

## ГАЗОЛАЗЕРНЕ РІЗАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДНЕВО-КИСНЕВОГО ПОЛУМ'Я

---

*В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности газолазерной резки тонколистовых металлов с использованием водородно-кислородного пламени, получаемого при сжигании смеси, которая производится электролизно-водными генераторами. Представлены результаты исследования технологических режимов комбинированного процесса резки и влияние их на качественные показатели поверхности реза.*

*The paper deals with issues of improving the efficiency of gas-laser cutting of sheet metal by using hydrogen-oxygen flame obtained by burning a mixture which is made of water-electrolysis generators. The results of studies of technological modes of the combined process of cutting and their influence on the qualitative indicators of the cut surface.*

---

В теперішній час виготовлення деталей за допомогою процесу різання становить по трудомісткості близько 35% серед процесів газотермічної обробки матеріалів. Спосіб різання вибирають в залежності від фізико-хімічних властивостей матеріалу, технологічних вимог і економічної доцільності [1].

Для різання металів товщиною 0,2-10 мм з високими вимогами до якості поверхні виробу широко застосовується лазерне різання [2]. При збільшенні товщини металу, потрібно збільшення потужності джерела нагрівання для підвищення ефективності процесу, що пов'язано з високою вартістю погонного метра різі. Застосування комбінованих методів різання (гібридних), а саме газолазерного різання, дозволяє збільшити технологічні можливості процесу.

В якості газів для видалення металів використовують аргон, азот, а для підтриманням екзотермічних реакцій горіння металів, повітря та кисень.

Недоліком цього способу є те, що геометричний розмір газового струменя (кут розкриття газового потоку) і сфокусованої плями лазерного випромінювання, впливають на збільшення ширини різі та на якість поверхні різі розрізаного металу. Лазерне різання вуглецевих сталей проводиться звичайно з використанням кисню. При взаємодії кисню з металом розігрітим лазерним променем відбувається екзотермічна реакція окислення і тепло, що виділяється в процесі окислення заліза в 3-5 разів більше, ніж підведеної потужності лазерного випромінювання [3]. Продукти горіння - оксиди вивдаються з порожнини різі цим же струменем кисню. Ширина різі визначається діаметром сфокусованого променя і в залежності від швидкості різання може бути знижена до 0,15 мкм.

В основу лазерної обробки матеріалів покладено здатність лазерного випромінювання створювати на малій ділянці поверхні високу щільність теплового потоку, достатню для нагріву, плавлення або випаровування практично будь-якого матеріалу. Це пов'язано з ефектом поглинання випромінювання непрозорими твердими тілами.

Основна доля теплоти при лазерному нагріві переноситься вглиб металу за допомогою електронної провідності [4]. Тому, теплові процеси при лазерному нагріві мають ту ж фізичну природу, що і традиційні способи термічної дії на метал. Це дає можливість користуватися класичною теорією теплопровідності.

При лазерній обробці металів значне місце займає проблема, пов'язана з відбиванням лазерного випромінювання. Зменшити коефіцієнт відбивання можливо зі збільшенням потужності лазерного випромінювання, або при застосуванні попереднього затемнення поверхні металу [5, 6.]. Для збільшення поглинання, поверхню зразка покривають спеціальними речовинами, добре поглинаючими лазерне - випромінювання, наприклад фосфатом цинку, для якого при  $T = 1000^{\circ}C$  ефективний коефіцієнт поглинання  $\alpha_{\text{эф}} = 0,7$ . Відомий спосіб лазерного зварювання металів з високою відбиваючою здатністю і теплопровідністю, в якому на поверхню металу з сторони лазерного променя наносять попередній шар присаджувального матеріалу з меншою відбиваючою здатністю. Недолік полягає в нерегламентованих розмірах шару присаджувального матеріалу, в наслідок чого, при різних режимах процесу його ефективність не значна і може мати місце зниження коефіцієнта корисної дії (ККД). Крім того, нанесення шару присаджувального матеріалу є трудомісною операцією, що приводить до зниження технологічності процесу

Нагріта поверхня, яка окислюється сприяє поглинанню металом променевої енергії і підвищує ефективність нагріву (чисті метали поглинають тільки 2...6% теплової енергії променя, а окисли металів – практично 100%), що сприяє кращому поглинанню енергії лазерного променя [7].

