УДК 621.791.75.052: 669.14.018.295 DOI: https://doi.org/10.37434/as2020.06.02

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ S460M, ВИКОНАНИХ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

А.В. Завдовєєв[1], В.Д. Позняков[1], М. Rogante[2], С.Л. Жданов[1], В.А. Костін[1], Т.Г. Соломийчук[1]

[1]ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua
[2]Rogante Engineering Office, 62012 Civitanova Marche, Italy

В роботі проведено дослідження впливу імпульсно-дугового процесу зварювання на формування структури та властивості металу швів і ЗТВ в порівнянні зі зварюванням дугою, яка горить стаціонарно. На прикладі високоміцної сталі S460M показано, що імпульсно-дугове зварювання дозволяє ефективно регулювати структуроутворення. За рахунок змінення ТЦЗ, у шві та ЗТВ формується змішана структура, яка дозволяє отримати високі показники міцності і опірності крихкому руйнуванню. Бібліогр. 14, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: імпульсно-дугове зварювання, високоміцна сталь, метал шва та ЗТВ, термодеформаційний цикл, структура, властивості зварних з'єднань

Імпульсно-дугове зварювання (ІДЗ) характеризується періодично змінюваною потужністю дуги [1–4] та, завдяки своїм особливостям, дозволяє вирішувати складні технологічні питання при виготовленні унікальних конструкцій, збільшувати продуктивність процесів зварювання, наплавляти корозійностійкі сплави на сталь. В економічно розвинених країнах ІДЗ знаходить все більш широке використання при виготовленні зварних конструкцій з конструкційних сталей міцністю до 500 МПа. Пояснюється це тим, що при ІДЗ розширюються можливості управління процесами плавлення і переносу електродного металу в різних просторових положеннях, поліпшується формування швів, зменшуються перемішування електродного металу з основним металом та розміри зони термічного впливу (ЗТВ) [5–12]. Саме з цим пов'язано те, що відомі іноземні виробники зварювального устаткування значну увагу в своїй діяльності приділяють розробці та виготовленню обладнання для реалізації і розширення можливостей ІПЗ в захисних газах. Значно слабше в технічній літературі висвітлюються питання щодо впливу параметрів ІДЗ на термічні процеси, які відбуваються в металі ЗТВ зварних з'єднань, оскільки вони позначаються на структурі та механічних властивостях даного металу, на його опірності утворенню холодних тріщин і крихкому руйнуванню, тощо. Для успішного застосування ІДЗ в розробці сучасних технологій зварювання виникла необхідність в дослідженнях впливу режимів цього процесу зварювання на формування структури та властивості металу швів і ЗТВ в порівнянні зі зварюванням дугою, яка горить стаціонарно.

Методика досліджень. В роботі використовувалась термомеханічно зміцнена сталь S460M (клас міцності С440), виготовлена згідно ДСТУ EN 10025-4:2007. Хімічний склад сталі S460M, мас. %: 0,15 C; 0,23 Si; 1,3 Mn; 0,09 Cr; 0,019 Ni; 0,01 V; 0,05 Nb; 0,025 Al; 0,013 S та 0,017 P.

В якості джерела живлення використовувався випрямляч інверторного типу марки ewm Phoenix Pulse 401 (фірми «MULTIMATRIX»), який забезпечує різну частоту проходження імпульсів при імпульсно-дуговому зварюванні. Для визначення зварювально-технологічних характеристик джерела струму було використано цифровий осцилограф UTD2000CEX-II, який дозволяє проводити фіксацію вольт-амперної характеристики джерела живлення в широких діапазонах. Для запису осцилограм використовували шунт 75ШСМ, який має опір 150 мкОм. Це дозволило реєструвати струми зварювання до 500 А, при цьому падіння напруги на шунті дорівнювало 75 мВ.

