

# ВПЛИВ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ ЗВАРЮВАННІ НА РІВЕНЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗІ СТАЛІ AISI 321

А.В. Бернацький, В.Д. Шелягін, О.В. Сіора, В.М. Сидорець, О.М. Берднікова

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

Метою дослідження було встановлення впливу просторового положення при лазерному зварюванні корозійностійкої жароміцної аустенітної сталі AISI 321 на мікроструктуру та рівень якості зварних з'єднань. У пластинах товщиною 3 мм робили провари при різних кутах нахилу до горизонтальної площини. Лазерне зварювання виконували «на підйом» та «на спуск», при неперервному та імпульсному режимах генерації лазерного випромінювання. За результатами візуального, радіографічного контролю та аналізу даних металографічних досліджень виконували оцінку рівня якості одержаних зразків на відповідність вимогам діючих стандартів. При зварюванні «на підйом» та «на спуск» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання, при всіх кутах нахилу, не було виявлено внутрішніх дефектів у вигляді тріщин, пор та включень. Встановлено тенденцію збільшення як кількості, так і розміру пор, при зменшенні кута нахилу від 90 до 0° при зварюванні «на спуск» та «на підйом» в імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання. За даними металографічних досліджень у структурі зварних з'єднань, одержаних у різних просторових положеннях у сталі AISI 321 товщиною 3 мм, суттєвих відмінностей не спостерігається. При різних значеннях кута нахилу мікротвердість та розміри кристалітів відрізняються приблизно на 10 %. Натомість форма шва одержаних проварів відрізняється досить суттєво. Вперше одержано залежності показників якості зварних з'єднань зі сталі AISI 321 при лазерному зварюванні для різних просторових положень. Одержані залежності дозволяють визначити тенденції зміни форми та якості зварних з'єднань при зміні просторового положення або технологічних параметрів процесу лазерного зварювання. Бібліогр. 13, табл. 2, рис. 6.

*Ключові слова:* лазерне зварювання; корозійностійка сталь; жароміцна сталь; аустенітна сталь; технологічні параметри; просторове положення; якість; структура; пористість

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка задачі.** Номенклатура виробів для енергетики, авіакосмічної, хімічної, харчової та інших галузей промисловості включає деталі як малого, так і великого розміру із корозійностійких жароміцних сталей [1–3]. Їх конструкція часто має складну просторову форму із криволінійними профілями поверхні. Тому виникає потреба виконання різноманітних видів зварних з'єднань таких конструкцій у різних просторових положеннях [4–6]. У таких умовах треба не тільки враховувати фізичні ефекти, які супроводжують зварювання, але і намагатися задіяти їх на користь. Наприклад, враховуючи сили гравітації та поверхневого натягу можливо впливати на ступінь розкриття каналу проплавлення при переміщенні зварювальної ванни у різних напрямках [7]. Світові тенденції показують все більш широке застосування технологій лазерного зварювання для виготовлення таких конструкцій [8–10]. За допомогою сканування, регулювання швидкості переміщення та імпульсного керування потужністю лазерного випромінювання, можливо впливати на вкладення тепла у зону обробки та на стабільність формування каналу про-

плавлення і ступінь поглинання випромінювання у приповерхневій плазмі [7, 11–13]. Таким чином, виникає задача врахування вищезгаданих особливостей, що повинно дозволити отримати сукупність необхідних показників процесу лазерного зварювання у різних просторових положеннях.

Відсутність знань про залежність форми шва та характеристик зварних з'єднань від просторового положення не дозволяє визначити технологічні параметри лазерного зварювання, які є найбільш раціональними з точки зору досягнення високої якості та відповідності вимогам діючих стандартів.

Метою дослідження було встановлення впливу просторового положення при лазерному зварюванні корозійностійкої жароміцної аустенітної сталі AISI 321 на рівень якості та структуру зварних з'єднань.