В даній роботі вирішується задача вдосконалення способу різання тонколистових металів, а саме різання металів з високою відбиваючою здатністю поверхні не залежно від хімічного складу, за рахунок того, що до дії лазерного променя додається дія воднево-кисневого полум'я (ВКП), яке нагріває метал і викликає окислення поверхні [8].

Використання ВКП отриманого при спаленні суміші, яка виробляється електролізно-водними генераторами, дозволяє отримувати розміри факелу подібні до діаметру лазерної плями, окислити поверхню і відповідно підвищити коефіцієнт поглинання поверхні лазерного променя .

До переваг цього полум'я можна віднести :

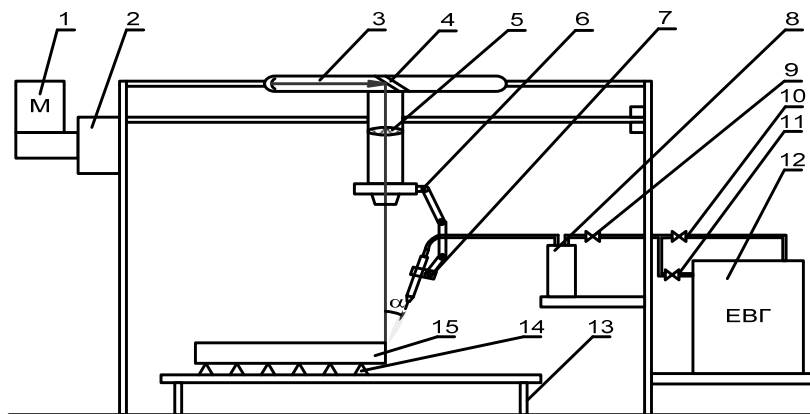
1. Отримання мікро-факелу з стабільним стійким горінням.
2. При різанні сталей за відсутністю вуглецю в продуктах горіння, знижується вірогідність гартування крайок різі.
3. Відсутність балонного господарства та транспортних витрат .

**Метою роботи** було дослідження впливу воднево-кисневого полум'я в комплексному поєднанні з лазерним променем на процес різання тонколистового металу.

#### Методика досліджень

В якості обладнання використовувався: експериментальний стенд Г-Ои-16 -1, який оснащений лазерним випромінювачем на алюмо-ітрієвому гранаті (довжина хвилі випромінювання 1,06мкм), що працює в режимі модульованої добротності (частота слідкування імпульсів 1-50кГц) та середньою потужністю 27 Вт. Лазерне випромінювання фокусувалось в пляму діаметром 50 мкм. Для отримання пальної суміші електролізно-водний генератор з продуктивністю по виробленню пальної суміші 0,1...0,4 м<sup>3</sup>/год.

Для досліджень була зібрана дослідна установка (рис.1), з механізованим переміщенням лазерної головки та пальника.



**Рис. 1.** Схема дослідної газолазерної установки з використанням ЕВГ для дослідження технологічних параметрів різання 1-двигун переміщення; 2- редуктор; 3- лазерне випромінювання; 4-дзеркало; 5-фокусуюча лінза; 6-механізм координування пальника; 7-пальник; 8-водяний затвор; 9-вентиль регулювання складу пальної суміші; 10-вентиль подачі чистої воднево-кисневої суміші; 11-вентиль подачі вуглеводневих сполук; 12-електролізно-водний генератор,13-стіл, 14-підтримуючі конуси, 15- виріб, що різеться

Для дослідження процесу різання, було вибрано анізотропну тонколистову сталь х/к 3411, (трансформаторну сталь) товщиною 0,20-0,50 мм, яка має складності при обробці механічними способами.

Витрати газової суміші визначались методом витіснення рідини. Ефективна теплова потужність газового полум'я досліджувалась калориметрично і розраховувалась [9].

