

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ І ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

А.В. Бернацький, О.В. Сіора, В.І. Бондарєва, Н.О. Шамсутдінова, Ю.В. Юрченко

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Тонкостінні зварні з'єднання корозійностійких високолегованих сталей використовуються у різних галузях промисловості для виготовлення відповідальних конструкцій. Тенденція до зменшення ваги виробів з метою економії витрат та збереження енергоресурсів, надає актуальності пошуку способів вирішення задачі зварювання таких з'єднань, у тому числі за допомогою концентрованих джерел енергії, таких як лазерне випромінювання. Застосування лазерних технологій при зварюванні тонкостінних з'єднань з високолегованих сталей може бути використаним не тільки на стадії виготовлення, але й на стадії ремонту. Висока вартість обробки таких матеріалів зумовлює актуальність проблеми пошуку шляхів уникнення утворення дефектів у таких зварних з'єднаннях. Водночас актуальним є завдання розробки технологій ремонту тонкостінних зварних з'єднань, виконаних з високолегованих сталей. Саме вирішенню цього завдання шляхом застосування технологій лазерного зварювання та наплавлення присвячена дана стаття. За результатами візуального, радіографічного контролю, металографічних досліджень виконана оцінка параметрів тонкостінних таврових зварних з'єднань сталі AISI 321, а саме: геометрії, лускатості, наявності кратерів, пор, їх кількості, розмірів, взаємного положення та інших параметрів, що передбачені стандартом ДСТУ EN ISO 13919-1:2015. Аналіз одержаних даних дозволив встановити наявність окремих дефектів зварних таврових з'єднань у вигляді одиночних пор, ланцюгу пор, несплавлення, заниження шва, непроварів, усадочних раковин та раковин в кратері, підрізів, перевищення випуклості. Розроблено методику їх усунення та запобігання їх утворенню. Встановлено, що тонкостінні таврові зварні з'єднання сталі AISI 321 після ремонту за запропонованою методикою мають механічні характеристики на рівні бездефектних зварних з'єднань і становлять 670...717 МПа. Це дозволяє рекомендувати запропоновану методику для виконання операції ремонту таких з'єднань при усуненні дефектів у вигляді прожогів. Бібліогр. 12, табл. 2, рис. 11.

Ключові слова: лазерне зварювання, високолеговані сталі, таврові зварні з'єднання, ремонт, методики усунення дефектів, відповідальні конструкції

Вступ. У багатьох галузях промисловості широко використовуються конструкції з корозійностійких високолегованих сталей малих товщин (0,1...2,0 мм) [1–3]. Стикові, таврові, кутові зварні з'єднання тонкого метала застосовуються розробниками і виробниками різного роду приладів для доставки, перерозподілу потоків, вимірювання тиску і витрат рідин і газів, які використовуються в атомній промисловості, автомобілебудуванні, ракетобудуванні [4–6]. Призначення і умови роботи даних виробів пред'являють до них свої специфічні вимоги. Досить часто зварне з'єднання повинне мати не тільки достатню міцність, а й бути герметичним. Робота в агресивному середовищі при високих температурах вимагає підвищеної корозійної стійкості. Крім того, дані вироби повинні мати підвищену надійність. Це викликано тим, що вони, як правило, використовуються у відповідальних вузлах, що, перш за все, стосується до виробів авіаційної і космічної техніки, атомної енергетики [7–9].

Зварні з'єднання таких деталей можливо отримувати за допомогою різних способів зварювання. Основними з них є аргонодугове [6], мікроплазмове, контактнo-роликoве, електронно-променеве і лазерне зварювання [10–12]. Останнє відноситься до найбільш прийнятних для розв'язання задач одержання з'єднань малих товщин. Для лазерного зварювання не потрібні вакуумні камери, як для електронно-променевого, воно дозволяє одержувати більш вузькі шви порівняно з дуговими способами, дозволяє здійснювати прецизійне регулювання технологічних параметрів, відрізняється високою стабільністю і дозволяє отримувати задовільні експлуатаційні характеристики шва при зварюванні тонкого металу.