**Методи, об'єкт та предмет дослідження.** Об'єктом досліджень виступав процес лазерного зварювання сталі AISI 321 у різних просторових положеннях.

Предметом дослідження є вплив просторового положення при лазерному зварюванні сталі

А.В. Бернацький – <http://orcid.org/0000-0002-8050-5580>, В.Д. Шелягін – <http://orcid.org/0000-0001-8153-6533>,  
О.В. Сіора – <http://orcid.org/0000-0003-1927-790X>, В.М. Сидорець – <http://orcid.org/0000-0002-8498-4726>  
О.М. Берднікова – <http://orcid.org/0000-0001-9754-9478>

© А.В. Бернацький, В.Д. Шелягін, О.В. Сіора, В.М. Сидорець, О.М. Берднікова, 2020

AISI 321 на рівень якості та структуру зварних з'єднань.

Рівень якості зварних з'єднань визначали за 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», згідно якому встановлено три рівня якості, що відповідають певному діапазону гранично допустимих розмірів дефектів і відносяться до зварних з'єднань.

Матеріалом дослідження були пластини розміром 300×100×3 мм з корозійностійкої жароміцної аустенітної сталі AISI 321 (аналог 12X18H10T) з межою міцності  $\sigma_b = 520...560$  МПа та наступним хімічним складом, мас. %: до 0,12% С; до 0,8% Si; 1...2% Mn; 10...11% Ni; до 0,2% S; до 0,035% P; 17...19% Cr; до 0,6% Ti; Fe – залишок).

Згідно з методикою експерименту, дослідження з лазерного зварювання в різних просторових положеннях проводили з використанням лабораторного стенду (рис. 1), який був змонтований на базі Nd: YAG-лазера «DY044» виробництва фірми «ROFIN-SINAR» (Німеччина).

По схемі, що наведена на рис. 2, у пластинах зі сталі AISI 321 робили провари, при різних кутах нахилу  $\alpha$  до горизонтальної площини механізму переміщення лазерної головки та струбцини зі зразком, а саме: у нижньому положенні; у вертикальному положенні; під кутами 60; 45; 30°. В усіх варіантах (крім нижнього положення), зварювання проводили «на підйом» (рис 2, а) та «на спуск» (рис. 2, б). Зварювання виконували у неперервному та імпульсному режимах генерації лазерного випромінювання на попередньо обраних режимах зварювання. Кут падіння лазерного випромінювання  $I$  на пластину 2 (рис. 2) залишався незмінним при різних просторових положеннях та становив 90°.

За результатами візуального, радіографічного контролю та металографічних досліджень одержаних зразків виконували оцінку їх рівня якості



Рис. 1. Лабораторний стенд для лазерного зварювання в різних просторових положеннях

на відповідність вимогам стандарту ДСТУ EN ISO 13919–1:2015.

**Технологічний експеримент та його результати.** При неперервному режимі генерації лазерного випромінювання технологічні параметри процесу зварювання були наступними: потужність лазерного випромінювання 4,4 кВт; швидкість зварювання 100 мм/с, заглиблення положення фокальної площини лінзи відносно поверхні зразків, що зварюються, 1 мм; витрати захисного газу (аргону) 500 см<sup>3</sup>/с.

При імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання технологічні параметри процесу зварювання були наступними: максимальна потужність лазерного випромінювання 4,4 кВт, відношення тривалостей імпульсу та паузи (прогальність) 1,67; частота слідування імпульсів 120 Гц; інші параметри аналогічні режимам зварювання при неперервному режимі генерації лазерного випромінювання.