В якості сопла пальника використовувались медичні голки діаметром 0,5мм.

Для запобігання деформацій, при різанні трансформаторної сталі зразки металу механічно закріплювались. Різання проводились на трьох визначених швидкостях.

При постійній потужності лазера, змінними параметрами були; витрати пальної суміші, довжина факелу, відстань від газового полум'я до лазерного променя, товщина металу. Досліджувався вплив, при переміщенні газового полум'я на фіксованій відстані перед лазерним променем (рис.1.а), та накладанням полум'я на лазерний промінь(рис.1.б).

Враховуючи, що ВКП має окислювальний характер горіння, це приводить до окислення поверхні металу. Відповідно ВКП, ще є додатковим джерелом енергії, що дозволяє підвищити теплову потужність комбінованого нагрівання полум'я і лазерного променю. Комбінація двох джерел енергії ефективна для різання тонколистових кольорових металів з високою теплопровідністю для тонколистових сталей.

Враховуючи, що суміш виробляється у відношенні O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>=0,5, повна теплова потужність для 1м<sup>3</sup> ВКС складає:

$$q = 0,67 \cdot 10,08 = 6,75 \text{ МДж/м}^3;$$

де; 0,67 м<sup>3</sup> – об'єм водню в 1м<sup>3</sup> ВКС, 10,08 МДж – теплотдатність 1м<sup>3</sup> водню.

Як показали дослідження при витратах 0,05-0,1 м<sup>3</sup>/год. ефективна теплова потужність такого полум'я, яка вкладається в поверхню металу становить 6-12,5 Вт /с.

Ефективність нагрівання металу лазерним променем і газовим полум'ям можна оцінити на підставі аналізу даних науково-технічної літератури [10] наведених в табл.1.

Таблиця 1

#### Основні техніко-економічні характеристики поверхневих джерел нагрівання

Джерело нагрівання	Потужність, Вт		Щільність потужності, Вт / см <sup>2</sup>		Ефективний ККД нагрівання
	min	max	min	max	
Газове полум'я	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	2 · 10 <sup>2</sup>	6 · 10 <sup>2</sup>	0,55
Лазер	10	2,5 · 10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>10</sup>	0,05

