

## ВПЛИВ ФОРСОВАНОГО РЕЖИМУ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ КЛАСУ МІЦНОСТІ С440

А.В. Завдовсєв<sup>1</sup>, В.Д. Позняков<sup>1</sup>, М. Rogante<sup>2</sup>, С.Л. Жданов<sup>1</sup>, Т.Г. Соломийчук<sup>1</sup>, О.А. Шишкевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

<sup>2</sup>Rogante Engineering Office, 62012 Civitanova Marche, Italy

В роботі проведено дослідження впливу імпульсно-дугового форсованого зварювання на формування структури та властивості металу швів і ЗТВ в порівнянні зі стандартним імпульсно-дуговим зварюванням. На прикладі високоміцної сталі S460M показано, що імпульсно-дугове форсоване зварювання дозволяє ефективно регулювати структуроутворення. Зміна ТЦЗ, а саме прискорений нагрів та уповільнене охолодження, призводить до формування у шві та ЗТВ оптимальної структури, яка дозволяє отримати високі показники міцності і опірності крихкому руйнуванню. Переваги імпульсно-дугового форсованого зварювання дозволяють проводити зварювання без розробки кромок, що суттєво підвищує продуктивність процесу в цілому. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 8.

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

Останніми роками спостерігається безперервне зростання частки зварних конструкцій, виготовлених зі сталей із збільшеною міцністю. Вимоги до якості у багатьох галузях, таких як суднобудування, цивільне будівництво, гідроенергетика, тощо диктують нові правила щодо розробки технологій зварювання металоконструкцій зі збереженням високого комплексу експлуатаційних властивостей [1–5]. Одночасне збільшення як механічних властивостей, так і пластичності може бути досягнуто додаванням мікролегуючих елементів до сталей. Вивільнені дисперсійні карбіди та карбонітриди мікролегуючих елементів зменшують розмір зерен або блокуючи міграцію границь зерен аустеніту, або затримуючи його перекристалізацію. Як наслідок, вміст вуглецю можна зменшити в мікролегованих сталях і, таким чином, покращити їх зварюваність, на відміну від ситуації, яка має місце з високоміцними марками сталі С–Mn.

Подальшого збільшення межі плинності конструкційних сталей можна досягти за допомогою спеціального методу прокатки, що включає термомеханічну обробку. Це вимагає систематичного контролю як температури, так і ступеня деформації під час формування металу.

Термомеханічна обробка вимагає, щоб процес прокатки проводився таким чином, щоб окремі стадії деформації сталі проходили при заданих температурах. Тут використовуються два основні ефекти:

– вплив, який має дрібнозерниста структура на поліпшення механічних властивостей і збільшення ударної міцності;

– обмеження або затримка перекристалізації, що досягається введеними мікролегуючими елементами (Nb, Ti).

Термомеханічно оброблені сталі з високим рівнем міцності і відносно низьким вуглецевим еквівалентом значно спрощують вирішення проблеми поліпшення якості та надійності металевих конструкцій. Разом з тим це ставить нові питання у перерізі технологій зварювання таких сталей. А саме, одного тільки вуглецевого еквіваленту вже недостатньо для досліджень зварюваності термомеханічно оброблених сталей. В першу чергу це зумовлено особливостями структурного стану таких сталей, що ніяк не враховується вуглецевим еквівалентом. Технічний та економічні аспекти, що впливають із можливості робити вироби з цих сталей та застосування їх в енергоефективних виробництвах, а також їх придатність для будівництва різних конструкцій, в тому числі діючих в екстремальних кліматичних умовах, мають велике значення для матеріалознавства. Пов'язані з цією групою сталей питання з метою вдосконалення технологій, що використовуються для виготовлення металоконструкцій з цих сталей методами зварювання потребують вирішення. Одним з перспективних шляхів у вирішенні проблем зварюваності термомеханічно оброблених сталей є застосування імпульсно-дугового зварювання (ІДЗ), яке дозволяє керувати режимами та термічними циклами зварювання у широких діапазонах [6–11]. У попередніх дослідженнях застосування ІДЗ до термомеханічно зміцненої сталі S460M [12] показали перспективність використання цього

Завдовсєв А.В. – <http://orcid.org/0000-0003-2811-0765>, Позняков В.Д. – <http://orcid.org/0000-0001-8581-3526>,

