

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.791.725

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/02>

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

Набок Т.М.

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 УНІФІКОВАНОГО ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Технології лазерного зварювання активно застосовуються в електронному машинобудуванні, автомобілебудуванні, атомній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості. Така різноманітність промислових впроваджень технології лазерного зварювання потребує уніфікації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати досліджень досить розрізнені і не піддаються систематизації. Вирішенню проблеми створення спеціалізованого технологічного устаткування для виготовлення контрольних зварних з'єднань раніше не приділялося досить уваги. Відповідно до стандарту 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», під час проведення підготовки до атестації технології лазерного зварювання вимагається виготовлення контрольних зразків зварних з'єднань заданої форми та розмірів. Тому постає проблема розроблення, виготовлення та апробації необхідного для цього технологічного устаткування. Метою роботи було створення уніфікованого технологічного устаткування для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання. Розроблено конструкторську документацію (ескізний проєкт) технологічного устаткування для виготовлення контрольних таврових, кутових, стикових і напусткових зварних з'єднань із різних матеріалів. Згідно з ескізним проєктом виготовлено трубицини, за допомогою яких одержано контрольні зварні з'єднання: стикові та напусткові; таврові; кутові. Функціональні випробування створеного уніфікованого устаткування виконано під час проведення досліджень лазерного зварювання контрольних з'єднань різних типів і виготовлених із різних матеріалів. За результатами проведених функціональних випробувань створеного технологічного устаткування встановлено відповідність контрольним значенням параметрів усіх необхідних характеристик.

Ключові слова: лазерне зварювання, атестація технології, технологічне устаткування, контрольні зварні з'єднання, випробування.

Постановка проблеми. Впровадженню технології лазерного зварювання будь-якого виду продукції передують атестація технології зварювання, яка виконується відповідно до чинного стандарту ДСТУ EN ISO 15607:2019 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Загальні правила». Відповідно до вказаного стандарту передбачено такі способи атестації технології лазерного зварювання: атестація на основі випробування технології зварювання; атестація на основі набутого досвіду у зварюванні; атестація на основі стандартної технології зварювання; атестація на основі довірочного зварювального випробування. За результатами виконання атестації технології зварювання складається відповідний протокол атестації, на підставі якого виробник або експертний орган розробляє технологічну інструкцію лазерного зварювання відповідного виду продукції.

Найбільш поширеним є спосіб атестації на основі випробування технології зварювання. ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променево та лазерно-променево зварювання» регламентує цей процес атестації, а саме – він містить у собі таке: вимоги до кваліфікаційних випробувань; вимоги до форми та розмірів контрольних зварних з'єднань; вимоги до обсягів і видів контролю; вимоги до місця розташування та розмірів дослідних зразків, тощо. Відповідно до цього стандарту вимагається виготовлення зразків заданої форми та з розмірами не менше визначених. Тому постає проблема розроблення та виготовлення технологічного устаткування, необхідного для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Глобальною тенденцією технічного прогресу в економіці найбільш розвинених країн є широке застосування і вдосконалення нових наукоємних перспективних технологій, до яких, зокрема, належать і лазерні технології обробки матеріалів, наприклад лазерне зварювання [1–3]. Використання технологій лазерного зварювання має вирішальне значення для підвищення продуктивності праці та конкурентоспроможності продукції в багатьох галузях промисловості [4–6]. Відмінними рисами застосування лазерів у виробництві є висока якість виробів, висока продуктивність процесів, економія людських і матеріальних ресурсів, екологічна безпека [7–9]. Технології

лазерного зварювання активно застосовуються в електронному машинобудуванні, автомобілебудуванні, атомній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості [1; 3–5; 8–11]. Така різноманітність промислових впроваджень технології лазерного зварювання потребує уніфікації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати досліджень досить розрізнені і погано систематизуються. Вирішенню проблеми створення уніфікованого технологічного устаткування для виготовлення контрольних зварних з'єднань не приділялося досить уваги.

