

Ю. В. ЮРЧЕНКО

інженер-технолог I категорії
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0001-9253-009X

О. М. СУЧЕК

провідний інженер
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0002-8961-3887

В. А. КУРИЛО

завідувач групи
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-0790-9404

О. В. СІОРА

науковий співробітник
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-1927-790X

М. В. СОКОЛОВСЬКИЙ

провідний інженер
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-3243-5060

А. В. БЕРНАЦЬКИЙ

кандидат технічних наук, старший дослідник,
завідувач відділу
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0002-8050-5580

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСКИХ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ З ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Технології лазерного зварювання тонколистових матеріалів широко використовуються у багатьох галузях промисловості, таких як атомна, автомобілебудівна, космічна, авіаційна, суднобудівна та інші. Ця різноманітність використання технології лазерного зварювання вимагає стандартизації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати проведених досліджень дуже відрізняються та не піддаються систематизації. Раніше приділялося мало уваги до проблеми виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання для створення контрольних зварних з'єднань. Згідно із ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променеве та лазерно-променеве зварювання», перед атестацією технології лазерного зварювання необхідно створити контрольні зразки зварних з'єднань заданих форм та розмірів. Це ставить перед нами виклик у розробці, виготовленні та апробації необхідного технологічного обладнання. Метою роботи стало створення уніфікованого технологічного обладнання для підготовки контрольних зварних з'єднань тонколистових матеріалів для подальшої атестації технології лазерного зварювання. Розроблено конструкторську документацію (ескізний проєкт) для цього технологічного обладнання, спрямованого на виготовлення контрольних зразків. Представлена в цій статті струбуцина розроблена спеціально для того, щоб зварювати деталі з тонколистового матеріалу як плоскої, так і циліндричної форми. Вона забезпечує стабільний тепловідвід від зони зварювання завдяки використанню притискового мідного холодильника, що в свою чергу запобігає утворенню дефектів шва, таких як про-

різи та неповари. Також завдяки вузькому пазу газоподачі на планці тепловідводу можливе максимально близьке розташування притискачів до кромки листа, що забезпечує його рівномірне притискання на всій довжині.

Ключові слова: лазерне зварювання, тонколистові матеріали, атестація процедури лазерного зварювання, технологічне обладнання.

YU. V. YURCHENKO

Engineer-Technologist 1st Category
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0001-9253-009X

O. M. SUCHEK

Lead Engineer
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-8961-3887

V. A. KURYLO

Group Leader
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-0790-9404

O. V. SIORA

Researcher
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-1927-790X

M. V. SOKOLOVSKIYI

Lead Engineer
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-3243-5060

A. V. BERNATSKIYI

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Department Head
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-8050-5580

DEVELOPMENT OF LABORATORY EQUIPMENT FOR MANUFACTURE OF FLAT AND CYLINDRICAL SAMPLES FROM THIN SHEET MATERIAL USING LASER WELDING TECHNOLOGY

Laser welding technologies for thin-sheet materials are widely used in many industries, such as nuclear, automotive, space, aviation, shipbuilding, and others. This diversity of laser welding applications requires standardization in the production of test welds. However, the results of the studies conducted are very different and cannot be systematized. Previously, little attention was paid to the problem of manufacturing specialized technological equipment for creating test welded joints. According to DSTU EN ISO 15614-11:2015 "Technical specifications and certification of welding technology for metal materials. Testing of welding processes. Part 11. Electron Beam and Laser Beam Welding", before the certification of laser welding technology, it is necessary to create control samples of welded joints of specified shapes and sizes. This poses a challenge to us in the development, manufacture and testing of the necessary technological equipment. The aim of the work was to create unified technological equipment for the preparation of test welded joints of thin-sheet materials for further certification of laser welding technology. The design documentation (preliminary design) for this technological equipment aimed at manufacturing test samples was developed. The clamp presented in this article is designed specifically for welding parts made of thin sheet material, both flat and cylindrical. It ensures stable heat removal from the welding zone due to the use of a pressure copper cooler, which in turn prevents the formation of weld defects such as gaps and underwelds. Also, thanks to the narrow gas supply groove on the heat sink bar, it is possible to position the clamps as close as possible to the edges of the sheet, which ensures its uniform pressing along the entire length.