Механізоване зварювання в захисних газах (Ar+18% CO_2) з'єднань сталі S460M товщиною 16 мм з V-подібним розкриттям кромок дротом суцільного перерізу G3Si1 діаметром 1,2 мм. Кореневі проходи при зварюванні цієї сталі виконували на мідній підкладці. Зварювання з використанням традиційного процесу (дугою, яка горить стаціонарно), виконували на режимі: $I_{зв}$ = 180…200 А, $U_д$ = 26 В, $v_{зв}$ = 15…18 м/год. Режим автоматизованого ІДЗ був наступним:

Автори вдячні А.А. Максименко, А.М. Денисенко, І.І. Алексеєнко за поміч у проведенні експериментів.
Завдовєєв А.В. – https://orcid.org/0000-0003-2811-0765, Позняков В.Д. – https://orcid.org/ 0000-0001-8581-3526,
Rogante M. – https://orcid.org/ 0000-0002-6846-0826,
© А.В. Завдовєєв, В.Д. Позняков, М. Rogante, С.Л. Жданов, В.А. Костін, Т.Г. Соломийчук, 2020

$I_{ср}$ = 220…240 А, $U_д$ = 26…28 В, $v_{зв}$ = 14…21 м/год. У даному випадку

$$I_{ср} = \frac{I_і t_і + I_п t_п}{t_і + t_п},$$

де $I_і$ – струм в імпульсі (450 А), $I_п$ – струм в паузі (160 А), $t_і$ та $t_п$ – тривалість імпульсу та паузи, відповідно.

Необхідно зазначити, крім середнього струму ІДЗ, також застосовується ефективний струм ІДЗ $I_{еф} = \sqrt{(1-\delta) I_п^2 + \delta I_і^2}$ де δ – скважність. Так, з урахуванням зазначених вище параметрів ІДЗ $I_{еф} \approx$ ≈ 300 А, що майже на 25 % більше за $I_{ср}$.

Металографічні дослідження виконували за допомогою світлового мікроскопу «Neophot-32», мікротвердість окремих структурних складових і інтегральну твердість металу вимірювали на твердомірі М-400 фірми «LECO» при навантаженні 100 г (*HV*). Зразки для металографічних досліджень підготовлювали за стандартними методиками із застосуванням алмазних паст різної дисперсності, виявлення мікроструктури виконували методом хімічного травлення у 4%-му спиртовому розчині азотної кислоти.

Для проведення механічних випробувань і визначення холодостійкості із зварних з'єднань виготовляли стандартні зразки. Зразки для випробувань на статичний (короткочасний) розтяг відповідали типу II відповідно до ГОСТ 6996-96. Випробування на ударний згин виконували за ГОСТ 6996-66 (тип IX) при температурі 20° та –40 °С. За результатами проведених випробувань оцінювали вплив способу зварювання на зміну наступних показників металу ЗТВ: міцності ($\sigma_т$ та $\sigma_в$, МПа), пластичності (δ_5 та ψ, %) та ударної в'язкості (*KCV*, Дж/см^2).

Здатність металу опиратися крихкому руйнуванню визначали з використанням підходів з механіки руйнування. Згідно методиці механіки руйнування критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{1C} використовується для оцінки чутливості металу до концентрації напружень в умовах пласкої деформації при статичному навантаженні (частіше вигином). При підвищенні значень K_{1C} чутливість металу до концентрації напружень знижується. Другий критерій механіки руйнування – критичне розкриття тріщини δ_c є деформаційним критерієм і використовується для оцінки опору металу до початку зрушення тріщини. За його допомогою здійснюється оцінка опору металу крихкому руйнуванню в умовах великої пластичної деформації, коли тріщина у своїй вершині досягає критичних розмірів значення δ_c і починає швидко розповсюджуватися, використовуючи енергію, що вивільняється при подальшому її зростанні.

Значення критеріїв K_{1C} та δ_c визначали за стандартними методиками.

Для визначення значень критичного коефіцієнта інтенсивності напруження K_{1C} користувалися формулою:

$$K_{1C} = \frac{PLY}{t\sqrt{b^3}} \qquad (1.1),$$

де *P* – критичне навантаження, при якому зразок руйнується; *L* – відстань між опорами; *t* – товщина зразка; *b* – ширина зразка; *Y*– коефіцієнт форми зразка.

Критичне розкриття тріщини δ_c визначали по формулі:

$$\delta_c = \frac{4K_{1C}^2}{\pi\sigma_т E}, \qquad (1.2),$$

де *E* – модуль Юнга для сталі дорівнює 200 ГПа.

Для визначення значень критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_{1C} і критичного розкриття тріщини δ_c застосовували зразки прямокутного перерізу розміром 10×20×90 мм з надрізом довжиною 7 мм та тріщиною втоми довжиною 3 мм. Ці зразки випробували на трьохточковий вигин у діапазоні температур від 20° до –40 °С.