Однак при одержанні зварних з'єднань тонкостінних сталей виникають певні технічні проблеми. У разі надлишкового тепловкладання, що виникає при зварюванні тонкостінних деталей, або одержання достатньо широких швів, вини-

Бернацький А.В. – <https://orcid.org/0000-0002-8050-5580>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57212263637>
Сіора О.В. – <https://orcid.org/0000-0003-1927-790X>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26428932000>
Бондарєва В.І. – <https://orcid.org/0000-0002-4745-0995>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58026278400>
Шамсутдінова Н.О. – <https://orcid.org/0000-0002-3525-0080>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57331245800>
Юрченко Ю.В. – <https://orcid.org/0000-0001-9253-009X>

© А.В. Бернацький, О.В. Сіора, В.І. Бондарєва, Н.О. Шамсутдінова, Ю.В. Юрченко, 2023

кають залишкові деформації зварних конструкцій [11]. Особливо чітко це виявляється при зварюванні аустенітних корозійностійких сталей, що мають малу теплопровідність і високий коефіцієнт лінійного розширення [1, 3, 7]. Це підсилює викривлення і деформування крайок тонкостінних деталей під час зварювання. В результаті цього збільшуються зазори між зварюваними поверхнями, і, як наслідок, при зварюванні виникають дефекти у вигляді прожогів, несплавлення, непроварів, а геометрія зварного з'єднання стає нестабільною.

Висока вартість обробки таких матеріалів зумовлює актуальність проблеми пошуку шляхів уникнення утворення дефектів у таких зварних з'єднаннях. Водночас актуальним є завдання розробки технологій ремонту тонкостінних зварних з'єднань, виконаних з високолегованих сталей. Саме вирішенню цього завдання шляхом застосування технологій лазерного зварювання та наплавлення присвячена дана стаття.

Матеріал та методики дослідження. Матеріалом дослідження (табл. 1) слугувала високолегована сталь AISI 321. Зразки виготовляли з листа завтовшки 1,2 мм. Розмір заготовки ребра таврового з'єднання – 320×100 мм; розмір заготовки полки таврового з'єднання 300×200 мм.

Відпрацювання режимів ремонту зварних з'єднань. Лазерне зварювання таврових зварних з'єднань сталі AISI 321 з товщиною полки та ребра 1,2 мм виконували «на підйом» у вертикальному положенні за один прохід прорізним швом в імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання на лабораторному стенді, показаному на рис. 1.

Параметри режимів зварювання були наступними: максимальна потужність лазерного випромінювання $P_{max} = 4,4$ кВт; середня потужність лазерного випромінювання $P_{cp} = 3,2$ кВт; тривалість імпульсу $T = 75$ %; частота проходження імпульсів лазерного випромінювання 250 Гц; фокусна відстань лінзи $F = 300$ мм; підйом фокусу лазерного випромінювання над зварюваною поверхнею $\Delta F = +2$ мм; швидкість зварювання $V_{zv} = 4000$ мм/хв. Вибір даного режиму обумовлений найбільш стабільним формуванням з обох сторін галтелей між полкою та ребром таврового з'єднання, при забезпеченні необхідної геометрії зварного з'єднання і високого рівня механічних характеристик.

Характерні дефекти зварних з'єднань нормовані стандартами ДСТУ EN ISO 13919-1:2015 «Зварювання. З'єднання, виконані електронно-променевим та лазерним зварюванням. Настанова щодо

оцінювання рівня якості залежно від дефектів. Частина 1. Сталь» та ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням». Згідно з цими стандартами рекомендуються три рівні якості з'єднань: помірний «D», середній «C» і високий «B».

За результатами візуального, радіографічного контролю виконана оцінка параметрів тонкостінних таврових зварних з'єднань сталі AISI 321, а саме: геометрії, лускатості, наявності кратерів, пор; їх кількості, розмірів, взаємного положення та інших параметрів, що передбачені стандартом ДСТУ EN ISO 13919-1:2015.