Key words: laser welding, thin-sheet materials, certification of the laser welding procedure, technological equipment.

Постановка проблеми

Перед впровадженням технології лазерного зварювання необхідно пройти атестацію згідно з чинним стандартом ДСТУ EN ISO 15607:2019 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Загальні правила». Зазначений стандарт передбачає кілька способів атестації технології лазерного зварювання, зокрема: атестація на основі випробування технології зварювання, атестація на основі досвіду у зварюванні, атестація на основі стандартної технології зварювання та атестація на основі зварювального випробування до виробництва. Результати атестації фіксуються у відповідному протоколі, на основі якого виробник або експертний орган розробляє технологічну інструкцію лазерного зварювання для конкретного типу продукції.

Найбільш поширений метод атестації технології лазерного зварювання базується на випробуванні. Стандарт ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-промене та лазерно-промене зварювання» визначає процедуру цього типу атестації. Специфікації включають в себе вимоги до кваліфікаційних випробувань, форми та розмірів контрольних зварних з'єднань, обсягів та видів контролю, а також місця та розмірів дослідних зразків. Згідно з цим стандартом, необхідно виготовляти зразки певної форми та з розмірами, що визначені мінімальними. Це створює проблему для розробки та виготовлення необхідного технологічного обладнання та підготовки контрольних зварних з'єднань у процесі атестації технології лазерного зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В економіках найбільш розвинених країн важливою тенденцією технічного прогресу є широке використання та постійне вдосконалення нових передових технологій. До цього спектру інновацій належать і лазерні методи обробки тонколистових матеріалів, зокрема, технології лазерного зварювання [1–2]. Застосування лазерних технологій у зварюванні відіграє ключову роль у підвищенні ефективності праці та конкурентоспроможності в різних галузях промисловості [3–5]. Застосування лазерів у виробництві визначається високою якістю продукції, високою продуктивністю процесів, раціональним використанням людських і матеріальних ресурсів, а також екологічна безпека. Застосування технологій лазерного зварювання тонколистових матеріалів є широко поширеним в атомній, автомобілебудівній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості. Використання цієї технології в таких різноманітних сферах виробництва вимагає стандартизації при виробництві контрольних зварних з'єднань. На жаль, результати проведених досліджень різняться і не можуть бути узагальнені. Раніше проблемі виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання для створення контрольних зварних з'єднань приділялося мало уваги. Є проблеми при зварюванні тонколистових матеріалів які потрібно вирішити, а саме: необхідно забезпечити достатній газовий захист зварної ванни; точна підгонки стику перед лазерним зварюванням та відведення тепла від зони зварювання. При недостатньому стикуванні зварюваних поверхонь можливе утворення зазорів, які можуть слугувати утворенню несплавень, що є недопустимим дефектом при зварюванні тонколистових матеріалів. Також відведення тепла від зони зварювання грає велику роль, тому, що під час лазерного зварювання тонколистових матеріалів, зварюваний метал може деформуватися через дію надлишкового тепла.

Постановка завдання

Для проведення експериментальних досліджень лазерного зварювання тонколистових сталей і сплавів авторам роботи було необхідно розробити та виготовити спеціалізоване технологічне обладнання, яке повинно було бути уніфікованим і використовуватиметься для підготовки контрольних стикових зварних з'єднань передбачених ДСТУ з метою подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

За вимогами стандарту ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 про виготовлення контрольних зварних з'єднань, було розроблено ескізний проект лабораторного устаткування для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу з використанням технологій лазерної обробки. На Рис. 1 представлено 3D-модель розробленого технологічного устаткування.

Відповідно до ескізного проекту було виготовлено струбцину для створення контрольних зварних з'єднань за допомогою механічної обробки, такої як фрезерування, шліфування, свердління, а також шляхом проведення зварювальних робіт.

Струбцина для зварювання плоских і циліндричних зразків складається з декількох частин та має габарити 650×170×675 мм (рис. 2). Рама 1 призначена для монтажу на ній елементів пристрою. Вона являє собою зварну конструкцію з квадратної профільної труби 25×25. З двох сторін протилежних граней приварені пластина основи 7 та пластина кріплення гвинта 8 приводу рухомого притискача 4. Для зменшення ваги конструкції рами була вибрана профільна труба. Пластини основи та пластина кріплення гвинта оброблені і мають паралельні грані. Розмір рами – 650×170×186 мм.