За результатами візуального контролю одержаних проварів у зразках зі сталі AISI 321 встановлено наступне:

– в залежності від напрямку руху спостерігаються значні відмінності у зовнішньому вигляді поверхні шва, а саме, при зварюванні «на спуск» не зафіксовано кольорів мінливості при формуванні зварного шва, а при зварюванні «на підйом» спостерігаються кольори мінливості на поверхні зварного з'єднання;

– бризки зафіксовані при використанні неперервного та імпульсного режиму в усіх просторових положеннях, їхня кількість мінімальна при проплавленні у нижньому положенні, дещо зростає при куті нахилу 60° та вертикальному положенні та найвища кількість бризок спостерігаються при лазерному зварюванні на кутах нахилу 30 та 45°;

– при зварюванні «на підйом» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання при всіх кутах нахилу, верхній валик зварного з'єднання формується з незначним заниженням та з утворенням «гребінця», висота «гребінця» та величина заниження зростає зі збільшенням кута нахилу до горизонтальної площини;

– при зварюванні «на спуск» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання верх-

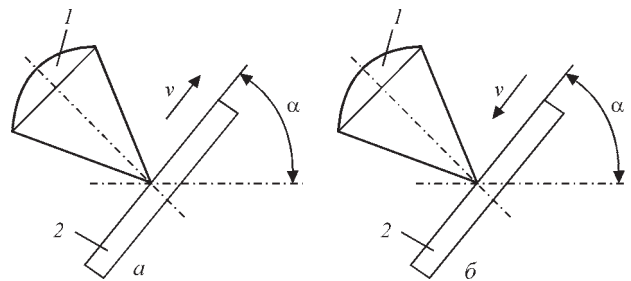


Рис. 2. Схеми виконання проварів у пластинах при лазерному зварюванні «на підйом» (а) та «на спуск» (б): 1 – лазерне випромінювання, що фокусується лінзою; 2 – пластина;  $\alpha$  – кут нахилу пластини до горизонтальної площини

ній валик зварного з'єднання формується з незначним заниженням та з утворенням «гребінця» лише при куті нахилу 30°.

За результатами радіографічного контролю одержаних проварів встановлено, що при зварюванні «на підйом» та «на спуск» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання, при всіх кутах нахилу, не було виявлено внутрішніх дефектів у вигляді тріщин, пор та неметалевих включень.

Радіографічний контроль проварів, одержаних при зварюванні «на підйом» та «на спуск» у імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання показав наявність внутрішніх дефектів у вигляді поодиноких пор або ланцюжків пор при всіх кутах нахилу (табл. 1).

На рис. 3 наведено макроструктура шва зварного з'єднання, одержаного у нижньому просторовому положенні при неперервному режимі генерації лазерного випромінювання, мікроструктура металу у центрі та на лінії сплавлення.

Структура металу шва зварного з'єднання, звареного у нижньому положенні, дисперсна, лита. На рис. 3 чітко видно дві зони: в центральній частині шва по всій висоті комірчасто-дендритна структура, в середній частині шва ближче до лінії сплавлення спостерігається зона тонких стовпчастих кристалітів, що ростуть в напрямку відводу тепла. Зони розділені смужкою більш дрібних кристалітів. Мікроструктура в центральній частині шва являє собою аустенітну матрицю з невеликою кількістю δ-фериту (1,5...1,7%). Розмір

–комірок становить, в основному, 12...13 мкм. Твердість металу шва зварного з'єднання у центральній частині складає HV1–2950...3090 МПа, є ділянки, де твердість підвищується до HV1–3200...3380 МПа. В нижній частині шва твердість підвищується до HV1–3320...3650 МПа. На лінії сплавлення зварного з'єднання мікроструктура також містить аустеніт і δ-ферит, вона дрібніша ніж в центрі шва. Ширина кристалітів становить 2...9 мкм. Твердість металу на лінії сплавлення зварного з'єднання становить HV1–2990...3030 МПа. Є окремі ділянки, де твердість підвищується до HV1–3160 МПа. У металі шва спостерігаються нітриди (в незначній кількості) і поодинокі шлакові включення. Зона термічного впливу (ЗТВ) не виражена, її структура містить аустеніт, бал зерна в ЗТВ зварного з'єднання №6. Твердість ЗТВ зварного з'єднання становить HV1–2650...2840 МПа.