Виконана оцінка одержаних даних дозволила встановити можливість утворення окремих дефектів у таврових зварних з'єднаннях. А саме, одиночних пор, ланцюгу пор, несплавлення, заниження шва, непроварів, усадочних раковин та раковин в кратері, підрізів, перевищення випуклості. Розроблено методику їх усунення та запобігання їх утворенню, яка має наступний зміст:

для усунення дефектів у вигляді пор, ланцюгу пор, несплавлення, заниження шва, непроварів – переварювання шва з додаванням присаджувального матеріалу (за необхідністю);

для запобігання утворенню усадочних раковин та раковин в кратері – використання вивідних планок; використання програмного управління плавного зростання потужності лазерного випро-

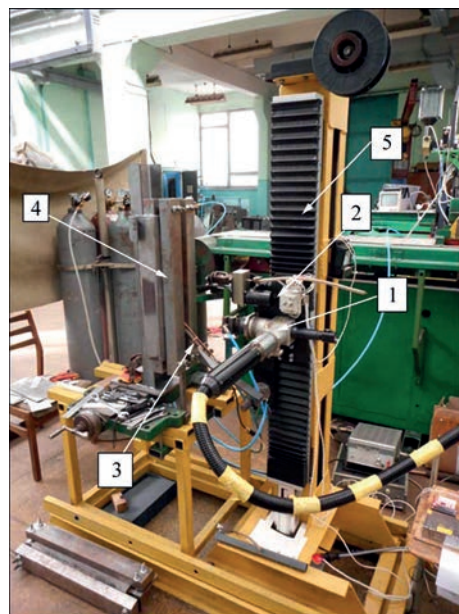


Рис. 1. Частина лабораторного стенду для відпрацювання технологічних прийомів лазерного зварювання у вертикальному просторовому положенні: 1 – головка для лазерного зварювання; 2 – каретка маніпулятора; 3 – газовий захист; 4 – трубуцина; 5 – балка маніпулятора (вісь Z)

Таблиця 1. Хімічний склад сталі AISI 321, мас. %

Марка сталі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Fe
AISI 321	<0,1	<0,8	1...2	10...11	<0,2	<0,035	17...19	<0,6	Основа

мінювання на початку зварювання та плавного спадання наприкінці зварювання;

для усунення підрізів, перевищення випуклості – виконання додаткового переплавлення розфокусованим променем.

Проведено дослідження з розгляду варіантів ремонту дефектів у вигляді прожогів (проплавів) і тріщин. Розглянуто варіанти застосування присадних матеріалів у вигляді порошку і тонкої стрічки. При ремонті в якості присаджувального матеріалу використовували стрічку завтовшки 0,25 мм зі сталі AISI 321 та наплавочний порошок фракцією «150 + 53» марки «16316» виробництва компанії «Castolin Eutectic» з наступним хімічним складом, %: Fe – основа; 0,03 C; 17,5 Cr; 13 Ni; 2,7 Mo.

Нижче розглянуто методику ремонтної обробки на прикладі усунення дефекту у вигляді прожогу у тавровому зварному з'єднанні. Ремонтні були піддані дефектні ділянки зразка.

В результаті проведених робіт встановлено, що при наявності дефектних ділянок з прожогами в місці зварювання зварні з'єднання повинні бути відремонтовані за наступною методикою, а саме (наведені дані для ремонту дефекту розміром 1,5×1,5 мм, як для такого, що найбільш часто зустрічається серед виявлених при візуальному контролі отриманих зварних з'єднань):