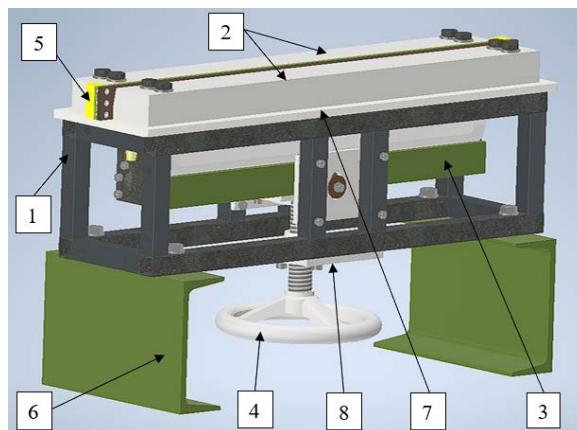


Рис. 1. 3D-модель струбцини для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу: 1 – рама; 2 – притискні планки; 3 – притискач внутрішній (рухомий); 4 – привід рухомого притискача; 5 – пристрій орієнтації зварного стику; 6 – опорні елементи; 7 – пластина основи; 8 – пластина кріплення гвинта

Рама 1 встановлюється на двох опорних елементах 6 зі швелера № 16, які кріпляться на монтажно-зварювальному столі. Для рівномірного прилягання зразка та уникнення його деформування під час зварювання, використовуються притискні планки 2, виготовлені зі Сталі 20 розміром 660×68×20 мм. На пластину основи встановлюються дві нерухомі притискні планки зі скосами в сторону зварного шва для безперешкодного проходження пристрою газового захисту.



Рис. 2. Струбцини для зварювання плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу

Рухомий притискач 3 являє собою циліндричний елемент виготовлений з алюмінієвого сплаву Д16Т та з нижньої сторони струбцини фіксується за допомогою гвинта. Діаметр корпусу може змінюватися в залежності від діаметра зварюваної заготовки. В корпусі прижиму наявна система газового захисту зворотної частини зварного шва, що являє собою канал подачі захисного газу та охолоджуючий елемент зварного шва. Вона забезпечує надійний захист рідкого та гарячого (з температурою понад 500°C) металу від навколишньої атмосфери. Для вставки планки газоподачі виготовлено паз та канал подачі захисного газу. В планці газової подачі виготовлено 49 отворів діаметром 2 мм для проходження захисного газу зі зворотньої сторони зварного шва. Марки захисного газу вибираються в залежності від хімічного складу зварюваних матеріалів. Захисний газ подається на внутрішню поверхню зварюваних зразків та на пляму ванни розплавленого металу лазерного променя та на зварений шов (довжина захисту шва до 90 мм). Система газової подачі обладнана штуцером під шланг діаметром 10 мм (через який подається газ). Витрати газу 4–30 л/хв, за тиском 0,01–0,25 МПа. Щоб зменшити опір при зніманні звареної циліндричної заготовки(деталі) з двох боків корпусу зроблені лиски. Габарити корпусу складають в довжину 500 мм, діаметр 81 мм та має вагу 6 кг.

В конструкцію струбцини також входять дві планки охолодження, які виготовлені з міді та мають паз 4×2 мм для подачі газу в кореневий шов заготовки(деталі) довжиною 500 мм. Отвори Ø1.5 мм для виходу захисного газу в планці газової подачі виконані спільно з отворами в планках охолодження. Планка газоподачі та охолоджуюча

планка з'єднані між собою в одну деталь. В залежності від профілю зварюваної заготовки(деталі) (пласкої чи циліндричної) планки змінюються в корпусі притискача.

Пристрій орієнтування зварного стику призначений для того, щоб виставити гарантований проміжок між стиком крайок заготовки (деталі) перед остаточним стисненням та орієнтування стику крайок вздовж осі струбцини в системі координат маніпулятора. Пристрій орієнтування виставляється в паз між нерухомими притискними планками за допомогою штирів встановлених на рамі. Між опорною планкою і притискною розташована лінійка орієнтування – сталеві смуга 27×500 мм товщиною 0.15–0.35 мм, виготовлена зі сталі 65Г. Вона фіксується зусиллям стиснення між опорною і притискною планками.

