

Щетинін С.В., Щетиніна В.І., Воленко І.В., Десятський С.П.

ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ СКЛАДОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_D , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_G , тиск флюсу P_F і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{ПН}$ та тиск флюсової подушки $P_{ФП}$. Якісне формування зворотного валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал ванни. Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає з зварювальної ванни, виникають мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань. Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, по якій переміщується активна пляма.

Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та поперечному напрямках, площа, по якій переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази. При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальної ванни. Швидкість зварювання 15 м/г і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни мінімальна, 0,004 м/с, енергія, розмір зерна, міжатомна відстань зростають, зменшуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електрода, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації рідкого металу ванни до 0,011 м/с, енергія зменшується, що приводить до зростання ударної в'язкості зварних з'єднань. Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю зварювання 75 м/г, швидкість кристалізації рідкого металу ванни зростає до 0,021 м/с, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки. Зі зростанням швидкості зварювання і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни зростає якість формування зворотного шва на флюсовій подушці, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань, підвищуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Ключові слова: одностороннє високошвидкісне зварювання складовим електродом, енергія, рівновага тисків, тиск дуги, швидкість зварювання та кристалізації рідкого металу ванни, здрібнення мікроструктури, ударна в'язкість зварних з'єднань.

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання, обмежено витіканням рідкого металу зварювальної ванни та порушенням формування швів, що

Машинобудування і зварювальне виробництво

призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільше розповсюдження одностороннє зварювання має в Японії при зварюванні корпусів судов. Застосування одностороннього зварювання обмежене порушенням формування зворотного валика [1,2] в результаті пропалів та витікання рідкого металу зі зварювальної ванни. В даний час якісне формування зварних швів при односторонньому зварюванні забезпечується за рахунок утримання рідкого металу зварювальної ванни спеціальними підкладками, флюсами, мідними та мідно-флюсовими подушками, поперечним магнітним полем.

Більш ефективно поліпшення формування швів при односторонньому зварюванні за рахунок зниження тиску дуги і спрямованого вниз магнітного тиску, під дією яких рідкий метал витікає з ванни. Даних щодо регулювання формування швів при односторонньому зварюванні за рахунок форми електроду та тиску дуги недостатньо [1–9].

Мета досліджень. Встановлення тисків, що діють на метал зварювальної ванни, рівноваги та розробка одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що забезпечує підвищення якості формування швів і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Основний матеріал дослідження. При електродуговому зварюванні електрична дуга передає основному металу та електроду теплову та кінетичну енергію, під дією яких електроди розплавляються і утворюється зварювальна ванна.

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_D , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_G , тиск флюсу P_F і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{ПН}$ та тиск флюсової подушки $P_{ФП}$.

Якісне формування зворотного валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал зварювальної ванни:

$$P_D + P_E + P_{EM} + P_G + P_F = P_{ПН} + P_{ФП}, \quad (1)$$

Представлена модель процесу одностороннього високошвидкісного зварювання отримана на основі експериментальних даних оплавлення складового електрода при зварюванні труб для газо– і нафтопровідних магістралей.

Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає з зварювальної ванни, виникають мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

При односторонньому зварюванні дуга повністю занурюється в ванну і основний метал, розплавлення якого забезпечується за рахунок обертання дуги торцем електрода і передній частині кратера зварювальної ванни, під дією магнітного поля зварювального струму.

Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, по якій переміщується активна пляма:

$$P_{\max} = 10^{-7} \frac{I^2}{\pi R_A^2}, \text{ Па} \quad (2)$$

де,

I – зварювальний струм, А;

πR_A^2 – площа, якою переміщується активна пляма дуги, м².

Машинобудування і зварювальне виробництво

Зі зростанням площі, якою обертається активна пляма, тиск зварювальної дуги зменшується.

Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, площа, якою переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази.

Як встановлено, з підвищенням швидкості зварювання пропорційно зростає швидкість кристалізації рідкого металу ванни та зони термічного впливу (рис.1), зерна не встигають вирости та мікроструктура здрібнюється $V_K = V_{CB} \cos \alpha$.

Швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни визначали при наплавленні на пластини, розміром $(30 \times 300 \times 400) \cdot 10^{-3}$ м стрічкою, розміром $(0,5 \times 45) \cdot 10^{-3}$ м, розташованої в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, дротом діаметром $4 \cdot 10^{-3}$ м і складовим електродом. Наплавлення проводили під керамічним флюсом на режимах: дротяним електродом – при струмі $I = 650 - 750$ А, напрузі на дузі $U = 31 - 33$ В і швидкості наплавлення $V_H = (0,56, 0,83 \text{ і } 1,1) \cdot 10^{-2}$ м/с, поздовжньою та перпендикулярною стрічками – $I = 450 - 550$ А, $U = 29 - 31$ В, $V_H = (0,33, 0,5 \text{ і } 0,67) \cdot 10^{-2}$ м/с, складовим електродом – $I = 1950 - 2050$ А, $U = 29 - 31$ В, $V_H = (1,4, 2,1, 2,8) \cdot 10^{-2}$ м/с. Погонна енергія для кожного способу наплавлення змінювалась в межах $q_H/V = 1,8; 2,7 \text{ і } 3,6$ МДж/м.

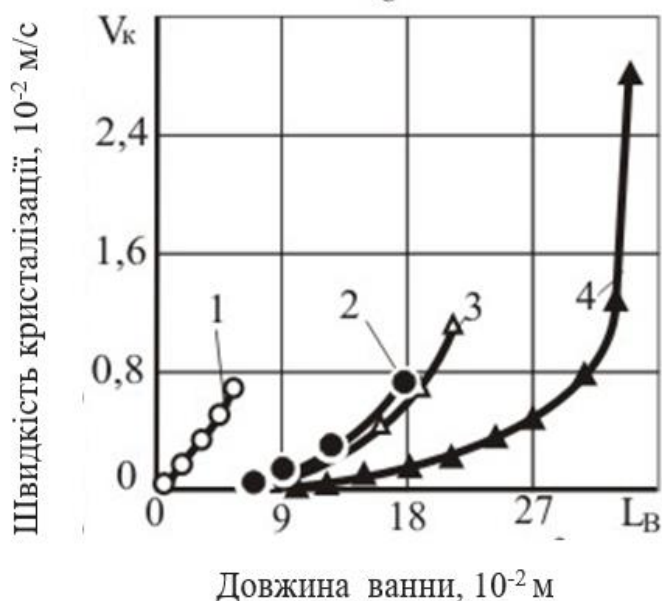


Рисунок 1 – Закономірність воєдї форми електрода на швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни де, 1 – перпендикулярна стрічка; 2 – поздовжня стрічка; 3 – дріт; 4 – складовий електрод

Форма електрода є головним параметром режиму зварювання. В залежності від форми електрода, дуга, під дією електромагнітного поля зварювального струму, згідно закону

Машинобудування і зварювальне виробництво

найменшого опору, обертається торцем електроду. Дуга прагне горіти при найменшій напрузі, тому обертається торцем електроду.

При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальної ванни. Час горіння дуги у бокових кромках зменшується, що призводить до зниження тепловкладення та утворення підрізів, тому швидкість наплавлення перпендикулярною стрічкою обмежена, і наплавлення проводиться з швидкістю 15 м/г. Швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни при наплавленні перпендикулярною стрічкою мінімальна 0,004 м/с, так як зростає максимальна енергія, розмір зерна, міжатомна відстань і зменшуються міжатомні зв'язки.

Одночасно, зменшення швидкості наплавлення призводить до збільшення тепловкладення, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і зварювальних напруг. Зменшення міжатомних зв'язків і підвищення зварювальних напруг призводить до зменшення ударної в'язкості зварних з'єднань.

При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електроду, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації до 0,011 м/с, енергія зменшується, міжатомна відстань скорочується, межатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань зростають, що призводить до зростання ударної в'язкості зварних з'єднань.

Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю 75 м/г, пропорційно зростає до 0,021 м/с швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, внаслідок обертання дуги торцем U-подібної стрічки, збільшується площа, знижується тиск дуги, що забезпечує якісне формування зворотнього валика на флюсовій подушці, незалежно від зазору.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, які забезпечують підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_d , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_r , тиск флюсу P_f і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{пн}$ та тиск флюсової подушки $P_{фп}$. Якісне формування зворотнього валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал ванни.

Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає зі зварювальної ванни, виникають мікроспотворення

Машинобудування і зварювальне виробництво

кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, якою переміщується активна пляма. Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, площа, якою переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази.

При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальній ванні. Швидкість наплавлення 15 м/г і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни мінімальна 0,004 м/с, енергія, розмір зерна, міжатомна відстань зростають, зменшуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань. При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електрода, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації до 0,011 м/с, енергія, міжатомна відстань зменшуються, міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань зростають.

Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю зварювання 75 м/г, швидкість кристалізації рідкого металу ванни зростає до 0,021 м/с, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки.