Результати роботи та їх обговорення. *Зварювально-технологічні характеристики*. Джерело живлення ewm Phoenix Pulse 401 відноситься до інверторного типу. У зв'язку з цим, було проведено порівняння вольт-амперних характеристик з джерелом живлення ВДУ500, обладнаного діодним випрямлячем. З наведених на рис. 1 результатів видно, що зазначені джерела струму суттєво відрізняються за характеристиками зміни зварювального струму. Встановлено, що стаціонарний режим зварювання з використанням джерела живлення ВДУ характеризується постійним струмом з незначними осциляціями. Величина струму на осцилограмі відповідає 120 А. Для джерела живлення ewm Phoenix Pulse 401, обладнаного інверторним випрямлячем, залежність зміни струму зварювання принципово відрізняється. При невеликій розгортці осцилограми (τ ~ мс) спостерігається широка полоса щільних імпульсів достатньо великої амплітуди (рис. 1, *в*). З метою виявлення особливостей амперної характеристики було збільшено масштаб розгортки осцилограми до мікросекунд (рис. 1, *г*). За таких умов проявляються особливості зміни зварювального струму, які носять імпульсний характер. Середній струм зварювання при імпульсно-дуговому процесі було обрано для порівняння зі струмом зварювання стаціонарно палаючою дугою.

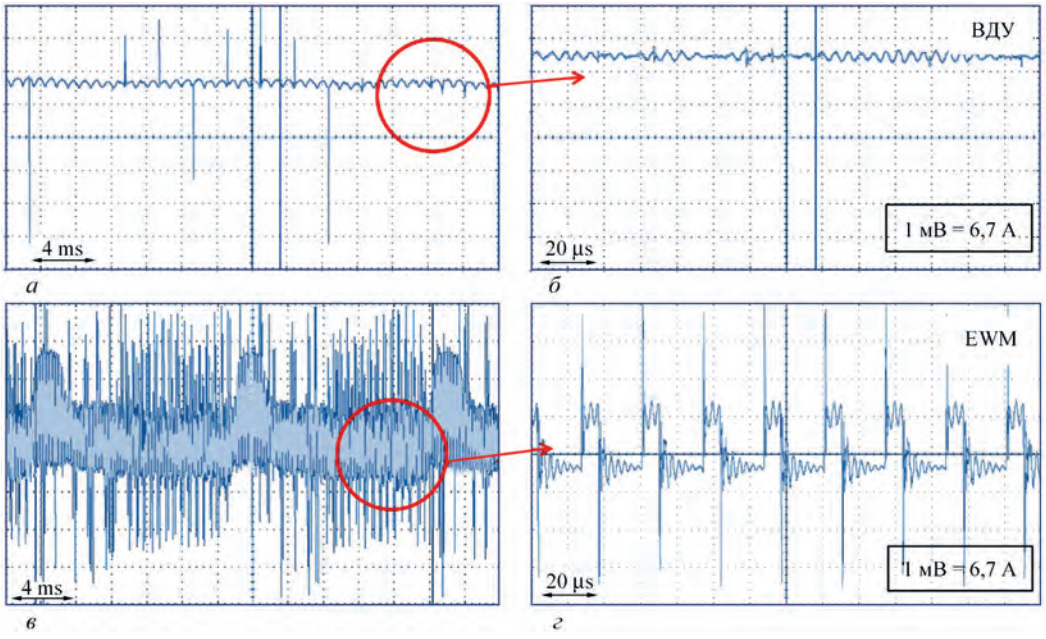

Рис. 1. Осцилограми зварювального струму для джерел живлення діодного та інверторного типів (опис див. у тексті)

Структура та властивості основного металу. Завдяки проведенню термомеханічної прокатки в діапазоні температур 900…700 °С з контрольованим охолодженням в сталі S460M утворюється феритно-перлітна, полосчата структура з твердістю *HV* 195 (рис. 2). Бал зерна відповідає № 10 по ГОСТ 5639-82, а бал полосчатості – номеру 5 за шкалою 3 по ГОСТ 5640-68.

