

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.791.039:621.791.725

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/01>

Бернацький А.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шелягін В.Д.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сидорець В.М.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сіора О.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шуба І.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Курило В.А.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сучек О.М.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ В РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ

Проблема зварювання складнопрофільних конструкцій зі сталей та сплавів присутня в усіх галузях промисловості. Для її вирішення успішно застосовуються різні способи зварювання. Однак за низки обставин (великих габаритних розмірах, складних профілях, великій масі, тощо), виникає необхідність зварювання у просторових положеннях відмінних від нижнього, що потребує дослідження новітніх технологій зварювання та створення технологічного устаткування для подолання цих проблем. Проведений аналіз публікацій показав, що наукові праці у яких розглянуто вплив просторового положення при лазерному зварюванні на структуру, форму, механічні характеристики та розміри зварних з'єднань, стосуються більше безпосередньо технологічних аспектів процесу, а не вирішенню проблеми створення необхідного технологічного устаткування.

Метою роботи було створення лабораторного устаткування для проведення експериментальних досліджень технологічних особливостей процесів лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях. Розроблена конструкторська документація (ескізний проект), на базі якої створено лабораторний стенд. Він являє собою єдиний комплекс взаємопов'язаних електромеханічних та електронних вузлів і агрегатів та технологічного лазера. Створений стенд та допоміжне технологічне оснащення, які пройшли успішне тестування, забезпечують можливість одержання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань у широкому діапазоні технологічних параметрів.

Перспективними шляхами розвитку створеного технологічного устаткування є вдосконалення конструкції лабораторного стенду у напрямку забезпечення додаткових дискретних значень кутів зварювання, а також можливості неперервної зміни кута безпосередньо в процесі зварювання. Це може бути використано при створенні новітніх технологій не тільки лазерного, а й гібридного лазерно-дугового та лазерно-плазмового зварювання.

Ключові слова: лазерне зварювання, просторові положення, технологічне устаткування, лабораторний стенд.

Постановка проблеми. Проблема зварювання складнопрофільних конструкцій зі сталей та сплавів присутня в усіх галузях промисловості. Для її вирішення успішно застосовуються різні способи зварювання. Однак за низки обставин (великих габаритних розмірах, складних профілях, великій масі тощо), виникає необхідність зварювання у просторових положеннях відмінних від нижнього, що потребує дослідження новітніх технологій зварювання та створення технологічного устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій показав, що переважна більшість наукових праць присвячена дослідженням лазерного зварювання у нижньому просторовому положенні [1–3]. Окремі наукові праці, у яких розглянуто вплив просторового положення при лазерному зварюванні на структуру, форму, механічні характеристики та розміри зварних з'єднань, стосуються більше безпосередньо технологічних аспектів процесу лазерного зварювання [4–6], що виконувався на існуючому устаткуванні. Воно давало можливість проводити досліди при одному певному куті нахилу площини зварювання без можливості його варіювання. Тому результати досліджень розрізнені і не піддаються систематизації. Вирішенню проблеми створення спеціалізованого технологічного устаткування не приділялося достатньо уваги.

Постановка завдання. Для проведення експериментальних досліджень із лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях авторам необхідно було створити устаткування у вигляді лабораторного стану для зварювання у просторових положеннях відмінних від нижнього.

Метою роботи було створити технологічне устаткування у вигляді лабораторного стану для проведення експериментальних досліджень технологічних особливостей процесів лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Лабораторний стан був призначений для створення та відпрацювання технологій лазерного зварювання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань зі сталі та сплавів товщиною від 0,3 мм до 20,0 мм. Стан являє собою єдиний комплекс взаємопов'язаних електромеханічних та електронних вузлів і агрегатів та технологічного лазера. Рух зварювальної головки здійснюється за координатами X та Z. До стану входять такі складники (обладнання): двокоординатний маніпулятор; рухома платформа; платформа для

кріплення струбцин; блоки керування та автоматизації. Технічні характеристики стану вказані в Таблиці 1.