Постановка завдання. Для проведення експериментальних досліджень лазерного зварювання сталей і сплавів авторам роботи необхідно було розробити, виготовити та випробувати уніфіковане технологічне устаткування, необхідне для підготовки контрольних зварних з'єднань для проведення подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виготовлення контрольних зварних з'єднань, що відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, було розроблено ескізний проект уніфікованого технологічного устаткування (струбцини) для виготовлення контрольних таврових, кутових, стикових і напусткових зварних з'єднань із різних матеріалів. На Рис. 1 наведено 3D-моделі розробленого технологічного устаткування.

Згідно з ескізним проектом виготовлено за допомогою механічної обробки (фрезерування, шліфування, свердління тощо) та зварювання три струбцини для одержання контрольних зварних з'єднань: стикових і напусткових (Рис. 2); таврових (Рис. 3); кутових (див. Рис. 4).

Корпус струбцини для зварювання листових зразків встик і внапусток (див. Рис. 1) виготовлений зі сталі 20, товщиною 10 мм, всередині пустотілий, для рівномірної подачі захисного газу. Товщина і марка сталі забезпечує відсутність деформації зразків як у процесі зварювання, так і після нього від залишкових напружень [6; 11]. Технологічне устаткування для зварювання листових зразків у стик і в напусток обладнано системою газового захисту зворотної частини зварюваних зразків, яка забезпечує надійний захист рідкого та гарячого (з температурою понад 500°C) металу від навколишньої атмосфери. Газодинаміка була промодельована у SolidWorks. Попередні результати моделювання уточнювали на експерименті. Як захисний газ можуть застосовуватися різні гази або їхні суміші. Витрати

газу – 4...30 л/хв, за тиску 0,01...0,25 МПа. Система газового захисту зворотної частини зварюваних зразків обладнана штуцером під шланг, діаметром 10 мм (через який подається газ), каналом проходження захисного газу (що унеможливує приварювання зразка до тіла струбцини) і вихідними отворами діаметром 2 мм

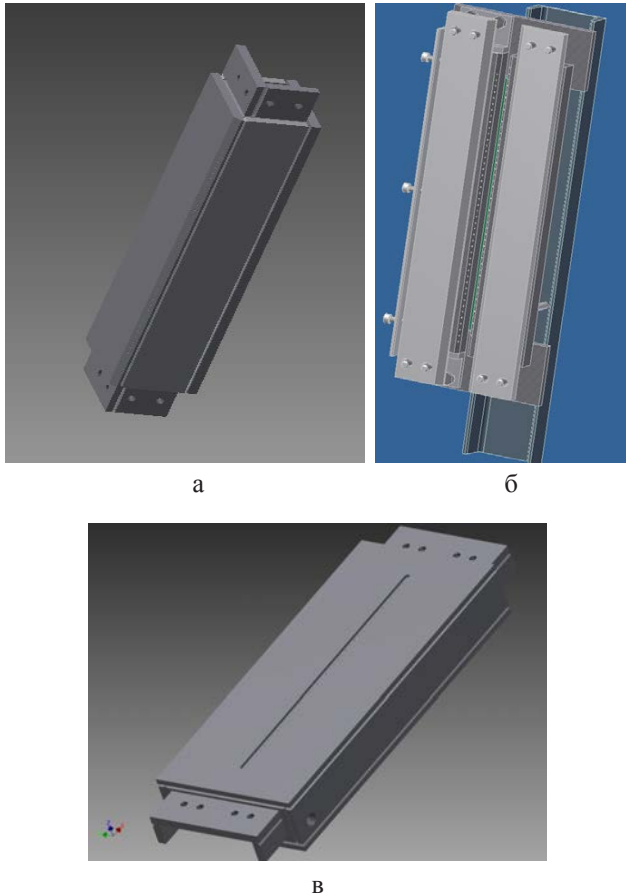


Рис. 1. Модель струбцини для зварювання контрольних зварних з'єднань: а – кутових; б – таврових; в – стикових і напусткових



Рис. 2. Струбцина для зварювання стикових і напусткових контрольних зварних з'єднань

та загальною кількістю 39 шт. (їхня загальна площа – 1,2 см²), вздовж всієї довжини формування зварного шва для подачі захисного газу зі зворотної сторони швів.