Як показали металографічні дослідження, у структурі зварних з'єднань, одержаних в різних просторових положеннях у сталі AISI 321 товщиною 3 мм, суттєвих відмінностей не спостерігається. При різних значеннях кута нахилу значення мікротвердості у відповідних зонах, розміри кристалітів, бал зерна у ЗТВ зварного з'єднання відрізняються приблизно на 10%. Натомість форма одержаних проварів змінюється досить суттєво, як видно з табл. 2.

**Обговорення отриманих результатів.**

Аналіз рентгенограм (рис. 4) показує тенденцію збільшення як кількості, так і розміру пор

**Таблиця 1. Внутрішні дефекти у вигляді поодиноких пор або ланцюжків пор, виявлені при зварюванні «на підйом» та «на спуск» у імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання**

Напрямок зварювання	Кут нахилу α, °	Кількість одиночних пор	Ланцюжки пор/їх сумарна довжина, мм	Максимальний розмір пори, мм
На спуск	30	–	*	0,4
	45	1	–	0,3
	60	7	–	0,5
	90	–	2/25	0,5
На підйом	30	–	*	0,3
	45	–	–	-
	60	–	2/8	0,3
	90	3	–	0,3
Нижнє положення	0	–	*	0,5

\* – по всій довжині шва

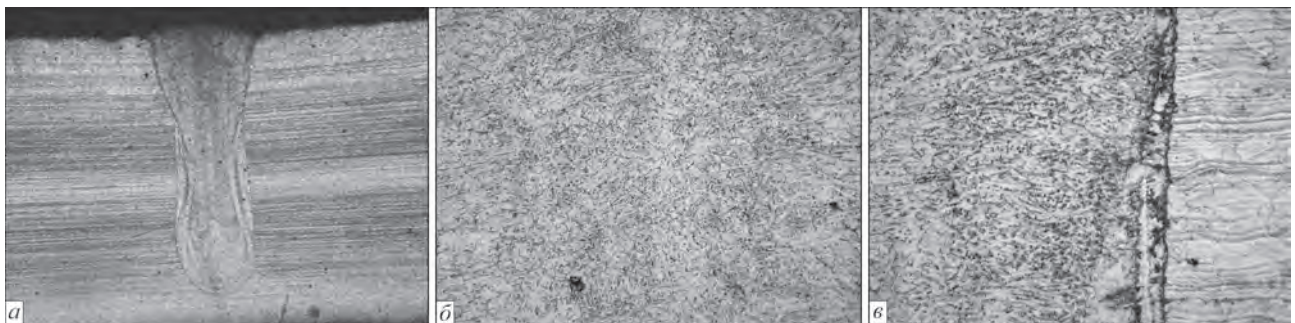


Рис. 3. Структура металу зварного з'єднання, звареного у нижньому положенні: а – поперечний переріз шва, ×30; б – центр шва, ×400; в – лінія сплавлення, ×400

у зразках зі сталі AISI 321 при зменшенні кута нахилу з 90 до 0° при зварюванні «на спуск» та «на підйом» в імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання. Треба відзначити малі значення сумарної проекції пор при зварюванні неперервним лазерним випромінюванням та під кутами 0 та 90° в імпульсному режимі зварювання. У той же час варто відзначити тенденцію зменшення кількості та розміру одиночних пор (чи протяжності ланцюжків пор) при зварюванні «на підйом» у порівнянні з режимом зварювання «на спуск» при одному й тому ж куті при імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання.

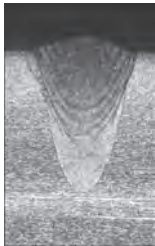







Згідно вимогам ДСТУ EN ISO 13919-1:2015, значення сумарної проекції пор для зварних з'єднань зі сталі AISI 321 товщиною 3 мм, одержаних лазерним зварюванням у різних просторових положеннях, для одержання найвищого рівня якості «В» не повинно перевищувати значення 0,7%. Аналіз одержаних даних дозволяє стверджува-











ти, що за цим показником всі одержані шви відповідають вказаним вимогам.

