

## ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.3.049:621.791.725

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/01>

**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

**Набок Т.М.**

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

### РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ТА СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ В РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ

*Шляхом створення алгоритмів реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях у роботі виконано забезпечення опису переліку дій та розробку відповідного обладнання, необхідних для виконання процесу лазерного зварювання у різних просторових положеннях, а також досягнення заданих показників якості одержуваних зварних з'єднань. Це дало змогу розглянути проблеми лазерного зварювання в різних просторових положеннях, зокрема пов'язані з автоматизацією зварювальних процесів.*

*Створено апаратно-програмне забезпечення підґрунтя для дослідної перевірки гіпотези, згідно якої умови проведення лазерного зварювання в різних просторових положеннях пов'язані із постійним підтриманням сталого балансу між силами, що діють на вільну поверхню рідкого металу ванни. Для виконання завдання лазерного зварювання в різних просторових положеннях розроблений апаратно-програмний комплекс був інтегрований з джерелом живлення генератора лазерного випромінювання і модулем лінійного переміщення. Основними елементами створеного апаратно-програмного комплексу є лінійний модуль переміщення, генератор лазерного випромінювання і блок управління. Функціонування апаратно-програмного комплексу здійснюється завдяки алгоритмам роботи в ручному і автоматичному режимі, які реалізовані у вигляді набору програм на мові СІ.*

*Розроблений апаратно-програмний комплекс призначений для виконання наступних функцій: реєстрації керуючих (командних) впливів з боку оператора установки; програмування положення початкової і кінцевої точки зварювальної траєкторії; відображення інформаційних (діагностичних) повідомлень; передавання керуючих імпульсів в лінійний модуль; реєстрації стану кінцевих датчиків; виконання робочого циклу зварювання. Створений лабораторний стенд для лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього.*

**Ключові слова:** лазерне зварювання, алгоритм процесу, автоматизація, апаратно-програмний комплекс, лабораторний стенд.

**Постановка проблеми.** Номенклатура виробів для авіакосмічної промисловості включає деталі як малого так і великого розміру, а їх конструкція часто має складну просторову форму із важкодоступними ділянками для зварювання або із криволінійними профілями поверхні. Тому виникає потреба виконання різноманітних видів зварювальних з'єднань (стикових, напусткових, таврових, кутових тощо) у різних положеннях (вертикальному, горизонтальному тощо) або навіть у довільному складному просторовому положенні. У таких умовах треба не тільки враховувати, але задіяти на користь, фізичні ефекти, які супроводжують лазерне зварювання у таких умовах. Наприклад, враховуючи сили гравітації та поверхневого натягу можливо впливати на ступінь розкриття каналу проплавлення при переміщенні зварювальної ванни у різних напрямках [1]. Врахування вищезгаданих особливостей може дозволити отримати сукупність технологічних карт процесу під час зварювання з'єднань у різних просторових положеннях, та потребує розробки необхідних алгоритмів реалізації цих процесів та відповідного технологічного оснащення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Алгоритми реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях призначені для опису різних варіантів дій [1-5]. Ці дії є необхідними і достатніми для виконання процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій зі сталі і сплавів в різних просторових положеннях [1, 2]. Під різними просторовими положеннями зварювання мається на увазі можливість довільного напрямку вектору швидкості переміщення джерела нагріву (лазерного пучка) в просторі [1, 3]. Для розробки вказаних алгоритмів, дослідники застосовують різні шляхи, які спираються на результати теоретичних або експериментальних досліджень, або їх комбінації [1-5].

**Постановка завдання.** Створення алгоритмів реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях спрямоване на забезпечення опису переліку дій та розробку відповідного обладнання, необхідних для виконання процесу лазерного зварювання у різних просторових положеннях, а також досягнення заданих показників одержаних швів - якості, надійності, міцності, відсутності пор тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Алгоритм реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів, описує закономірності переміщення сфокусованого лазерного випромінювання вздовж складної траєкторії виробу (координати,

лінійна швидкість, прискорення на окремих ділянках шва тощо), а також керування параметрами лазерного випромінювання (потужність, положення фокальної площини лінзи відносно поверхні зразка тощо).