Внутрішній об'єм камери цієї струбцини (Рис. 2) 19,0×5,8×48,0 см становить 5289 см³. Габаритні розміри струбцини для зварювання стикових і напусткових зварних з'єднань – 615×215×80 мм. Розмір поверхні під зразки – 505×215 мм. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків розміром не більше 500×100 мм (2 шт.). Зразки для зварних з'єднань прилягають до корпусу в одній площині. Кріплення зварюваних зразків до корпусу забезпечується за допомогою прижимних планок. Для рівномірного притиснення зразка та для того, щоб уникнути його деформування під час зварювання, прижимні планки були виготовлені зі сталі 20. Виготовлено прижимні планки двох типорозмірів, що мають товщини 20 мм та 40 мм і розміри 620×80 мм і 620×70 мм відповідно. Прижимні планки мають скоси 45°...60° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Для кріплення струбцини під час зварювання у вертикальному положенні або під якимось іншим кутом у задній стінці зроблено три отвори під болти з різьбою М10. Конструкція технологічного устаткування забезпечує можливість її ручного транспортування. Маса цієї струбцини становить 30 кг.

Струбцина для зварювання таврових зразків (Рис. 3) розділена на два корпуси, виготовлені з конструкційної сталі Сталь 20, товщиною 10 мм. Перший із них жорстко закріплений на плиті, а другий корпус має можливість переміщення щодо положення першого, в одній площині, для фіксації ребра таврового зварного з'єднання. Діапазон переміщення становить 0...11 мм. Переміщується рухомий корпус за допомогою болтів, встановлених на кронштейні з бокової частини рухомого корпусу по довгій стороні. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків полиці і ребра, розміром не більше 500×200 мм.

Конструкція струбцини для виготовлення контрольних зразків таврових зварних з'єднань (Рис. 3) забезпечує можливість виконання лазерного зварювання прорізним швом, що досягає ребра, зі сторони полиці. Подача захисного газу здійснюється до зворотної частини полиці з обох боків ребра, вздовж всієї довжини формування зварного з'єднання.

Корпуси технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків таврових

зварних з'єднань усередині пустотілі, для рівномірної подачі захисного газу (Рис. 3). Подача захисного газу виконана в кожному із двох корпусів і забезпечує захист зварного з'єднання з обох сторін ребра під полицею. Паз для подачі захисного газу утворений за допомогою скосу кромки (5×5 мм) корпусів під кутом 45°. На скосах зроблено вихідні отвори, діаметром 2 мм та загальною кількістю 39 шт. Поверхні струбцини для зварювання таврових зварних з'єднань нерухомого і рухомого корпусів, на які прилягає полиця зразка для зварювання, є в одній площині (Рис. 3). Граничне відхилення від площини не більше $\pm 0,1$ мм. Ребро таврового з'єднання встановлюється між корпусами в середній частині полиці під кутом 90° до полиці. Кріплення полиці зварюваних зразків до корпусів забезпечено за допомогою прижимних планок. Гарантоване прилягання ребра до полиці забезпечується рухомих корпусом за допомогою прижимної планки і болтів. Прижимні планки, товщиною 40 мм, мають скоси 60° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Внутрішній об'єм камери кожного корпусу 90×16×480 мм становить 619 см³. Розміри струбцини для зварювання таврових зразків 625×255×167 мм. Її маса майже 30 кг. Струбцина може встановлюватись під довільним кутом під час проведення експериментальних досліджень.