Встановлено, що залежність площі провару від кута нахилу при збільшенні його від 0 до 90° має немонотонний характер при зварюванні як «на спуск», так і «на підйом», незалежно від режиму генерації лазерного випромінювання (рис. 5). Встановлено, що максимальні значення площі провару на всіх режимах спостерігаються при куті нахилу 45°. Дане явище можна пояснити як зміною характеру течій у ванні розплаву, так і зміною ступеню впливу газового захисту зони зварювання. Однак для формулювання остаточних висновків це явище потребує додаткового всебічного вивчення.

Треба відзначити, що для залежностей площі поперечного перерізу швів зварних з'єднань зі сталі AISI 321 товщиною 3 мм, одержаних лазерним зварюванням у різних просторових положеннях (рис. 5), було характерним те, що при неперервному режимі «на підйом» величина площі поперечного перерізу зварних з'єднань при

**Таблиця 2. Форми проварів в пластинах зі сталі AISI 321 з кутами нахилу до горизонтальної площини від 90 до 0° при лазерному зварюванні «на спуск» та «на підйом» з різними режимами генерації лазерного випромінювання**

Напрямок зварювання	Кут нахилу, °	Імпульсний режим	Неперервний режим
		Форма провару, збільшення	Форма провару, збільшення
На спуск	30	 ×40	 ×50
	45	 ×40	 ×25
	60	 ×30	 ×25
	90	 ×50	 ×40

Напрямок зварювання	Кут нахилу, °	Імпульсний режим	Неперервний режим
		Форма провару, збільшення	Форма провару, збільшення
На підйом	30	 ×50	 ×30
	45	 ×40	 ×30
	60	 ×25	 ×25
	90	 ×50	 ×30
Нижнє положення	0	 ×50	 ×30

різних кутах зварювання відрізняється не більше ніж у 1,31 рази. У той час, коли при зварюванні «на спуск» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання максимальні та мінімальні значення залежностей відрізняються майже у 2,1 рази (рис. 6). При цьому максимальні площі поперечного перерізу швів, одержані при зварюванні «на спуск» та «на підйом» з кутом нахилу 45° у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання, відрізняються майже у 1,5 рази. Вочевидь, це відбувається за рахунок більш тривалого перебування металу зварного з'єднання при температурах вищих за температуру плавлення. Це призводить до збільшення об'єму ванни розплавленого металу та, як результат, й площі зварного

з'єднання. Встановлено, що при зміні режиму генерації лазерного випромінювання з неперервного на імпульсний при куті нахилу зварювання 45°, відсутня тенденція значного збільшення площі провару.

При зварюванні у різних просторових положеннях з використанням імпульсного режиму генерації лазерного випромінювання, вказані дані щодо площі поперечного перерізу швів значно відрізняються (див. рис. 5). Так, при імпульсному зварюванні як «на підйом», так і «на спуск», максимальні та мінімальні значення площі поперечного перерізу швів відрізняються для кутів 0 та 45° приблизно у 2,5 рази (рис. 5). При цьому площі поперечного перерізу зварних з'єднань, одержаних при зварюванні «на спуск» та «на підйом» при однакових кутах зварю-