Представлена в цій статті струбцина розроблена спеціально для того, щоб зварювати деталі з тонколистового матеріалу як пласкої, так і циліндричної форми. Вона забезпечує стабільний тепловідвід від зони зварювання завдяки використанню притискного мідного холодильника, що в свою чергу запобігає утворенню дефектів шва, таких як прорізи та непровари. Також завдяки вузькому пазу газоподачі на планці тепловідводу можливе максимально близьке розташування притискачів до кромки листа, що забезпечує його рівномірне притискання на всій довжині.

Висновки

Створене технологічне обладнання у вигляді спеціалізованої струбцини, яка дозволяє отримувати зразки з тонколистового матеріалу пласкої і циліндричної форми, які відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, зі сталей і сплавів в широкому діапазоні технологічних параметрів, що робить його рекомендованим для використання під час атестації технологій лазерного зварювання для різноманітних матеріалів у різних галузях промисловості. Струбцини для зварювання, що використовувалися нами раніше, через широкий паз газоподачі не забезпечували рівномірного притискання листа та стабільного тепловідводу від зони зварювання. Це в свою чергу призводило до утворення прорізів та непроварів. Тому для усунення цих недоліків була розроблена нова струбцина для зварювання тонколистового матеріалу.

Список використаної літератури

1. Pankaj, P., Tiwari, A., Bhadra, R., & Biswas, P. Experimental investigation on CO₂ laser butt welding of AISI 304 stainless steel and mild steel thin sheets. *Optics & Laser Technology*. 2019. Vol. 119. P. 105633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.1056>.
2. Krivtsun, I.V., Haskin, V.Yu., Korzhik, V.M., Klochkov, I.M., Kvasnytskyi, V.V., Babich, O.A. et al. Hybrid laser-microplasma welding of Ti-Al-V titanium alloy. *The Paton Welding Journal*. 2019. № 10. P. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.10.01>
3. Shelyagin, V.D., Lukashenko, A.G., Khaskin, V.Yu., Lukashenko, D.A. & Lukashenko, V.A. Development of technology and equipment of the automated laser welding for manufacturing heat exchanger details of marine engines. *Science and Innovation*. 2014. Vol. 10, Issue 5. P. 34–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/scin10.05.034>.
4. Riofrío, P., Capela, C., Ferreira, J. & Ramalho, A. Interactions of the process parameters and mechanical properties of laser butt welds in thin high strength low alloy steel plates. *The Journal of Materials: Design and Applications*. 2020. Vol. 234, Issue 5. P. 665–680. DOI: <https://doi.org/10.1177/1464420720910442>.
5. Markashova, L., Berdnikova, O., Alekseienco, T., Bernatskyi, A., & Sydorets, V. Nanostructures in welded joints and their interconnection with operation properties. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*. 2019. P. 119–128. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.

References

1. Pankaj, P., Tiwari, A., Bhadra, R., & Biswas, P. (2019). Experimental investigation on CO₂ laser butt welding of AISI 304 stainless steel and mild steel thin sheets. *Optics & Laser Technology*, 119, 105633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.1056>.
2. Krivtsun, I.V., Haskin, V.Yu., Korzhik, V.M., Klochkov, I.M., Kvasnytskyi, V.V., Babich, O.A. et al. (2019). Hybrid laser-microplasma welding of Ti-Al-V titanium alloy. *The Paton Welding Journal*, (10), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.10.01>
3. Shelyagin, V.D., Lukashenko, A.G., Khaskin, V.Yu., Lukashenko, D.A. & Lukashenko, V.A. (2014). Development of technology and equipment of the automated laser welding for manufacturing heat exchanger details of marine engines. *Science and Innovation*, 10(5), 34–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/scin10.05.034>.
4. Riofrío, P., Capela, C., Ferreira, J. & Ramalho, A. (2020). Interactions of the process parameters and mechanical properties of laser butt welds in thin high strength low alloy steel plates. *The Journal of Materials: Design and Applications*, 234(5), 665–680. DOI: <https://doi.org/10.1177/1464420720910442>.
5. Markashova, L., Berdnikova, O., Alekseienco, T., Bernatskyi, A., & Sydorets, V. (2019). Nanostructures in welded joints and their interconnection with operation properties. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*, 119–128. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.