Конструкція технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків кутових зварних з'єднань (Рис. 4) складається з пустотілого корпусу (для рівномірної подачі захисного газу), виготовленого зі Сталі 20 товщиною 10 мм. Розмір корпусу забезпечує встановлення зразків, розміром кожної з пластин не більше 500×100 мм. Корпус має дві перпендикулярні грані для встановлення зразків зварних з'єднань. Забезпечується граничне відхилення від перпендикулярності не більше $\pm 0,1$ мм. Зварювання виконується із зовнішньої сторони кута встановлених зразків.

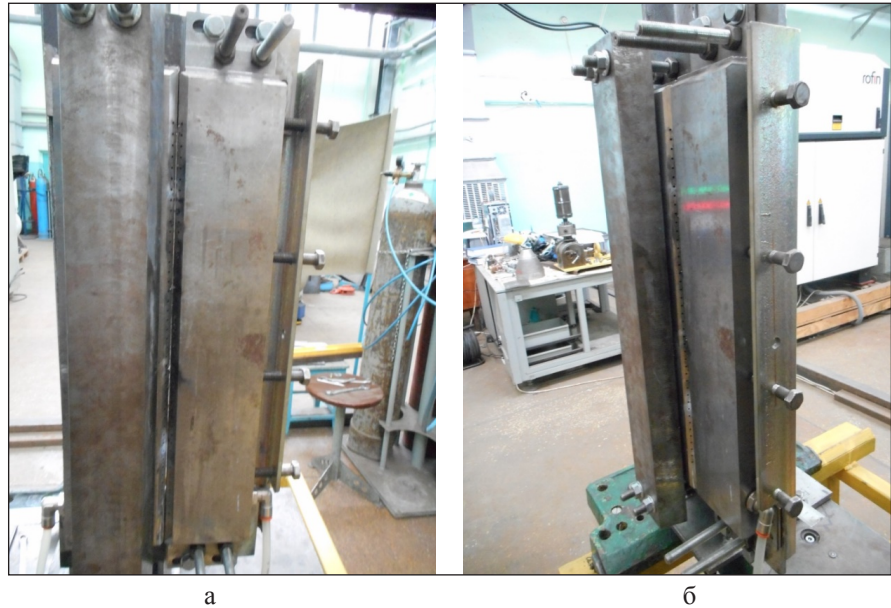


Рис. 3. Зовнішній вигляд струбцини для зварювання таврових зварних з'єднань: а – з лицьової сторони; б – збоку



Рис. 4. Зовнішній вигляд струбцини для зварювання кутових контрольних зварних з'єднань

Для рівномірного прилягання зразка та для того, щоб уникнути його деформування під час зварювання, використовуються прижимні планки, виготовлені зі Сталі 20, товщиною 40 мм (Рис. 4). Прижимні планки мають скоси 45° в сторону шва для забезпечення безперешкодного проходження пристрою газового захисту зварювальної ванни. Система газового захисту зворотної частини зварюваних зразків кутових зварних з'єднань обладнана каналом проходження захисного газу (порожниною під траєкторією шва вздовж усієї довжини формування зварного шва). Паз для подачі захисного газу формується за допомогою скосу кромки (5×5мм) корпусу під кутом 45°. На скосі зроблено вихідні отвори, діаметром 2 і та загальною кількістю 39 шт. Через штуцер під шланг

діаметром 10 мм (внутрішній отвір діаметром 5 мм), який розташований із боку струбцини, забезпечується подача захисного газу зі зворотної сторони зварного з'єднання. Конструкція технологічного устаткування для виготовлення контрольних зразків кутових зварних з'єднань забезпечує можливість його ручного транспортування. Внутрішній об'єм камери струбцини кутової 106×80×480 мм становить 4070 см³. Розміри струбцини кутової – 616×105×105 мм. Маса – 16 кг. Може встановлюватись у різних просторових положеннях.

Функціональні випробування створеного уніфікованого технологічного устаткування виконано [3; 6; 8– 11] під час проведення досліджень із лазерного зварювання контрольних з'єднань різних типів (Рис. 5) і виготовлених із різних матеріалів (Таблиця 1).