Згідно розробленого алгоритму реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях, для спрощення розв'язання задачі зварювання тривимірних конструкцій складну просторову траєкторію зварювання було запропоновано розділити на так звані просторові примітиви, тобто окремі зварні з'єднання (стикові, таврові, напусткові та кутові), що зварюються в тих чи інших просторових положеннях. Це дало змогу розглянути проблеми лазерного зварювання в різних просторових положеннях, зокрема пов'язані з автоматизацією зварювальних процесів.

Реалізація режимів керування комплексом здійснюється на підставі технологічних карт процесу, отриманих при зварюванні контрольних зразків зварних з'єднань зі сталей та сплавів у різних просторових положеннях. Перевірка ефективності розробленого алгоритму була здійснена при створенні апаратно-програмного забезпечення комплексу, описаного нижче.

Розроблений апаратно-програмний комплекс (далі – АПК) призначений для автоматизації управління процесом лазерного зварювання. Об'єктом автоматизації було лазерне зварювання великогабаритних тривимірних конструкцій у різних просторових положеннях. АПК являє собою сукупність агрегатів, пристроїв та програмних модулів, які забезпечують виконання лазерного зварювання в різних просторових положеннях. АПК забезпечує можливість переміщення сфокусованого лазерного пучка по лінійній траєкторії в різних просторових положеннях. АПК забезпечує можливість попередньої ручної установки положення початкової і кінцевої точки лінійної траєкторії переміщення сфокусованого лазерного пучка перед проведенням процесу лазерного зварювання. АПК забезпечує можливість установки швидкості лінійного переміщення сфокусованого лазерного пучка при відпрацюванні процесу лазерного зварювання. АПК має централізовану структуру, єдиним органом управління якої є «Блок управління». Структура розроблювального АПК показана на рис. 1.

Основними елементами АПК є лінійний модуль переміщення, лазер і блок управління. Функціонування АПК здійснюється завдяки алгоритмам роботи в ручному і автоматичному режимі, які реалізовані у вигляді набору програм на мові СІ. Ці алгоритми розташовані в незалежній пам'яті



- другою фазою створення АПК є збірка виготовлених вузлів.
- Розроблений апаратно-програмний комплекс призначений для виконання наступних функцій:
  - реєстрація керуючих (командних) впливів з боку оператора установки;
  - програмування положення початкової і кінцевої точки зварювальної траєкторії;
  - відображення інформаційних (діагностичних) повідомлень;
  - передача керуючих імпульсів в лінійний модуль;
  - реєстрація стану кінцевих датчиків;
  - виконання робочого циклу зварювання.

Блок управління (БУ) призначений для зберігання і виконання алгоритму керування АПК. Алгоритм керування реалізований у вигляді програми на мові СІ, яка скомпільована у машинний код і завантажена у незалежну пам'ять мікроконтролера ATmega 328, що забезпечує автономність роботи.

Алгоритм керування виконується циклічно, чекаючи надходження керуючих впливів з боку оператора. При надходженні конкретного впливу з боку оператора алгоритм викликає пов'язану з цим впливом підпрограму.

До основних підпрограм належать:

- «анулювання» – пошук абсолютного початкового положення каретки;
- контроль початкової / кінцевої точки траєкторії;

- управління електрогальмами сервоприводу;
- регулювання швидкості робочого / холостого ходу;
- включення / вимикання лазерного випромінювання.