- механічна обробка (зачистка) місця ремонту;
- безпосередньо перед ремонтом очищення ацетоном;
- установка ремонтної латки зі сталі AISI 321 (завтовшки $\delta = 0,25$ мм) з площею на 30...50 % більше площі дефекту;
- лазерне ремонтне точкове зварювання на режимі: розфокусування лазерного випромінювання $\Delta F = 30$ мм, потужність лазерного випромінювання $P = 1$ кВт, час впливу (витримки) 0,5 с;
- механічна обробка (зачистка) місця ремонту після зварювання;
- безпосередньо перед наступною операцією ремонту очищенням ацетоном;
- нанесення необхідного обсягу присаджувального матеріалу у вигляді порошку (використовували порошок фракцією «150 + 53» марки 16316 виробництва компанії «Castolin Eutectic»; допускається використання аналога порошку, близького за складом і властивостями до основного матеріалу);
- виконання ремонтного наплавлення для усунення заниження шва (формування достатнього посилення верхнього валика) на режимі: розфокусування лазерного випромінювання $\Delta F = +30$ мм, потужність лазерного випромінювання $P = 1$ кВт, час впливу (витримки) 0,5 с.

Виконання операції ремонту за наведеною вище методикою дозволяє: усунути нещільності

у таврових зварних з'єднаннях; сформувати галтели по обидва боки ребра у таврових з'єднаннях; сформувати необхідне посилення верхнього валика шва.

Металографічні дослідження одержаних зварних з'єднань після ремонту. Проведено дослідження структури у тавровому зварному з'єднанні після виконання ремонту за наведеною вище послідовністю операцій. З відремонтованого таврового з'єднання з заплавленим дефектом у вигляді прожога вирізали темплет, який фіксували в металевій оправці заливкою латокрілом. Після механічної обробки (шліфування та полірування) зразок був досліджений методами оптичної мікроскопії та мікродюрOMETричного аналізу.

Досліджуване з'єднання являє собою тавр, що складається з ребра і полки (рис. 2).

Лита структура зварного шва практично однакова по всій площі з'єднання як у базовому шві, так і в ремонтній частині (рис. 3 та 4).

На кордоні шва ремонтного зварювання виявлена зона, що лишається світлою після травлення з твердістю у верхній частині $HV1 - 3090...3510$ МПа, а з боку полки – $HV1 - 4010...4210$ МПа. Тоді як твердість металу шва ремонтного зварювання в середньому становить $HV1 - 3510...3830$ МПа, з окремими ділянками зі зниженою до $HV1 - 3140...3362$ МПа і підвищеною до $HV1 - 4010$ МПа твердістю.

Структура базового шва та шва після ремонтного зварювання аустенітна з δ -феритом ймовірно містить мартенсит (рис. 5 та 6).

Про наявність мартенситу свідчить підвищена твердість і наявність рельєфу в тілі кристалітів (рис. 7). Це припущення потребує перевірки локальними методами досліджень.

Структура шва у лінії сплавлення з ребром дрібніша в порівнянні з рештою шва (рис. 8) і являє собою аустеніт і δ -ферит, ширина цієї ділянки ~ 100 мкм. Твердість тут трохи нижча, ніж на інших ділянках шва – $HV1 - 2740$ МПа.

Структура ЗТВ металу ребра – аустеніт і δ -ферит. Розмір зерна аустеніту в ЗТВ не змінився в порівнянні з основним металом (рис. 8). На відстані до

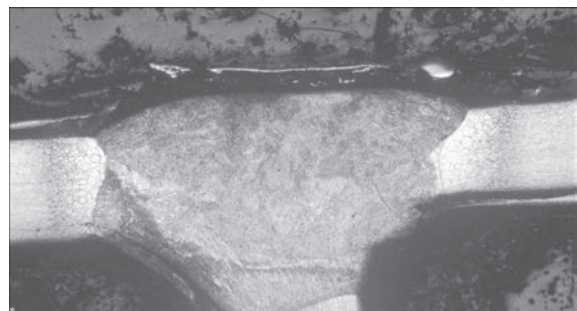


Рис. 2. Загальний вигляд таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання ($\times 25$)