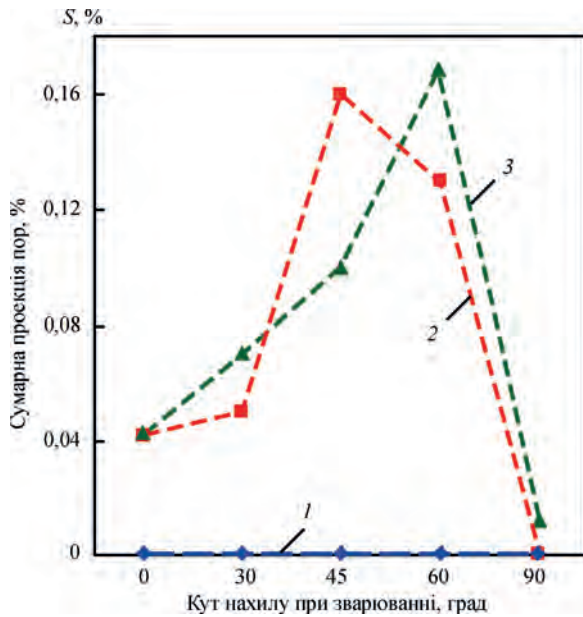


Рис. 4. Залежність сумарної площі проєкцій пор від параметрів режимів лазерного зварювання сталі AISI 321 товщиною 3 мм, одержаних у різних просторових положеннях: 1 – неперервний режим; 2 – імпульсний режим «на підйом»; 3 – імпульсний режим «на спуск»

вання у імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання, відрізняються менш ніж на 5%.

На рис. 6 показана залежність висоти шва у різних просторових положеннях від кута нахилу. Як й для площі провару, характер залежностей немонотонний. Але різниця значень, одержаних для зварювання «на підйом» та «на спуск», для переважної більшості контрольних точок не перевищує 15%, при одному й тому ж режимі генерації лазерного випромінювання. Цікавим є той факт, що максимально високі значення спостерігаються при зварюванні з кутом нахилу 45° у імпульсному

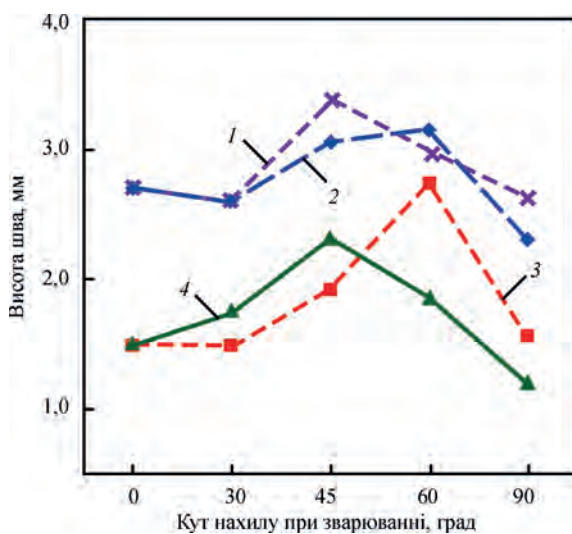


Рис. 6. Залежність висоти шва у зварних з'єднаннях зі сталі AISI 321 товщиною 3 мм, одержаних лазерним зварюванням у різних просторових положеннях, від кута нахилу: 1 – неперервний режим «на підйом»; 2 – неперервний режим «на спуск»; 3 – імпульсний режим «на підйом»; 4 – імпульсний режим «на спуск»

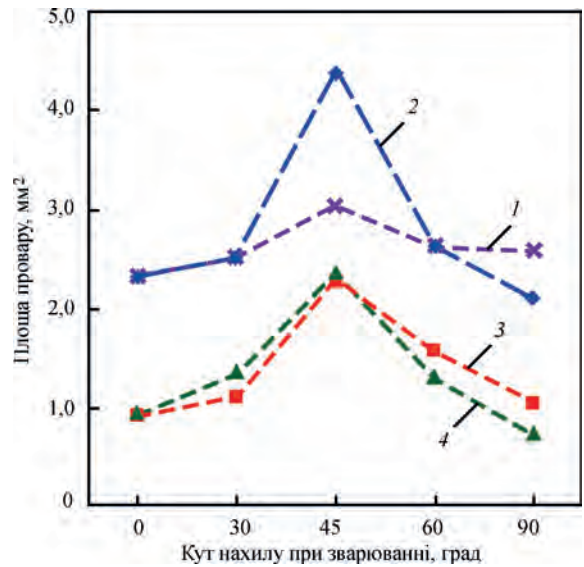


Рис. 5. Залежність площі поперечного перерізу швів зварних з'єднань зі сталі AISI 321 товщиною 3 мм, одержаних лазерним зварюванням у різних просторових положеннях, від кута нахилу: 1 – неперервний режим «на підйом»; 2 – неперервний режим «на спуск»; 3 – імпульсний режим «на підйом»; 4 – імпульсний режим «на спуск»