Розглянемо будову лабораторного стану та його складників, модель якого наведено на Рисунку 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики лабораторного стану для проведення експериментальних досліджень технологічних особливостей процесів лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях

Найменування показника	Значення	
Кількість осей, шт.	2	
Максимальна вантажопідйомність, кг	20	
Тривалість включення при + 25°C, не менше, %	50	
Споживана потужність, до кВт	35	
Повторюваність, не гірше, мм	± 0,08	
Прискорення по осях, м/сек ²	1	
Габаритні розміри маніпулятора, мм	700×1500 г	
Швидкість зварювання, см/с	0-25	
Маса маніпулятора, не більше, кг	500	
– довжина ходу по координаті Z, мм	1170	
– довжина ходу по координаті X, мм	540	
Точність позиціонування за координатами, мкм	X	± 70
	Z	± 50
Максимальна швидкість переміщення по координатах, см/с	X	25
	Z	25

У створеному лабораторному стані використані два лінійних сервоприводи на базі синхронних двигунів змінного струму. Напрягою на обмотках двигунів керують сервопідсилювачі (частотні перетворювачі), в яких зворотний зв'язок по положенню здійснюється за допомогою інкрементальних енкoderів. Вали енкoderів жорстко з'єднані з валами двигунів. Номінальна швидкість обертання двигунів становить 50 об/с.

В обох сервоприводах для перетворення обертального руху в поступальний використовується кульково-гвинтові передачі. Крок гвинтів в обох системах становить 10 мм/об. Обидва сервоприводи налаштовані на зовнішнє імпульсне керування положенням і швидкістю переміщення за допомогою дискретного (цифрового) інтерфейсу “Step/Dir”. Вхід “Dir” інтерфейсу управління призначений для керування напрямком переміщенням каретки. Нала-

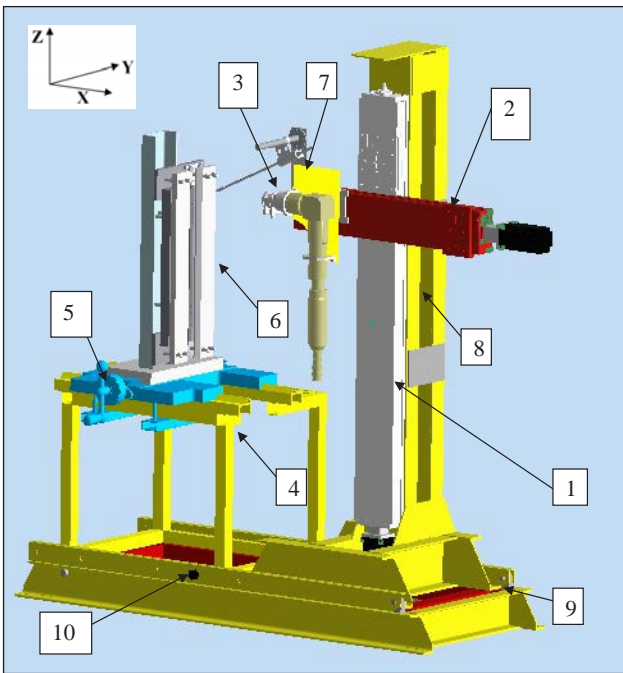


Рис. 1. Модель лабораторного стану, де 1 – модуль лінійного переміщення вздовж осі Z; 2 – модуль лінійного переміщення вздовж осі X; 3 – зварювальна головка; 4 – струбцина для фіксації зварювальних зразків; 5 – платформа для пересування струбцини у площині XY; 6 – струбцина зі зразком; 7 – кронштейн для кріплення зварювальної головки; 8 – колона; 9 – нерухома рама