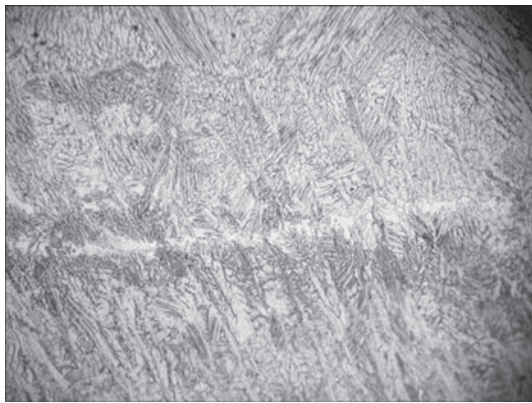


Рис. 3. Лінія сплавлення металу шва таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання ($\times 200$)

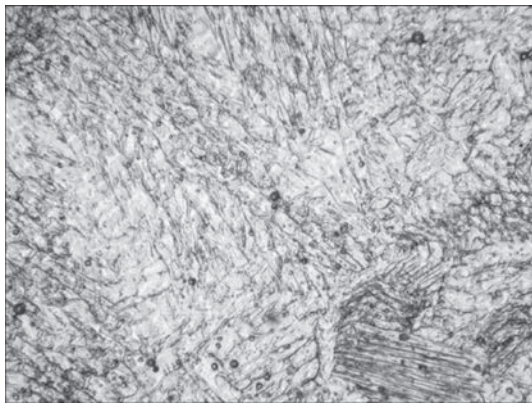


Рис. 4. Мікроструктура ($\times 500$) литого металу шва у тавровому з'єднанні з ремонтним зварюванням, загальний вигляд

50 мкм від лінії сплавлення збільшилася кількість δ -фериту. Твердість на цій ділянці $HV1 - 2450$ МПа.

Структура ЗТВ полки також складається з аустеніту і δ -фериту (рис. 9), але відрізняється більшим зерном аустеніту – бал № 4,5 (ГОСТ 5639-82). На межі зерен аустеніту (рис. 10) виділяється δ -ферит, ширина ділянки перегріву крупного зерна ~ 400 мкм. Твердість ЗТВ на ділянці перегріву становить $HV1 - 2740 \dots 3090$ МПа.

Після ремонтного зварювання не виявлено дефектів на ділянках базового та ремонтного швів та ЗТВ. Структура основного металу двофазна аустенітно-феритна. Уздовж напрямку прокату виділяється δ -ферит, твердість $HV1 - 2060 \dots 2580$ МПа.

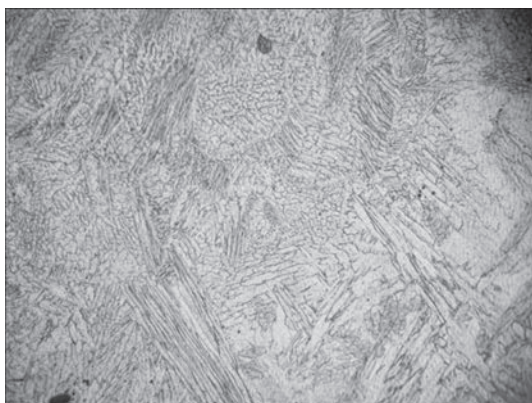


Рис. 5. Мікроструктура ($\times 200$) металу ремонтного зварювання



Рис. 6. Мікроструктура ($\times 200$) металу початкового шва і ЗТВ в ребрі таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання

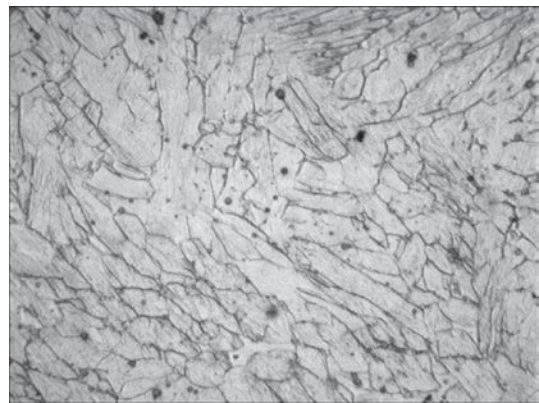


Рис. 7. Мікроструктура ($\times 1000$) металу ремонтного зварювання (рельєф)

Механічні випробування на статичний розтяг зразків таврових зварних з'єднань після ремонту. Проведено випробування на статичний розтяг зварних зразків після ремонту. Випробування проводили на зразках таврових з'єднань в кількості 6 штук, вирізаних з різних досліджуваних з'єднань. Для імітації дефектів у вигляді прожогів були виконані засвердлювання (від 1 до 3 штук на довжині 20 мм) в зразках, підготовлених для проведення випробувань на статичний розтяг. Імітовані таким чином дефекти ремонтували точковим порошковим лазерним наплавленням (рис. 11).