Така мікроструктура сталі S460M вказаного вище хімічного складу забезпечує наступний рівень механічних властивостей: межа плинності $\sigma_{0,2}$ = 452 МПа, межа міцності $\sigma_в$ = 581 МПа, відносне подовження δ_5 = 26 %, відносне звуження ψ = 58 %.

Металографічними дослідженнями структури (рис. 3) зварних з'єднань сталі S460M встановлено, що при зварюванні дугою, яка горить стаціонарно у шві, формується переважно феритна структура різної модифікації (полігональний, поліедричний, крупногольчастий). Твердість по Вікерсу такої структури знаходиться в межах від 1950 до 2030 МПа. Мікроструктура ділянки крупного зерна ЗТВ складається з суміші верхнього та нижнього бейніту. Твердість по Вікерсу цієї ділянки ЗТВ досягає 2730 МПа. В ділянці дрібного зерна металу ЗТВ спостерігається структура переважно верхнього бейніту. Твердість цієї ділянки ЗТВ знижується до 2600 МПа. В ділянці неповної перекристалізації ЗТВ поряд з ділянкою бейніту формується ферит і перліт, що істотно знижує твердість до 2130…2260 МПа.

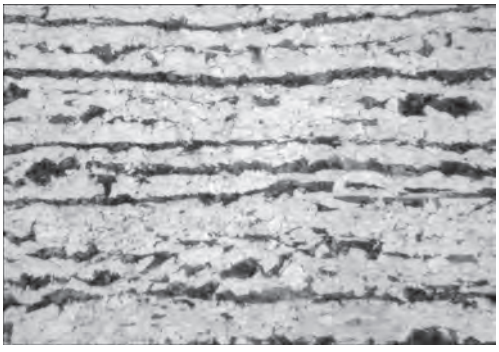

Рис. 2. Мікроструктура (×500) сталі S460M

При ІДЗ мікроструктура метала шва істотно відрізняється від мікроструктури метала шва, виконаного дуговим зварюванням, а саме: значно подрібнюються пластини голчастого фериту (до 1…3 мкм) і зменшується кількість поліедричного фериту (до 5…10 %); суттєво вужчими стають виділення полігонального фериту (до 3…10 мкм), що розташовано по межах первинних аустенітних зерен. Такі зміни мікроструктури призводять до підвищення в шві твердості до 2420 МПа. На ділянці крупного зерна металу ЗТВ спостерігається переважно бейнітна структура з незначною часткою (до 3…5 %) мартенситу. Твердість цієї ділянки ЗТВ відповідно підвищується до 3250…3340 МПа. Структура ділянки дрібного зерна металу ЗТВ складається з суміші верхнього та нижнього бейніту (2650…2810 МПа). На ділянці неповної перекристалізації ЗТВ спостерігається перліт і ферит, що істотно знижує твердість металу по Вікерсу до 2320…2400 МПа.

Такі відмінності мікроструктури зумовлені особливостями протікання термічних циклів зварювання (ТЦЗ) при ІДЗ (рис. 4), а саме, швидкість охолодження металу на ділянках ЗТВ, які нагріваються до температур 1000 °С, і більш вища, ніж при процесі зварювання дугою, що горить стаціонарно. За рахунок цього в структурі з'являються мартенситні складові. В ЗТВ, де метал нагрівається до температур нижче 1000 °С, швидкість охоло-