режимі «на спуск» та неперервному режимі «на підйом» (рис. 6). У той час, коли при зварюванні у неперервному режимі «на спуск» та імпульсному режимі «на підйом» максимальні значення одержані при куті нахилу 60°. Величини, які перевищують товщину 3,0 мм пластин, що зварювались, пояснюються утворенням верхнього та нижнього валиків зварного з'єднання при повному проварі зразків. Варто відзначити, що зміна висоти шва у зварних з'єднаннях зі сталі AISI 321 товщиною 3 мм, при зміні кута нахилу при лазерному зварюванні на неперервному режимі «на підйом» не перевищує 22%. У той час, коли при зварюванні «на спуск» у неперервному режимі генерації лазерного випромінювання це значення складає 27%, а при зміні режиму генерації на імпульсний наближається до 100%.

Аналіз результатів досліджень, виконаних на пластинах та описаних вище, дозволив зробити науково обгрунтований вибір просторових положень та підібрати технологічні параметри, на яких планується виготовити контрольні стикові з'єднання зі сталі AISI 321 товщиною 3,0 мм. При виборі просторових положень керувалися наступними показниками: досягнення максимальної глибини провару; якісне формування зварного з'єднання; відсутність (або мінімальна кількість бризок); відсутність (або мінімальна величина) заниження шву; відсутність (або мінімальна висота) «гребінця» верхнього валика. Виходячи з цих положень, були обрані нижнє та вертикальне просторові положення як найбільш перспективні для одержання стикових зварних з'єднань, що від-

повідують вимогам найвищого рівня якості «В», згідно ДСТУ EN ISO 13919–1:2015.

### Висновки

Просторове положення при лазерному зварюванні корозійностійкої жароміцної аустенітної сталі AISI 321 кардинально впливає на рівень якості та структуру зварних з'єднань.

Зменшення кута нахилу від 90 до 0° при зварюванні «на спуск» та «на підйом» в імпульсному режимі генерації лазерного випромінювання призводить до збільшення як кількості пор, так і їх розміру. У той час, як при неперервному режимі генерації лазерного випромінювання дефекти у вигляді пор не спостерігаються.

При лазерному зварюванні стикових з'єднань зі сталі AISI 321 найбільш перспективними є нижнє та вертикальне просторові положення, як такі, що забезпечують найвищий рівень якості.

### Список літератури/References

1. Serdar, M., Meral, C., Kunz, M., Bjegovic, D., Wenk, H. R., Monteiro, P. J. (2015) Spatial distribution of crystalline corrosion products formed during corrosion of stainless steel in concrete. *Cement and Concrete Research*, **71**, 93–105.
2. Vasantharaja, P., Vasudevan, M., Palanichamy, P. (2015) Effect of welding processes on the residual stress and distortion in type 316LN stainless steel weld joints. *J. of Manufacturing Processes*, **19**, 187–193.
3. Chater, J. (2016) What prospects for stainless steel in 2016. *Stainl. Steel World*, **1(2)**, 1–5.
4. Kumar, A., DebRoy, T. (2007) Heat transfer and fluid flow during gas-metal-arc fillet welding for various joint configurations and welding positions. *Metallurg. and Mater. Transact. A*, **38(3)**, 506–519.