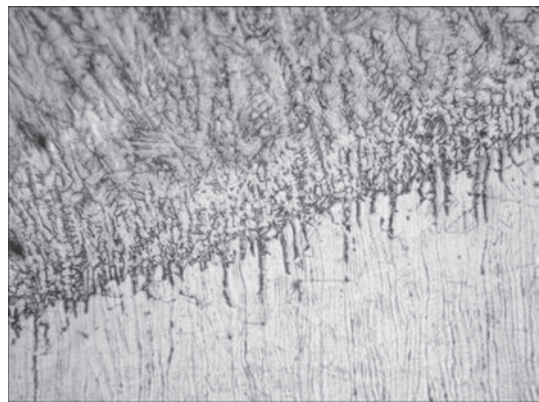


Рис. 8. Мікроструктура ($\times 500$) металу вихідного початкового шва і ЗТВ ребра таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання

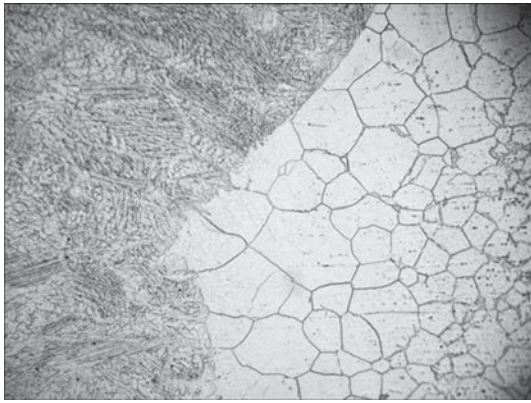


Рис. 9. Мікроструктура ($\times 200$) металу ЗТВ і лінія сплавлення з полкою таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання

Результати випробувань на статичний розтяг зразків з відремонтованими точковими дефектами наведені в табл. 2.

Як показують результати проведених випробувань на статичний розтяг зразків, з відремонтованими точковими дефектами значення межі міцності σ_b для всіх випробуваних відремонтованих зварних з'єднань не нижче показників, отриманих для базових зварних з'єднань без ремонту та основного матеріалу зразків (межа міцності σ_b базових зварних з'єднань 665...712 МПа; межа міцності σ_b основного матеріалу зразків 685...725 МПа). Ці результати дозволяють стверджувати, що механічні властивості зварних з'єднань, отриманих після ремонту за за-

Таблиця 2. Результати випробувань на статичний розтяг зразків з відремонтованими точковими дефектами

Номер	Ширина, мм	Товщина, мм	σ_b , МПа	Місце руйнування
1	25,3	1,2/1,2	717	Руйнування по ОМ
2	25,5	«-»	670	Руйнування по шву
3	25,2	«-»	684	«-»
4	25,1	«-»	672	Руйнування по ОМ
5	24,9	«-»	694	«-»
6	25,3	«-»	715	«-»

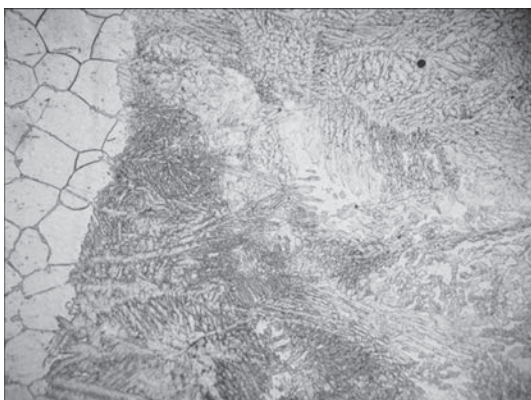


Рис. 10. Мікроструктура ($\times 200$) металу шва і ЗТВ полки таврового зварного з'єднання після ремонтного зварювання



Рис. 11. Фото зразка для випробувань на статичний розтяг відремонтованими двома точковими дефектами

пропонованою методикою, задовольняють вимогам стандартів ДСТУ EN ISO 13919-1:2015 та ДСТУ EN ISO 6520-1:2015, які пред'являються до зварних з'єднань, отриманих зварюванням плавленням.