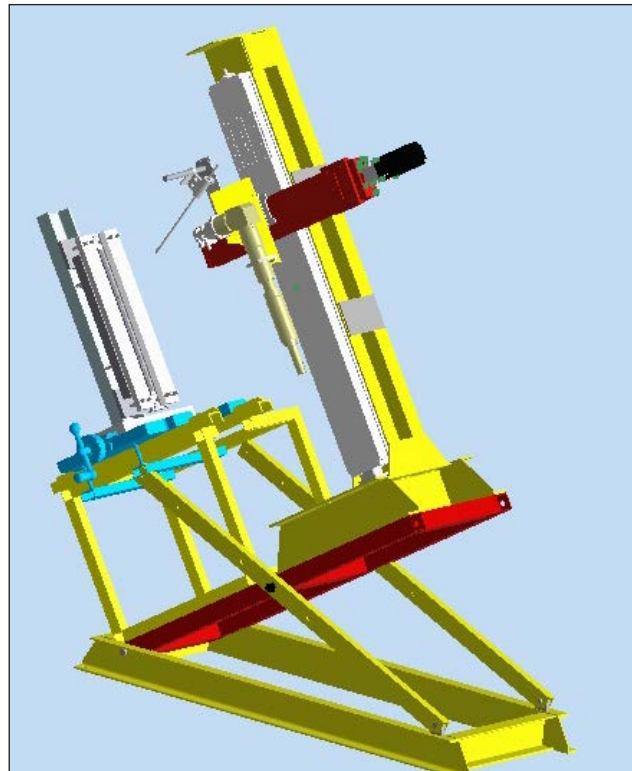


Рис. 2. Модель стану в нахиленому стані

штування обох сервоприводів було здійснено таким чином, що при надходженні одного імпульсу на вхід “Step” інтерфейсу управління каретка переміщується на 10 мкм вперед або назад в залежності від того, який сигнал присутній на вході “Dir”.

Конструктивно лінійні модулі механічно з’єднані один з одним і являють собою ланцюг із трьох ланок. Перша ланка – нерухома рама, яка є базою всієї системи (позиція 9 на Рисунку 1). Розмір нерухомої рами – 1620×650 мм, вона зварена зі сталевих швелерів № 12. Друга і третя ланка – це лінійні модулі (позиції 1 та 2 на Рисунку 1).

Друга ланка пов’язана з першою за допомогою обертового шарнірного механізму (позиція 10 на Рисунку 1). Цей механізм дозволяє відхилити другу ланку від вертикального положення на заданий кут від 0° до 90° (Рисунок 2).

Нахил рухомої рами можливий під дискретними кутами 30°, 45°, 60°, 90°. Фіксація положення рухомої рами під різними кутами здійснюється за допомогою бічних планок і болтів M20. Бічні планки кріпляться на осях корпусів нерухомої рами. Механізм нахилу рами не обладнаний системою сервоприводу, і регулювання кутового відхилення здійснюється вручну. Лінійний модуль встановлений на цій ланці закріплений на колоні

висотою 1650 мм (позиція 8 на Рисунку 1), яка зварена зі сталевих швелерів № 16.

Третя ланка (позиція 2 на Рисунку 1) жорстко закріплена на каретці другої ланки. Лазерна головка (позиція 3 на Рисунку 1) закріплена на каретці третьої ланки за допомогою кронштейнів (позиція 7 на Рисунку 1).

У вихідному положенні друга ланка розташована вертикально (Рисунок 1). При такому з’єднанні кожен із лінійних модулів відповідає за переміщення лазерної головки паралельно одному з напрямів декартової системи координат, а саме – друга ланка відповідає за переміщення уздовж координати Z, а третя – за переміщення уздовж координати X. Діапазон ходу по координаті X дорівнює 540 мм, а по координаті Z – 1170 мм.

Для організації управління контурним переміщенням використовується персональний комп’ютер із встановленою операційною системою “Linux”. Для підвищення рівня надійності використовується модифіковане ядро операційної системи реального часу. Це дозволяє забезпечити гарантований час виконання операцій вводу / виводу за задані проміжки часу. Програмне забезпечення, призначене для управління контурним переміщенням, дозволяє конфігурувати систему

числового програмного управління для виконання завдань розрахунку траєкторії контурного переміщення і контролю електроавтоматики. Вбудований інтерполятор дозволяє програмувати переміщення по лінійним, круговим і кубічним сплайновим сегментам траєкторії в 2-х і 3-х мірній системі координат. Для зв'язку системи управління з зовнішнім обладнанням можуть бути використані різні інтерфейси (послідовний порт, USB порт тощо).

Розроблено ескізний проект конструкторської документації, за яким створено технологічне устаткування у вигляді лабораторного стану для проведення експериментальних досліджень технологічних особливостей процесів лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях.