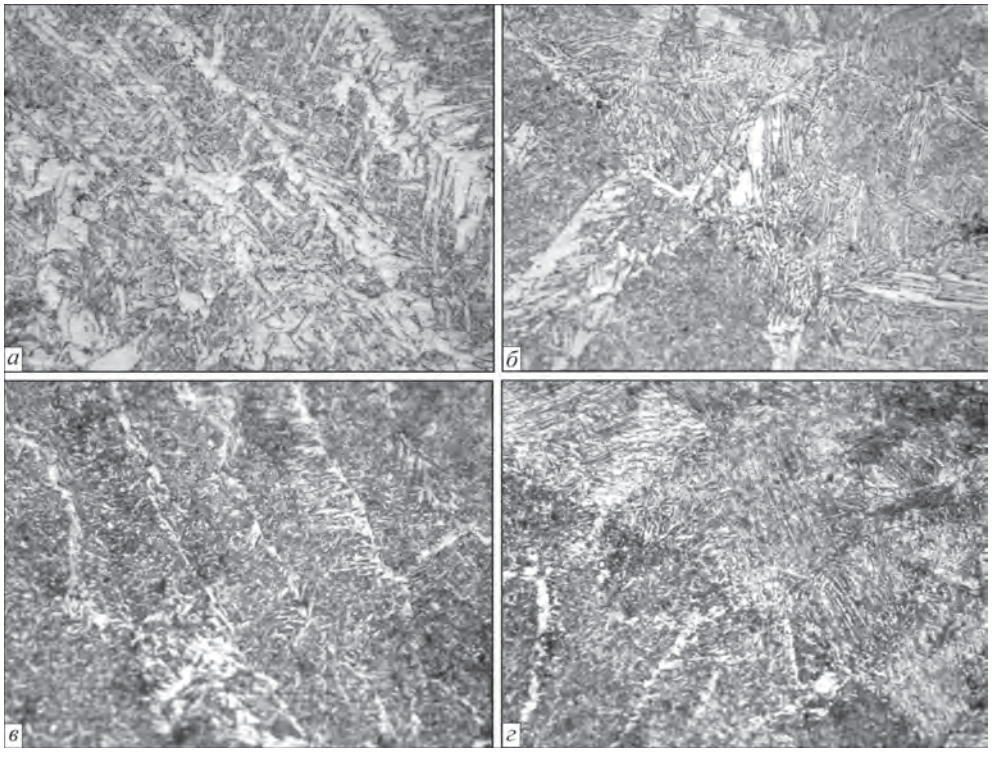

Рис. 3. Мікроструктура (×500) металу шву (*а*, *в*) та ЗТВ (*б*, *г*) сталі S460M, виконаних традиційним дуговим (*а*, *б*) та імпульсно-дуговим (*в*, *г*) зварюванням

дження металу нижча, ніж при зварюванні дугою, що горить стаціонарно. Це сприяє протіканню дифузійних процесів під час структурних перетворень і як наслідок формуванню змішаної бейнітно-мартенситної структури.

Як зазначається авторами роботи [13], ТЦЗ відіграє ключову роль при твердінні металу шва, оскільки впливає на подрібнення структурних складових. При ІДЗ відбувається переривання у дузі, яке викликає термічний «удар» (осадження металу переривається), що призводить до збільшення центрів кристалізації. Як наслідок, подрібнюється структура і підвищуються характеристики міцності.

Дослідження твердості (рис. 5) зварних з'єднань дозволило встановити, що при ІДЗ її рівень в металі шва вищий на 20 % від твердості металу шва, виконаного дуговим зварюванням. Це зумовлено формуванням дрібнодисперсної структури. У ЗТВ значення твердості при ІДЗ також вищі ніж при ДЗ, але незважаючи на це, вони не перевищують значень в *HV* 350 , тобто в такому металі утворення холодних тріщин буде малоймовірним. Слід зазначити, що при ІДЗ твердість у металі ЗТВ спадає до рівня вихідного металу швидше.

Механічні властивості зварних з'єднань наведено у таблиці. З наведених даних видно, що за умов ІДЗ досягаються більші значення міцності при збереженні показників ударної в'язкості на рівні вимог EN 10025-2 (ДБН В.2.6.-198:2014), $KCV_{-40} \geq 25$Дж/см^2. Показники опірності крихкому руйнуванню зварних з'єднань, виконаних ІДЗ,

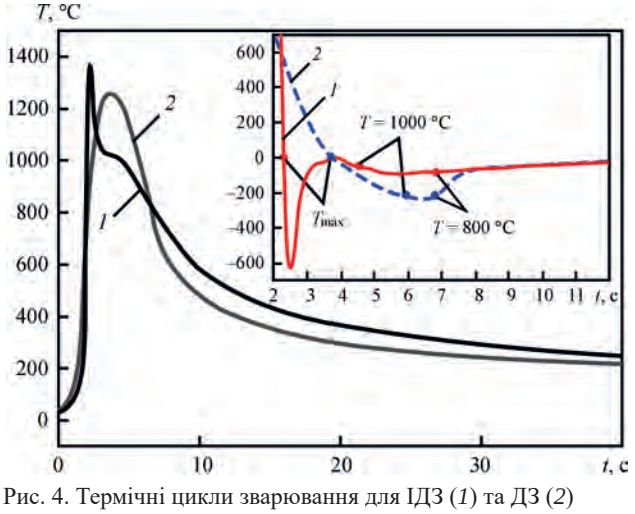

Рис. 4. Термічні цикли зварювання для ІДЗ (*1*) та ДЗ (*2*)