Висновки

За результатами візуального, радіографічного контролю, металографічних досліджень виконана оцінка параметрів тонкостінних таврових зварних з'єднань сталі AISI 321, а саме: геометрії, лускатості, наявності кратерів, пор; їх кількості, розмірів, взаємного положення та інших параметрів, що передбачені стандартом ДСТУ EN ISO 13919-1:2015. Аналіз одержаних даних дозволив встановити наявність окремих дефектів зварних таврових з'єднань у вигляді одиночних пор, ланцюгу пор, несплавлення, заниження шва, непроварів, усадочних раковин та раковин в кратері, підрізів, перевищення випуклості. Розроблено методику їх усунення та запобігання їх утворенню.

Встановлено, що тонкостінні таврові зварні з'єднання сталі AISI 321 після ремонту за запропонованою методикою мають механічні характеристики на рівні бездефектних зварних з'єднань і становлять 670...717 МПа. Це дозволяє рекомендувати запропоновану методику для виконання операції ремонту таких з'єднань при усуненні дефектів у вигляді прожогів.

Список літератури/References

- Soltani, H. M., Tayebi, M. (2018) Comparative study of AISI 304L to AISI 316L stainless steels joints by TIG and Nd: YAG laser welding. *Journal of Alloys and Compounds*, 767, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.302>
- Ramakrishna R. V.S.M., Amrutha, P.H.S.L.R., Rahman Rashid, R.A., Palanisamy, S. (2020) Narrow gap laser welding (NGLW) of structural steels – a technological review and future research recommendations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111, 2277–2300. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06230-9>
- Khokhlov, M., Bernatskyi, A., Berdnikova, O. et al. (2022) Optimization of T-Joints laser robotic welding procedure parameters from AISI 321 stainless steel. In: Arsenyeva, O.,

- Romanova, T., Sukhonos, M., Tsegelnyk, Y. (Eds.) Smart Technologies in Urban Engineering: *Proceedings of STUE-2022* (pp. 513–524). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_47
4. Khaskin, V.Yu., Korzhyk, V.M., Dong, C., Illyashenko, E.V. (2020) Improvement of the effectiveness of laser welding processes by reciprocating movement of the focus. *The Paton Welding J.*, **1**, 54–60. <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.01.08>
 5. Bernatskyi, A., Sydorets, V., Berdnikova, O. et al. (2021) Research of technology for repair of heat exchangers of nuclear power plants by laser welding. *Solid State Phenomena*, **313**, 94–105. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.313.94>
 6. Bernatskyi, A., Goncharov, P., Sokolovskyi, M. et al. (2023) Spot welded joints of steels produced by electric arc and laser welding in different spatial positions. In: H. Altenbach, et al. (Eds.) *Advances in Mechanical and Power Engineering. CAMPE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 198–207). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_20
 7. Krivtsun, I.V., Korzhik, V.N., Khaskin, V.Y. et al. (2019) Hybrid laser-microplasma welding of stainless steels. *The Paton Welding J.*, **12**, 31–36. <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.12.04>
 8. Wang, L., Gao, X., Kong, F. (2022) Keyhole dynamic status and spatter behavior during welding of stainless steel with adjustable-ring mode laser beam. *Journal of Manufacturing Processes*, **74**, 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.12.011>
 9. Das Banik, S., Kumar, S., Singh, P. K., Bhattacharya, S. (2023). Influence of weld repair on the residual stresses induced in austenitic stainless steel weld joints. *Production Engineering*, **17**(1), 81–94. <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01156-5>
 10. Chen, Z., Sun, W., Huang, Y. et al. (2022) The effect of laser energy density on microstructural evolution and mechanical properties of laser clad 316L stainless steel for repair. *Surface and Coatings Technology*, **448**, 128899. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128899>
 11. Zhu, J., Li, L., Li, D. et al. (2022) Microstructural evolution and mechanical properties of laser repaired 12Cr12Mo stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, **830**, 142292. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142292>
 12. Sheikhabaee, H., Mirahmadi, S.J., Pakmanesh, M.R., Asghari, S. (2022) Investigating sensitivity to process parameters in pulsed laser micro-welding of stainless steel foils. *Optics & Laser Technology*, **148**, 107737. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107737>

