якісної

поверхні слід зменшувати швидкість обробки. Для зменшення Rz із підвищенням швидкості лазерного різання необхідно підвищувати частоту проходження імпульсів.

2. Показано, що при газолазерному різанні металів у струмені кисню останній сприяє зростанню окисної плівки на поверхні металу і в результаті зниженню його відбивної здатності.

Література

1. Нормирование расхода материалов при термической резке. Справочное пособие. Киев «Екотехнологія», 2008. -12с.

2. Коваленко В.С. Прогрессивные методы лазерной обработки материалов.- К.: Выща школа, 1985. – 88 с.

3.Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Зуев И. В., Кокора А. Н. - М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.

4. Кайдалов А.А. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов.- К. : «Екотехнологія», 2007. -456 с.

5. Патон Б.Е. и др. Гибридная лазерно-микроплазменная сварка металлов малых толщин. Автоматическая сварка №3, 2002 г. с 5-9.

6. Гибридная лазерно-микроплазменная сварка металлов малых толщин / Б. Е. Патон, В. С. Гвоздецкий, И. В. Кривцун и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 3. — С. 5–9.

7. Гибридная лазерно-плазменная сварка нержавеющей сталей /И. В. Кривцун, А.И.Бушма, В. Ю. Хаскин // Автомат. сварка. — 2013. — № 3. — С. 48–52.

<https://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as/2013/03/09>

8. Взаимодействие лазерного излучения с веществом, силовая оптика / В. П. Вейко, М. Н. Либенсон, Г. Г. Червяков, Е. Б. Яковлев. М. : Физматлит, 2008. 312 с.

9. Панченко В. Я., Голубев В. С., Васильцов В. В. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. М.: Физматлит, 2009. 663 с.

10. Офіційний сайт компанії Synova SA <https://www.synova.ch/technology/laser-microjet.html>

11. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.

12. Афанасьева О. В., Лалазарова Н. А., Федоренко Е. П. Использование лазеров малой мощности в промышленных технологиях. Радиотехника. 2013. Вып. 175. С.63–68. http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/1693/1/Radiotekhnika_175_2013_134.pdf

13. Попіль, Ю. С. Газолазерне різання тонколистових металів з використанням воднево-кисневого полум'я / Ю. С. Попіль, В. М. Корж, П. В. Кондрашев // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2011. – № 61, т. 2. – С. 109–112.