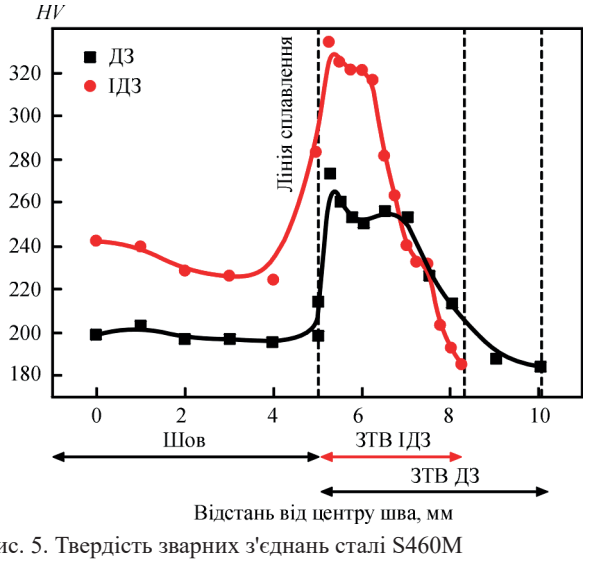

Рис. 5. Твердість зварних з'єднань сталі S460M

Механічні властивості зварних з'єднань сталі S460M при різних способах зварювання

Ділянка шва	Спосіб зварювання	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	KCV_{20}, Дж/см^2	KCV_{-40}, Дж/см^2
Шов	ДЗ	477	586	28	73	215	100
	ІДЗ	570	667	24	68	212	111
ЗТВ	ДЗ	632*	763*	-	-	149	150
	ІДЗ	778*	940*	-	-	137	122
ОМ		452	581	26	60	111	95

*Розрахункові значення [14]: $\sigma_в$ – *HV* 0,31, $\sigma_т$ – *HV* 0,25.

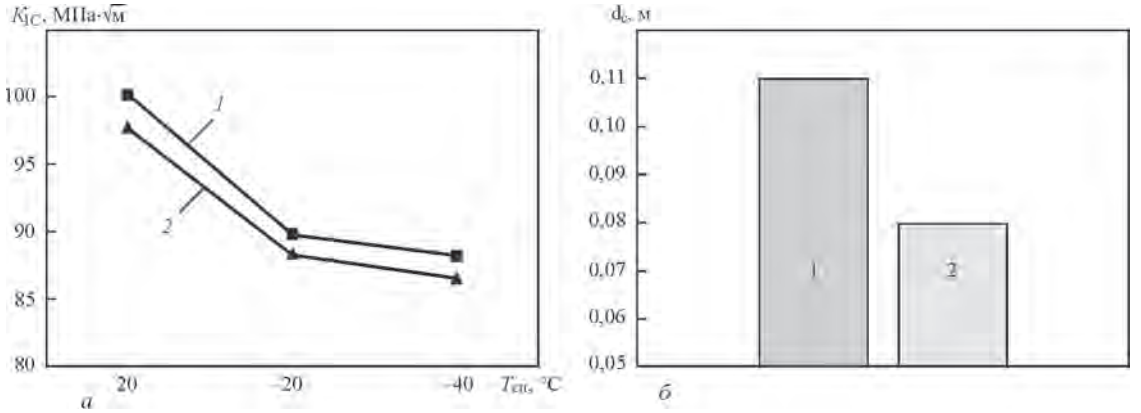

Рис. 6. K_{1C} (*а*) та δ_c (*б*) для ІДЗ: *1* – шов; *2* – ЗТВ

незважаючи на високі значення твердості, знаходяться на достатньо високому рівні (рис. 6), що зумовлено формуванням дрібнодисперсної структури.

Таким чином, ІДЗ дозволяє ефективно регулювати структуроутворення в зварних з'єднаннях високоміцних сталей. За умов приблизно однакових погонних енергій, ефективний струм зварювання ІДЗ на 25 % більше, ніж при зварюванні дугою, що горить стаціонарно. Це дозволяє збільшити глибину проплавлення. Особливості імпульсної зміни зварювального струму суттєво змінюють характер ТЦЗ, і як наслідок, структуру зони термічного впливу. Формування змішаної структури у ЗТВ дозволяє отримати високі показники міцності і опірності крихкому руйнуванню.