Рис. 3. Лабораторний стан для лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях

На Рисунку 3 наведено фотографію створеного технологічного устаткування у вигляді лабораторного стану для проведення експериментальних досліджень технологічних особливостей процесів лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях.

Перевірку функціональних можливостей створеного технологічного устаткування виконували при проведенні експериментальних досліджень з лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях [6]. Роботи виконували з використанням твердотільного Nd: YAG-лазеру "DY044", виробництва фірми "ROFIN-SINAR" (Німеччина) з довжиною хвилі випромінювання $\lambda=1,06$ мкм. Лазерне випромінювання передавалося кварцовому оптичному волокну діаметром 400 мкм і довжиною 20 метрів. З оптоволокна лазерний промінь потрапляв у коліматор, де за допомогою системи оптичних елементів, набував необхідних геометричних розмірів. і Потім він проходив скрізь кварцеву лінзу діаметром 50 мм з фокусною відстанню 300 мм.

Створений стан та допоміжне технологічне оснащення (кронштейни, струбцини, елементи кріплення, тощо) забезпечують можливість одержання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань зі сталі та сплавів у широкому діапазоні технологічних параметрів.

По схемі, що наведена на Рисунку 4, виконували провари у пластинах зі сталей та сплавів, при різних кутах нахилу α : 90°, 60°, 45°, 30°, 0°. В усіх варіантах (крім нижнього положення), зварювання проводили «на підйом» (рис. 4.а) та «на спуск» (Рисунок 4. б). Кут падіння лазерного випроміню-

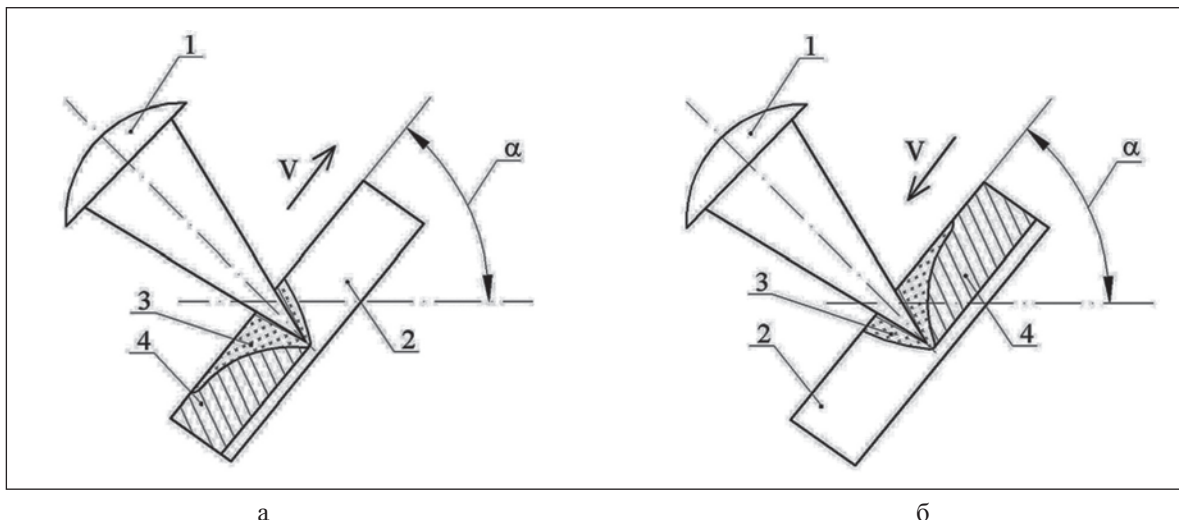


Рис. 4. Схеми лазерного зварювання «на підйом» (а) та «на спуск» (б): 1 – пучок лазерного випромінювання, що фокусується лінзою; 2 – пластина; 3 – зварювальна ванна; 4 – метал шва; α – кут нахилу пластини до горизонтальної площини; V – напрям зварювання

нювання 1 на пластину 2 (Рисунок 4) залишався незмінним при різних просторових положеннях.