USE OF LASER WELDING AND SURFACING TECHNOLOGIES FOR REPAIR AND MANUFACTURE OF THIN-WALLED WELDED JOINTS OF HIGH-ALLOY STEELS

A.V. Bernatsky, O.V. Siora, V.I. Bondareva, N.O. Shamsutdinova, Yu.V. Yurchenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Thin-walled welded joints of corrosion-resistant high-alloy steels are used in various industries for the manufacture of critical structures. The tendency to reduction in the mass of products in order to save costs and energy resources makes it relevant to find the ways to solve the problem of welding such joints, including also the use of concentrated power sources such as laser radiation. The use of laser technologies in welding thin-walled joints of high-alloy steels may be applied not only at the manufacturing stage but also at the stage of repair. The high cost of treatment of such materials makes the problem of finding the ways to avoid the formation of defects in such welded joints relevant. At the same time, it is urgent to develop technologies for repair of thin-walled welded joints made of high-alloy steels. The article is devoted to the solution of this task namely by using laser welding and surfacing technologies. According to the results of visual, radiographic testing and metallographic examinations, the parameters of thin-walled welded T-joints of AISI 321 steel were evaluated, namely: geometry, ripple, presence of craters, pores, their quantity, sizes, mutual position and other parameters provided by ISO 13919-1:2015 standard. The analysis of the obtained data made it possible to find the presence of individual defects of welded T-joints in the form of single pores, chain of pores, lacks of fusion, lowering of the weld, lacks of penetration, shrinkage cavities and cavities in the crater, undercuts, excess of convexity. The procedure for their elimination and prevention of their formation was developed. It was established that thin-walled welded T-joints of AISI 321 steel after repair according to the proposed procedure have mechanical characteristics at the level of defect-free welded joints and amount to 670...717 MPa. This allows recommending the proposed procedure to perform the operation of repair of such joints when eliminating defects in the form of burn-outs. 12 Ref., 2 Tabl., 11 Fig.

Keywords: laser welding, high-alloy steels, welded T-joints, repair, procedures of defects elimination, critical structures

Надійшла до редакції 21.06.2023

19-та Міжнародна конференція з моніторингу технічного стану 12–14 вересня 2023 року, Нортгемптон, Велика Британія

Конференцію організовано BINDT у тісному партнерстві з Міжнародним товариством моніторингу стану (ISCM) і Товариством США з технології запобігання відмовам машин (MFPT). Таке поєднання зусиль цих провідних організацій створює одну з найбільших подій такого роду на дійсно міжнародному рівні та базується на дуже успішних 18-и міжнародних конференціях з моніторингу стану, організованих BINDT, Першому Всесвітньому конгресі з CM у 2017 році, організованому BINDT і ISCM та 71-й щорічній конференції, організованій Товариством MFPT.

Щорічна конференція Інституту з моніторингу стану дає можливість усім, хто займається моніторингом стану, зустрітися в комфортній обстановці, повчитися у видатних людей у своїй галузі і обмінятися новинами та думками з колегами, а також є час для відновлення дружби та створення нових знайомств. Завдяки численним паралельним технічним презентаціям, постерним сесіям і громадським заходам з місцевим колоритом, бізнес і відпочинок поєднуються, щоб гарантувати, що справді знайдеться щось для кожного.