За результатами проведених функціональних випробувань створеного технологічного устаткування для виготовлення встановлено відповідність контрольним значенням, параметрів усіх необхідних характеристик створеного устаткування.

Висновки. Створене уніфіковане технологічне устаткування у вигляді спеціалізованих струбцин забезпечує можливість одержання стикових, таврових, кутових і напусткових контрольних зварних з'єднань, що відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, зі сталей і сплавів у широкому діапазоні технологічних параметрів та у різних просторових положеннях. Воно може бути рекомендовано для застосування під час атестації технологій лазерного зварювання різноманітних видів матеріалів і вказаних типів зварних з'єднань у різних галузях промисловості.

Таблиця 1

Приклади застосування уніфікованого технологічного устаткування

№ п/п	Матеріал	Товщина зразків, мм	Призначення	Види контрольних зварних з'єднань
1	Низьколегована конструкційна сталь 09Г2С	3,0 та 4,0	Типові елементи конструкції критих вантажних залізничних вагонів	Стикові, напусткові та таврові
2	Алюмінієвий сплав АМг6	2,0	Макетний зразок новітньої конструкції паливного баку для космічної техніки	Стикові, напусткові, кутові та таврові
3	Корозійностійка нержавіюча сталь AISI 321	0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 3,0	Елементи конструкції макетних зразків ракетно-космічної техніки	Стикові, напусткові, кутові та таврові

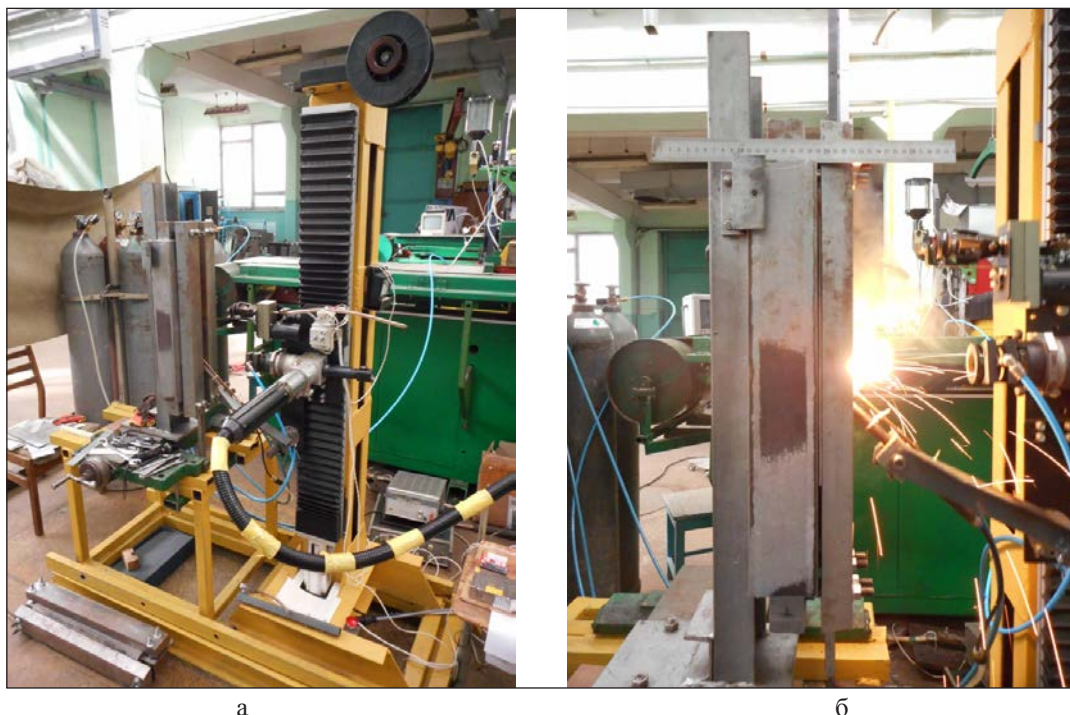


Рис. 5. Функціональні випробування створеного технологічного устаткування для виготовлення таврових контрольних зварних з'єднань: а – устаткування закріплене та адаптоване з елементами лабораторного стенду для лазерного зварювання у різних просторових положеннях [3; 8– 11]; б – процес зварювання