Висновки

Аналіз експериментальних даних показав, що при ІДЗ, за рахунок змінення ТЦЗ (збільшення швидкості охолодження в інтервалі температур >1000 °С), у шві формується подрібнена структура у порівнянні з ДЗ, а у ЗТВ формуються гартівні структури. При цьому швидкість охолодження металу ЗТВ в інтервалі температур 600…500 °С зменшується практично в 1,5 рази, що дозволило зменшити ширину ЗТВ на 40 %. В результаті випробувань встановлено, що метал швів та ЗТВ зварних з'єднань сталі S460M, виконаних ІДЗ, в досліджуваному діапазоні температур мають достатньо високий опір крихкому руйнуванню, та на 20 % більші показники міцності.

Список літератури/Reference

1. Palani, P.K., Murugan, N. (2006) Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *J. of Materials Processing Technology*, 172, 1–10.
2. Tong, H., Ueyama, T., et al. (2001) Quality and productivity improvement in aluminium alloy thin sheet welding using alternating current pulsed metal inert gas welding system. *Sci. Technol. Weld. Join*, 6, **4**, 203–208.
3. Needham, J.C., Carter, A.W. (1965) Material transfer characteristics with pulsed current. *Brit. Weld. J.*, **5**, 229–241.
4. Позняков В.Д., Завдовеев А.В., Гайваронский А.А. и др. (2018) Влияние режимов импульсно-дуговой сварки на параметры металла шва и ЗТВ сварных соединений, выполненных проволокой Св-08Х20Н9Г7Т. *Автоматическая сварка*, **9**, 9–16.
   Poznyakov, V.D., Zavdoveev, A.V., Gajvoronsky, A.A. et al. (2018) Effect of pulsed-arc welding modes on the change of weld metal and HAZ parameters of welded joints produced with Sv-08Kh20N9G7T wire. *The Paton Welding J.*, **9**, 7-12.
5. Rajasekaran, S. (1999) Weld bead characteristics in pulsed GMA welding of Al–Mg alloys. *Weld. J.*, 78, **12**, 397–407.
6. Murray, P.E. (2002) Selecting parameters for GMAW using dimensional analysis. *Ibid*, 81, **7**, 125–131.
7. Amin, M., Ahmed, N. (1987) Synergic control in MIG welding 2–power current controllers for steady dc open arc operation. *Met. Construct.*, June, 331–340.
8. Amin, M. (1983) Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding. *Ibid*, May, 272–377.
9. Lambert, J.A. (1989) Assessment of the pulsed GMA technique for tube attachment welding. *Weld. J.*, 68, **2**, 35–43.
10. Essers, W.G. Van Gompal (1984) Arc control with pulsed GMA welding. *Ibid*, 6, **6**, 26–32.
11. Amin, M. (1981) Synergetic pulse MIG welding. *Metal construction*, **6**, 349–353.
12. Dorn, L., Devakumaran, K., Hofmann, F. (2009) Pulsed current gas metal arc welding under different shielding and pulse parameters. Part 2: Behaviour of metal transfer. *ISIJ international,* 49, **2**, 261–269.
13. Devakumaran, K., Ghosh, P.K. (2010) Thermal Characteristics of Weld and HAZ during Pulse Current Gas Metal Arc Weld Bead Deposition on HSLA Steel Plate. *Materials and Manufacturing Processes*, 25, **7**, 616–630, DOI:10.1080/10426910903229347.

14. Чукин М.В., Полецков П.П., Гущина М.С., Бережная Г.А. (2016) Определение механических свойств высокопрочных и сверхвысокопрочных сталей по твердости. *Обработка сплошных и слоистых материалов*, **1**, 44, 28–35.

Chukin, M.V., Poletskov, P.P., Gushchina, M.S., Berezhnaya, G.A. (2016) Determination of mechanical properties of high-strength steels by hardness. *Obrabotka Sploshnykh i Sloistykh Materialov,* **1**(44), 28–35 [in Russian].