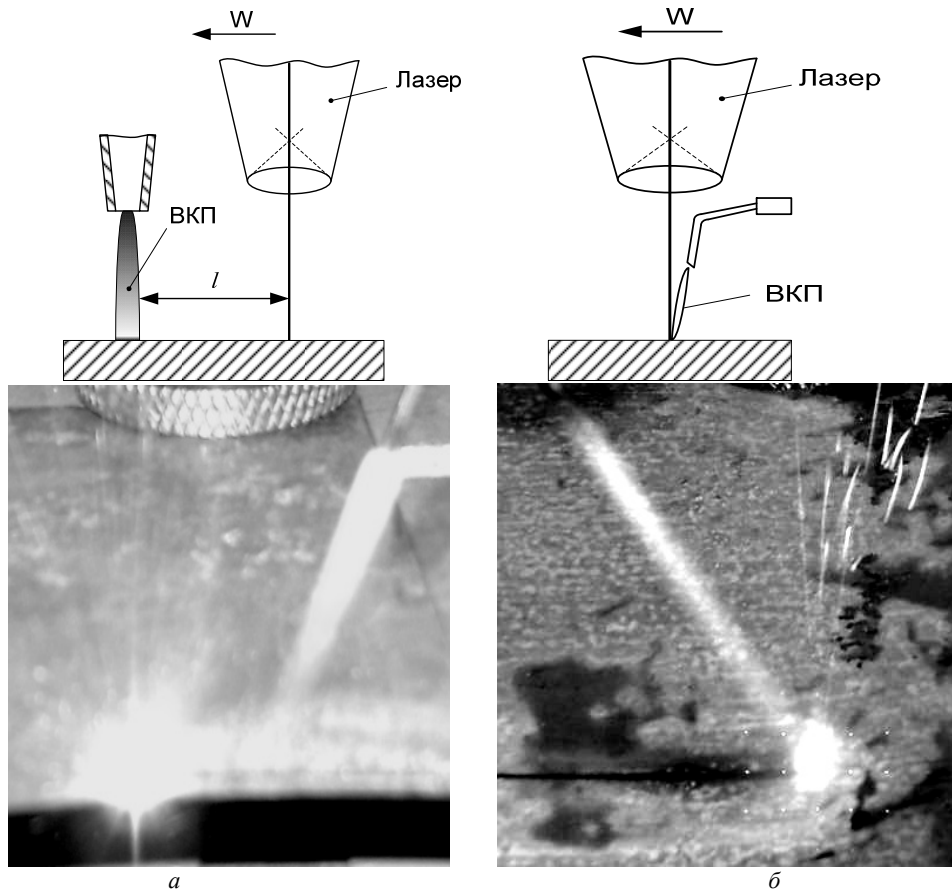


Рис. 2. Схеми газолазерного різання з застосуванням ВКП для тонколистового металу: а) з попереднім підгрівом полум'я перед лазерним променем; б) з накладанням факела полум'я на лазерний промінь

Потужність лазерного випромінювання при різанні можна описати в загальному вигляді виразом :

$$P \cdot \eta = h \cdot v \cdot b \cdot (c \cdot \rho \cdot T_{пл} + H_{пл}), \quad (1)$$

де  $P$  - сумарна потужність лазерного випромінювання;  $h$  і  $b$  - ширина і глибина різання;  $v$  - швидкість різання;  $\eta = f(\alpha)$  - термічний к.к.д., що показує відношення енергії, витраченої на проплавлення зразка, до повної енергії, яка була поглинута розплавом.  $\alpha$  - коефіцієнт поглинання;  $H_{пл}$  - прихована теплота плавлення,  $T_{пл}$  - температура плавлення,  $c$  - питома теплоємність,  $\rho$  - густина металу;

Прості вирази створені на основі аналітичних залежностей не погано узгоджуються з досвідом, які не враховують зміну від температури. При розрахунках використовують середні значення вище наведених складових.

Для газолазерного різання з врахуванням полум'я, як додаткового джерела енергії і екзотермічної реакції окислення металу, сумарну повну теплову потужність, що вноситься в метал, який різеться можна визначити відповідним співвідношенням:

$$P = P_{л} + P_{г.п.} + Q_{е.р.}, \quad (2)$$

$P$  - сумарна потужність комбінованого газолазерного способу різання;

$P_{л}$  - потужність лазерного випромінювання;

$P_{г.п.}$  - ефективна теплова потужність газового полум'я;

$Q_{е.р.}$  - тепло, яке виділяється при екзотермічній реакції;

Інтенсивність поглинання енергії визначається значенням коефіцієнта поглинання, який залежить від роду матеріалу і довжини хвилі випромінювання, що падає. Поглинальна здатність не окисленої металевої поверхні лазерного випромінювання визначається рівнянням:

$$\alpha = 112,2 (\sigma_0^{-1})^{-1/2}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт поглинання;  $\sigma_0$  - питома електрична провідність металу по постійному струму, Ом/м. [11]

Цей вираз застосовується для коефіцієнтів поглинання чистих, полірованих поверхонь. Для матеріалу з неочищеною, неполірованою поверхнею (матеріалу поставки) коефіцієнт поглинання залежить від стану поверхні і може значно перевищувати коефіцієнт для чистих металів.

#### Результати досліджень

Проведені дослідження показали, що максимальна товщина зразка, яку можна було розрізати лазерним променем потужністю 27 Вт, обмежується товщиною до 0,35 мм, в той же час, як різання комбінованим способом за рахунок додаткової теплової потужності можна різати до 0,5мм.