Зі зростанням швидкості зварювання і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни, енергія зменшується, зростає якість формування зворотного шва на флюсовій подушці, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань, підвищуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Список використаних джерел

1. Фуджіта Ю. Технологія зварювання в сучасній промисловості Японії / Ю. Фуджіта, Ю. Наканісі, Н. Юріока // Автоматичне зварювання. - 2008. - Листопад. - С.48 - 54.
2. Бернадський В.М. Японія визначає пріоритети у зварюванні на XXI століття / В.М. Бернадський // Автоматичне зварювання. - 2002. - №3. - С.46.
3. Веселков В.Д. Одностороннє зварювання стикових з'єднань сталевих корпусних конструкцій / В.Д.Веселков.-Л.: Суднобудування, 1984. - 198с.
4. Акулов А. І. Утримання рідкого металу зварювальної ванни поперечним магнітним полем/ А.І. Акулов, А.М. Рибачук // Зварювальне виробництво.-1972.- № 2. - С. 3 - 4.
5. Черниш В.П. Зварювання з електромагнітним перемішуванням/ В.П. Черниш, В.Д.Кузнєцов, А.Н.Брисман, Г.М.Шеленков.-К.: Техніка, 1983. - 127с.
6. Рижов Р.М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р.М. Рижов, В.Д. Ковалів. - К.: Екотехнологія, 2010. - 288 с.
7. Черниш В.П. Залежність параметрів керуючого магнітного впливу від енерговкладання встик при дуговому зварюванні / В.П. Черниш, Р.М. Рижов // Автоматичне зварювання. - 1998. - №5. - С.49 -51.

8 Рижов Р.Н Застосування шестиполусної електромагнітної системи для управління параметрами формування швів при зварюванні електродом, що не плавиться / Р.М. Рижов, В.Д. Кузнєцов, А.В. Малишев // Автоматичне зварювання. - 2004. - №2. - С.45 -49.

9. Грановський В.Л. Електричний струм у газі. Встановлений струм / В. Л. Грановський. - М.: Наука, 1971. - 543с.

Shchetynin S.V., Shchetynina V.I., Volenko I.V. , Desyatskyi S.P.

THE ONE-SIDED HIGH-SPEED COMPOSITE ELECTRODE WELDING

At the one-sided welding on a flux pad, on the weld pool liquid metal is subject to the downward arc pressure P_D , the electrode metal pressure P_E , the magnetic pressure P_{EM} , the liquid metal hydrodynamic pressure P_G , the flux pressure R_F and the upward surface tension pressure P_{ST} and the flux pressure R_{FP} .

High-quality a reverse bead formation during one-sided welding on a flux pad is ensured by equilibrium of pressures acting on the pool liquid metal.

Equilibrium in the weld pool and the beads formation during one-sided welding are largely determined by the arc pressure, which transfers thermal and kinetic energy to the metal, under the influence of which the metal melts and flows out of the weld pool, the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density occur, the microstructure becomes coarse-grained, and the welded joints toughness decreases.

The welding arc pressure is directly proportional to the current square and inversely proportional to the area over which the active spot moves. To reduce arc pressure and increase the welded joints toughness, a one-sided high-speed composite electrode welding process consisting of wire and U-shaped tape has been developed. The arc moves along the electrode end in the longitudinal and perpendicular directions, the area over which the arc moves increases, and the arc pressure decreases by 4 times.

At the perpendicular tape surfacing, arc moves perpendicular to the weld pool. The welding speed 15 m/h, weld pool liquid metal crystallization speed is minimal, 0,004 m/s, energy, grain size, interatomic distance an increases, interatomic bonds and welded joints toughness a decreases. At the wire welding, the arc is concentrated at the end electrode, the process efficiency, the welding speed 40 m/h and the pool liquid metal the crystallization increases to 0,011 m/s, energy, interatomic distance decreases, interatomic bonds and welded joints toughness increases.

The welded joints toughness most effectively increases during one-sided high-speed welding a composite electrode with a welding 75 m/h, the pool liquid metal crystallization speed to 0,021 m/s, energy decreases, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced and interatomic bonds are increased.

With increasing welding speed and the weld pool liquid metal crystallization energy decrease, the back beads formation on the flux pad quality improves, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced, interatomic bonds and welded joints toughness increase.

The one-sided high-speed composite electrode welding on a flux pad process, which ensures the welding arc pressure a decrease, high-quality beads gap regardless formation, the speed welding and crystallization an increase, the microstructure refinement, the interatomic distance a reduction, interatomic bonds and the welded joints toughness an increases by 2 – 2,5 times, has been developed.

Keywords: *one-sided high-speed composite electrode welding, energy, pressures equilibrium, arc pressure, welding speed and the weld pool liquid metal crystallization, microstructure refinement, welded joints toughness.*

Стаття надійшла 20.10.2023 р.