Список літератури:

1. Reitemeyer D. Laser welding of large scale stainless steel aircraft structures. *Physics Procedia*. 2013. Vol. 41. P. 106–111. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.151>
2. Kovács A. Integrated task sequencing and path planning for robotic remote laser welding, *International Journal of Production Research*. 2016. No 54 (4) P. 1210–1224. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1057626>.
3. Бернацький А.В., Шелягін В.Д., Сидорець В.М., Сіора О.В., Шуба І.В., Набок Т.М. Розробка обладнання та створення апаратно-програмного забезпечення реалізації процесу лазерного зварювання конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 5. Ч. 1. С. 1–5. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/01>
4. Viňáš J., Ábel M. Analysis of laser welds on automotive steel sheets *Material Science Forum*. 2015. Vol. 818. P. 239–242. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.818.239>.
5. 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. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7066-6>.
6. 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*. P. 119–128. 2019. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.
7. 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. URL: <https://doi.org/10.3390/app7040376>.
8. Коваленко А.Н., Кирсанов Д.В., Миросиди Н.А., Шелягин В.Д., Сиора А.В., Бернацкий А.В. Разработка новой технологии изготовления сопловых блоков без использования пайки. *Космическая техника. Ракетное вооружение. Space technology. Missile armaments*. 2018. 2. С. 68–76. URL: <https://doi.org/10.33136/stma2018.02.068>.
9. 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. 012–048. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/582/1/012048>.
10. Shelyagin V., Khaskin V., Bernatskyi A., Siора A., Sydorets V., Chinakhov D. Multi-Pass Laser and Hybrid Laser-Arc Narrow-Gap Welding of Steel Butt Joints. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 927. P. 64–71. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.927.64>.
11. Позняков В.Д., Маркашова Л.І., Шелягін В.Д., Жданов С.Л., Бернацький А.В., Берднікова О.М., Сидорець В.М. Опір утворенню холодних тріщин стикових з'єднань високоміцних сталей, одержаних дуговим, лазерним та гібридним лазерно-дуговим зварюванням. *Проблеми міцності*. 2019. No 6. С. 36–47.

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siора O.V., Nabok T.M., Kurilo V.A., Suchek O.M.
CREATING UNIFIED LASER TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR STANDARDIZED WELDED JOINTS

Laser welding technologies are widely used in electronic engineering, automotive, nuclear, space, aviation, shipbuilding and other industries. Such a variety of industrial applications of laser welding technology requires unification in the manufacture of welded joints for testing. However, the results of the studies are quite different and not subject to systematization. Solving the problem of creating specialized technological equipment for the manufacture of welded joints for testing not previously been given enough attention. In accordance with the DSTU EN ISO 15614-11:2015 “Technical conditions and certification of technology of welding of metal materials. Testing of welding processes. Part 11. Electron-beam and laser-beam welding” standard, preparation to certification for laser welding technology requires the production of test specimens of welded joints of certain shapes and sizes. Therefore, there is a problem of designing, manufacturing and testing the necessary technological equipment. The purpose of the work was to create unified technological equipment for the preparation of welded joints for further certification of laser welding technology. Design documentation (sketch design) of technological equipment for production of tested T-, angular, butt and overlap welded joints from different materials has been developed. According to the sketch design clamps were made, by means of which the welded joints (butt and overlap; T-; angular) for testing were obtained. Functional tests of the created unified equipment were carried out during the research of laser welding of tested samples of different types and made of different materials. According to the results of the functional tests of the created technological equipment, compliance with the certain values of the parameters of all necessary characteristics is revealed.

Key words: laser welding, certification of technology, technological equipment, welding joints, testing.