5. Tsai, M. J., Lee, H. W., Ann, N. J. (2011) Machine vision based path planning for a robotic golf club head welding system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **27(4)**, 843–849.
6. Лесков Г. И., Живага Л. И. (1980) Формирование швов при электронно-лучевой сварке сталей большой толщины в различных пространственных положениях. *Автоматическая сварка*, **10**, 1–5.
7. Leskov, G.I., Zhivaga, L.I. (1980) Formation of joints in electron beam welding of thick steels in different spatial positions. *Аvtomatich. Svarka*, **10**, 1–5 [in Russian].
8. Sohail, M., Han, S. W., Na, S. J., Gumenyuk, A., Rethmeier, M. (2015) Numerical investigation of energy input characteristics for high-power fiber laser welding at different positions. *The Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **80(5-8)**, 931–946.
9. Shelyagin, V., Khaskin, V., Bernatskyi, A., Siora, A., Sydorets, V., Chinakhov, D. (2018) Multipass laser and hybrid laser-arc narrow-gap welding of steel butt joints. *Mater. Sci. Forum*, **927**, 64–71.
10. Kah, P., Lu J., Martikainen, J., Suoranta, R. (2013) Remote laser welding with high power fiber lasers. *Engineering*, **5(09)**, 700.
11. Seyffarth, P., Krivtsun, I. (2014) *Laser-arc processes and their applications in welding and material treatment*. CRC Press.
12. Artinov, A., Bakir, N., Bachmann, M., Gumenyuk, A., Rethmeier, M. (2018) Weld pool shape observation in high power laser beam welding. *Procedia CIRP*, **74**, 683–686.
13. Krivtsun, I., Reisinger, U., Semenov, O., Zabirov, A. (2016) Modeling of weld pool phenomena in tungsten inert gas, CO<sub>2</sub>-laser and hybrid (TIG+ CO<sub>2</sub>-laser) welding. *J. of Laser Applications*, **28(2)**, 022406.
14. Khaskin, V., Korzyk, V., Sydorets, V., Peleshenko, S., Dolyanovskaya, O. (2016) The influence of the absorption coefficient of laser radiation on the process of laser-arc welding. *American Sci. J.*, **4**, 81–87.

## IMPACT OF SPATIAL POSITION IN LASER WELDING ON QUALITY LEVEL OF WELDED JOINTS OF AISI 321 STEEL

A.V. Bernatskii, V.D. Shelyagin, O.V. Siora, V.M. Sydorets, O.M. Berdnikova

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

The objective of the study was determination of the impact of spatial position in laser welding of corrosion-resistant austenitic steel AISI 321 on the microstructure and quality level of welded joints. Penetration beads were made in plates of 3 mm thickness at different angles of inclination to the horizontal plane. «Uphill» and «downhill» laser welding was performed both in the continuous and pulse modes of laser radiation generation. Results of visual and radiographic testing and analysis of the data of metallographic studies were used for assessment of quality level of the produced samples for compliance with the requirements of valid standards. In «uphill» and «downhill» welding in the continuous mode of laser radiation generation no internal defects in the form of cracks, pores and inclusions were found at all the angles of inclination. A tendency to increase of both the quantity and size of pores at reduction of the angle of inclination from 90 to 0 deg was found in «downhill» and «uphill» welding in the pulse mode of laser radiation generation. By the data of metallographic studies, no significant differences were observed in the structure of welded joints made in different spatial positions on steel AISI 321 3 mm thick. At different values of the angle of inclination, the microhardness and dimensions of the crystallites differ by approximately 10 %. Contrarily, the shape of welds in the produced penetration beads differs quite significantly. Dependencies of quality characteristics of welded joints of AISI 321 steel in laser welding were derived for the first time for different spatial positions. Derived dependencies allow determination of the tendencies of the change of the shape and quality of welded joints at the change of position or technological parameters of laser welding process. 13 Ref., 2 Tabl., 6 Fig.

*Keywords: laser welding; corrosion-resistant steel; heat-resistant steel; austenitic steel; technological parameters; spatial position; quality; structure; porosity*

Надійшла до редакції 25.10.2019