Головною підпрограмою є підпрограма «робочого» циклу, необхідна для здійснення процесу зварювання. Робочий цикл виконується тільки в тому випадку, якщо оператор виконав попередню настройку положення початкової і кінцевої точки траєкторії зварювання і здійснив «Анулювання» сервоприводу. Виконання «робочого» циклу здійснюється у відповідності з наступною послідовністю:

- переїзд в початкову точку траєкторії;
- включення лазерного випромінювання;
- переїзд із заданою швидкістю в кінцеву точку траєкторії;
- виключення лазерного випромінювання.

Таким чином, було розроблено та виготовлено макетний зразок апаратно-програмного комплексу забезпечення процесу лазерного зварювання конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях, який було адаптовано з елементами зварювального лабораторного стану, показаного на рис. 2.

**Висновки.** 1. Створено апаратно-програмне забезпечення підґрунтя для дослідної перевірки гіпотези, згідно якої умови проведення лазерного зварювання в різних просторових положеннях пов'язані із постійним підтриманням сталого



Рис. 2. Лабораторний стенд для лазерного зварювання у різних просторових положеннях

балансу між силами, що діють на вільну поверхню рідкого металу ванни.

2. Створений новий лабораторний стенд для лазерного зварювання у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього.

3. Створений стенд та допоміжне технологічне оснащення забезпечують можливість одержання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань у широкому діапазоні зміни режимів технологічних параметрів.

#### Список літератури:

1. 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.

2. 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.

3. Guo W., Liu Q., Francis J. A., Crowther D., Thompson A., Liu Z., Li L. Comparison of laser welds in thick section S700 high-strength steel manufactured in flat (1G) and horizontal (2G) positions. *CIRP Annals Manufacturing Technology*. 2015; 64:197–200. doi: 10.1016/j.cirp.2015.04.070.

4. Shen X. F., Li L., Guo W., Teng W.H., He W.P. Comparison of processing window and porosity distribution in laser welding of 10 mm thick 30CrMnSiA ultrahigh strength between flat (1G) and horizontal (2G) positions. *Journal of Laser Applications*. 2016. Vol. 28. P. 022418. doi: 10.2351/1.4943992.

5. Шелягін В.Д., Бернацький А.В., Шуба І.В., Сіора О.В. Розробка інструменту для лазерного ручного зварювання сталевих виробів у різних просторових положеннях. *Вісник ДДМА*. 2016. № 2 (38). С. 241–246.

**Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siora O.V., Shuba I.V., Nabok T.M.**

#### **THE DEVELOPMENT OF EQUIPMENT AND THE CREATION OF HARDWARE AND SOFTWARE FOR THE IMPLEMENTATION OF THE LASER WELDING PROCESS OF STEEL AND ALLOY STRUCTURES IN VARIOUS SPATIAL POSITIONS**

*By creating algorithms for the implementation of the laser welding process of three-dimensional structures of steels and alloys in different spatial positions, the work provides the description of the list of actions and the development of appropriate equipment required to perform the laser welding process in different spatial positions, as well as to achieve the specified quality of obtained welding joints. This allowed us to consider the problems of laser welding in various spatial positions, including those related to the automation of welding processes. Hardware and software have been developed to test the hypothesis that laser welding conditions in different spatial positions are associated with the constant maintenance of a constant balance between the forces acting on the free surface of the liquid metal of welding pool. To perform the task of laser welding in different spatial positions, the developed hardware and software complex was integrated with the power source of the laser generator and the linear displacement module.*

*The principal elements of the created hardware and software complex are the linear module of movement, the generator of laser radiation and the control unit. The operation of the hardware and software complex is carried out due to algorithms of work in manual and automatic mode, which are implemented in the form of a set of programs in CI language.*

*The developed hardware and software complex is intended to perform the following functions: registration of control (command) impacts by the installation operator; programming of position of start and end point of welding trajectory; display of information (diagnostic) messages; transfer of control pulses to the linear module; registration of the state of the end sensors; execution of welding duty cycle. The laboratory equipment has been created for laser welding of steels and alloys in different spatial positions other than the lower one.*

**Key words:** laser welding, process algorithm, automation, hardware and software complex, laboratory equipment.