Технологічні параметри різання

Умови досліджу	Товщина сталі мм	Швидкість різання мм/с	Потужність лазера. Вт	Витрати ВКС дм <sup>3</sup> /год	Довжина факелу мм	Ширина різу мм	Тиск газової суміш, МПа
(з попереднім підігрівом зразка ) Відстань між полум'ям та променем 70мм	0,33	8 2 1	27	50 50 75	30 30 50	0,27 0,45 0,50	0,015
(з накладанням лазерний промінь +полум'я )	0,33	8 2 1	27	50 50 75	30 30 50	0,80 1,15 1,20	0,015
(тільки лазерний промінь)	0,33	8 2 1	27	--	-----	0,60 0,90 1,00	----
(з попереднім підігрівом зразка ) Відстань між полум'ям та променем 70мм	0,5	8 2 1	27	75 95 110	50 60 85	0,50 0,70 0,90	0,05
(з накладанням лазерний промінь +полум'я )	0,5	8 2 1	27	75 95 110	50 60 85	0,80 1,20 1,30	0,05
(тільки лазерний промінь)	0,5	8 2 1	27	-----		Не прорізає	----

Як показали дослідження комбінованих режимів різання сталі, представлені в табл.2., найкращий ефект процесу різання спостерігається при попередньому підігріві газовим полум'ям перед лазерним випромінюванням. Ширина різу менша порівняно з різанням тільки одним лазерним випромінюванням. Це підтверджує те, що коефіцієнт поглинання нагрітої та окисленої поверхні металів лазерного випромінювання є більшим, що сприяє підвищенню ефективності різання за рахунок нагрівання металу газовим факелом.

Виходячи з аналізу залежності температури від кольору поверхні, можна визначити, що найбільшій поглинаючій здатності відповідає сірий колір поверхні, який утворюється при температурі 325 °С. Така температура знаходиться в зоні синє ламкості і виходячи зі структурних перетворень, які відбуваються в металі не впливає на перетворення в ньому.

При накладанні ВКП на лазерне випромінювання збільшується ширина різу і товщина металу, що ріжеться. Це пояснюється збільшенням об'єму розплаву між шлаковою оболонкою та твердим основним металом.

### Висновки

1. При різанні тонколистових металів з високою відбиваючою здатністю (мідь, алюміній, нерж. сталь), нагрівання листа металу воднево-кисневим полум'ям перед лазерним променем, збільшує коефіцієнт поглинання металом лазерного променя, що підвищує ефективність процесу різання і зменшує ширину різу.

2. При накладанні воднево-кисневого мікро-полум'я на лазерний промінь підвищується теплова потужність процесу різання для металів, в тому числі і за рахунок окислюючої дії і утворення екзотермічних реакцій.

3. Для тонколистових металів з високою відбиваючою здатністю попередній нагрів полум'ям, в залежності від товщини, може здійснюватись при витратах пальної суміші 50-300 дм<sup>3</sup>/год., для процесу накладання полум'я на лазерний струмінь 25-100 дм<sup>3</sup>/год.

4. Комплексне поєднання двох джерел енергії дозволяє підвищити технологічні можливості процесу різання тонколистових металів на підприємствах де використовуються малопотужні лазерні установки.

### Список літератури

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. Кайдалов А.А. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов.- К. : «Екотехнологія», 2007. -456 с.
4. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Зуев И. В., Кокора А. Н. - М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
5. Патент США №4879449,МКИ В 23К 26/00. НКИ 219-121.6.
6. Заявл.12.05.88. за №192921опубл.07.11.89.Duley Walter W., Kinsman Grant. Способ повышения проплавления металла при лазерной сварке.
7. Антонов И.А. Газопламенная обработка металлов.-М.: Машиностроение, 1976.-264с.
8. Патент на корисну модель №56604 МПК (2011.01) В23К 28/00 Спосіб різання тонколистових металів з високою відбиваючою здатністю. Корж В.М. Попіль Ю.С., Гайдук І.В.
9. Корж В.Н., Попіль Ю.С. Регулирование тепловой мощности водородно-кислородного пламени //Автоматическая сварка.- 2008.- №2.-С.38-45.
10. Плазменное поверхностное упрочнение /Л.К.Лещинский, С.С.Самотугин, И.И.Пирч, В.И.Комар.- К:Техника,1990.-109с.
11. .Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. - М.: Высшая школа, 1980. – 518 с.