Рівень якості зварних з'єднань визначали за діючими стандартами. Згідно вимог стандартів встановлено три рівня якості, що відповідають певному діапазону гранично допустимих розмірів дефектів і відносяться до зварних з'єднань. Визначали кут нахилу, на якому було одержано найбільш якісне з'єднання з найменшою кількістю дефектів. На визначених кутах виконували лазерне зварювання контрольних з'єднань [6].

Перспективними напрямками розвитку створеного технологічного устаткування є:

1) вдосконалення конструкції лабораторного стенду у напрямку забезпечення додаткових фіксованих значень кутів зварювання, а також можливості зміни кута безпосередньо при виконанні операції зварювання;

2) використання для створення новітніх технологій не тільки лазерного, а й гібридного лазерно-дугового та лазерно-плазмового зварювання.

Висновки. Створене технологічне устаткування у вигляді лабораторного стенду забезпечує можливість одержання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань зі сталі та сплавів у широкому діапазоні технологічних параметрів при різних просторових положеннях.

Перспективними напрямками розвитку створеного технологічного устаткування є вдосконалення конструкції лабораторного стенду у напрямку забезпечення додаткових фіксованих значень кутів зварювання, а також можливості зміни кута безпосередньо при створенні новітніх технологій не тільки лазерного, а й гібридного лазерно-дугового та лазерно-плазмового зварювання.

Список літератури:

1. Reitemeyer D. Laser welding of large scale stainless steel aircraft structures. *Physics Procedia*. 2013. Vol. 41. P. 106–111. doi: 10.1016/j.procir.2018.08.151.
2. Kashani H.T., Kah P., Martikainen J. Laser overlap welding of zinc-coated steel on aluminum alloy. *Physics Procedia*. 2015. Vol. 78. P. 265–271. doi:10.1016/j.phpro.2015.11.037.
3. Viňáš J., Ábel M. Analysis of laser welds on automotive steel sheets *Material Science Forum*. 2015. Vol. 818. P. 239–242. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.818.239.
4. Sohail M., Han S. W., Na S.J., Gumenyuk A., Rethmeier M. Numerical investigation of energy input characteristics for high-power fiber laser welding at different positions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 80. P. 931–946. doi: 10.1007/s00170-015-7066-6.
5. Chang B., Yuan Z., Pu H., Li H., Cheng H., Du D., Shan J. A. Comparative Study on the Laser Welding of Ti6Al4V Alloy Sheets in Flat and Horizontal Positions. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 376. doi: 10.3390/app7040376.
6. Bernatskyi A.V., Berdnikova O.M., Klochkov I.M., Sydorets V.M., Chinakhov D.A. Laser welding in different spatial positions of T-joints of austenitic steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, Vol. 582, P. 012048. doi: 10.1088/1757-899X/582/1/012048.

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siora O.V., Shuba I.V., Kurilo V.A., Suchek O.M. CREATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR RESEARCH OF LASER WELDING PROCESS IN DIFFERENT SPATIAL POSITIONS

The problem of welding complex profile structures of steels and alloys is present in all branches of industries. Various methods of welding are successfully used to solve it. However, in a number of circumstances (large dimensions, complex profiles, large mass, etc.), there is a need for welding in spatial positions other than the flat one, which requires the study of advanced welding technologies and the creation of technological equipment to overcome these problems. The analysis of publications has shown that the scientific works, which considered the influence of the spatial position in laser welding on the structure, shape, mechanical characteristics and dimensions of welded joints, are more related to technological aspects of the process directly, rather than solving the problem of creating the necessary technological equipment.

The purpose of the work was to create laboratory equipment for experimental research of technological features of laser welding processes of steels and alloys in different spatial positions. Design documentation (sketch project) was developed, on the basis of which a laboratory setting was created. This is a single complex of interconnected electronic and electromechanical components and assemblies as well of technological laser. This setting and auxiliary technological equipment, which have been successfully tested, provide the ability to obtain butt, T-, angular and overlap welding joints in a wide range of technological parameters.

Promising ways of development of the created technological equipment are the improvement of the design of the laboratory setting in the direction of providing additional discrete values of welding angles, as well as the possibility of continuous change of the angle directly in the welding process. This can be used at creating the newest technologies not only laser, but also hybrid laser-arc and laser-plasma welding.

Key words: laser welding, welding positions, technological equipment, laboratory setting.