FEATURES OF STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF JOINTS OF S460M STEEL, MADE BY PULSED-ARC WELDING

A.V. Zavdoveev[1], V.D. Pozdnyakov[1], M. Rogante[2], S.L. Zhdanov[1], V.A. Kostin[1], T.G. Solovejchuk[1]

[1]E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua
[2]Rogante Engineering Office, 62012 Civitanova Marche, Italy

The work is a study of the impact of pulsed-arc welding process on structure formation and properties of the metal of the weld and HAZ, compared to welding by a stationary arc. In the case of high-strength steel S450M, it is shown that pulsed-arc welding allows effective regulation of structure formation. Owing to a change of TCW, the weld and HAZ form a mixed structure that allows achieving high values of strength and brittle fracture resistance. 14 Ref., 1 Tabl., 6 Fig.

Keywords: pulsed-arc welding, high-strength steel, weld and HAZ metal, thermodeformational cycle, welded joint properties

Надійшла до редакції
06.02.2020

НОВА ВЕРСІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗКРОЮ КОМПАНІЇ HYPERTHERM

Компанія Hypertherm (Нідерланди), виробник промислових систем різання та програмного забезпечення, оголосила про випуск ProNest®2021, нової основної версії програмного забезпечення САПР/АСТПВ для розкрою при виконанні автоматизованого різання. У новій версії реалізовані нові функції та удосконалення, покликані забезпечити більш високу ефективність та рентабельність виробництва для клієнтів. Зокрема, користувачам доступні наступні функції:

• перероблена система автоматизованого двомірного проектування включає розширену підтримку шрифтів, можливості зміни форми тексту та інші нові функції, які широко застосовуються виробниками табличок, вивісок, покажчиків;

• в настройках редактора САПР користувачі можуть задати програму САПР, яка буде використовуватися по замовчуванню для внесення змін в деталі зі списку деталей ProNest. Можна вибрати вбудовану в ProNest програму САПР або сторонню програму, наприклад AutoCAD;

• звіт про деталі швидко відкривається в списку деталей, дозволяючи користувачам додавати звіти про окремі деталі з їх зображеннями, а також із зазначенням їх розмірів, матеріалу, класу, процесу, вартості виготовлення або обробки та іншої інформації;

• мостове різання деталей з внутрішніми вирізами дозволяє додавати мости в текст та інші внутрішні контури, щоб вирізані деталі не випадали з заготовки. Це зводить до мінімуму кількість внутрішніх вирізів на деталях, забезпечуючи естетичний зовнішній вигляд готових виробів і знижуючи кількість зіткнень різака з вирізаними деталями, які застрягли в вирізаних отворах в вертикальному положенні.

ProNest2021 доповнює і розширює переваги ProNest2019, дозволяючи підвищити ефективність процесу програмування. Незалежно від типу різання, будь-то плазмове, гідроабразивне, лазерне або кисневе різання, ефективні інструменти нової версії дозволять виробникам забезпечити більш істотну економію матеріалу, значно підвищити продуктивність, скоротити експлуатаційні витрати і підвищити якість різання.

Одночасно компанія Hypertherm випускає оновлення для ПЗ ProNestLT для клієнтів з меншими вимогами до обсягу виробництва і інтенсивності експлуатації обладнання. Користувачі з діючою передплатою на програмне забезпечення та клієнти з чинним планом супроводу можуть безкоштовно оновитися до нової версії свого продукту і як і раніше отримувати необмежену технічну підтримку і користуватися іншими перевагами.

Компанія Hypertherm розробляє і виробляє промислові товари для різання, що застосовуються в самих різних галузях, наприклад, суднобудуванні, машинобудуванні та ремонті автомобілів. У сімейство продуктів компанії входять системи різання, засоби управління переміщенням і регулювання висоти з ЧПУ, програмне забезпечення для розкрою, програмне забезпечення для роботів і витратні деталі. Системам Hypertherm довіряють завдяки їх ефективності і надійності, які забезпечують більш високу продуктивність і рентабельність для сотень тисяч підприємств. Репутація компанії в області інновацій різання веде свій відлік вже більше 50 років, – з 1968 р., коли в Hypertherm була винайдена плазмова різка з уприскуванням води. Компанія знаходиться в спільному володінні більш ніж 1400 партнерів, має дилерську мережу і веде операції по всьому світу.

Більш детальна інформація представлена на веб-сайті www.hypertherm.com.