М. Rogante <http://orcid.org/0000-0002-6846-0826>

© А.В. Завдовсєв, В.Д. Позняков, М. Rogante, С.Л. Жданов, Т.Г. Соломийчук, О.А. Шишкевич, 2021

го методу. Разом з тим існує необхідність подальшого вдосконалення технологічного процесу зварювання термомеханічно зміцнених сталей, а саме зменшення шкідливого впливу термічного циклу зварювання на зону термічного впливу та підвищення продуктивності процесу. Для вирішення цих завдань у представленій роботі пропонується використання ІДЗ на форсованому режимі, який суттєво відрізняється від стандартного. Тому, для успішного застосування ІДЗ на форсованому режимі в розробці сучасних технологій зварювання, в роботі проведено дослідження 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 представленій роботі використовувалась термомеханічно зміцнена сталь S460M [12] (клас міцності C440), виготовлена згідно ДСТУ EN 10025-4:2007. Хімічний склад сталі S460M, мас. %: 0,15 С; 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 ІДЗ [12]. 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.

Для базового порівняльного зразка, як і в попередніх дослідженнях [12], використовували зварювання в захисних газах ( $Ar+18\% CO_2$ ) з'єднань сталі S460M товщиною 16 мм з V-подібним розкриттям кромки дротом суцільного перерізу G3Si1 діаметром 1,2 мм (рис. 1, а). Кореневі проходи при зварюванні цієї сталі виконували на мідній підкладці. Режим автоматизованого ІДЗ був наступним:  $I_{cp} = 220...240$  А,  $U_d = 26...28$  В,  $V_{зв} = 14...21$  м/год. У даному випадку, де  $I_i$  – струм в імпульсі (450 А),  $I_n$  – струм в паузі (160 А),  $t_i$  та  $t_n$  – тривалість імпульсу та паузи відповідно. Дослідні зразки з використанням ІДЗ на форсованому режимі виконувались для стикових з'єднань без розробки кромки:  $I_{cp} = 320$  А,  $U_d = 28$  В,  $V_{зв} = 18$  м/год. Слід зазначити, що в цьому випадку було забезпечено якісне формування шва з повним проваром (рис. 1, б), що є неможливим у випадку використання традиційного процесу зварювання.

З метою дослідження впливу режимів ІДЗ на термічні цикли зварювання було проведено відповідні експерименти. Для фіксації ТЦЗ використовували сталеві пластини товщиною 10 мм (рис. 2), в які всвердлювали хромель-алюмелеві термопари на глибину 7,5...8,0 мм. Така величина глибини всвердлювання ґрунтується на попередніх дослідженнях та зумовлена необхідністю реєстрації ТЦЗ саме на ділянці ЗТВ.

Металографічні дослідження проводилися за допомогою растрового електронного мікроскопу на Miра 3 LMU (Tescan). При дослідженні використовувались детектор вторинних електронів (позначення SE на електронному знімку) та детектор пружньовідбитих електронів (позначення BSE на електронному знімку). Для оцінки елементного складу під час дослідження використовувалися детектор-спектрометр Oxford X-Max 80 та аналітичний програмний продукт INCA Energy\*.

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 викону-

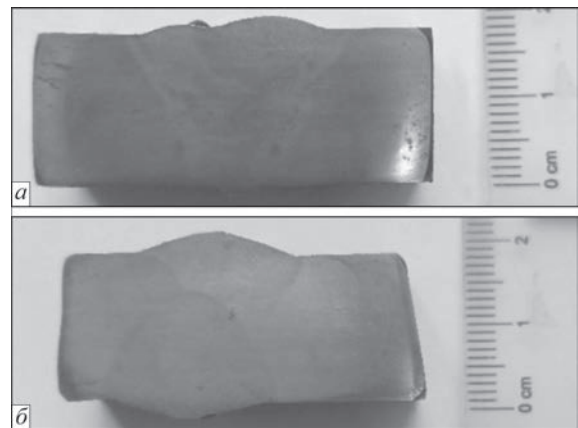


Рис. 1. Макрошліфи зразків стикових з'єднань, виконаних ІДЗ (а) та ІДЗ на форсованому режимі (б)

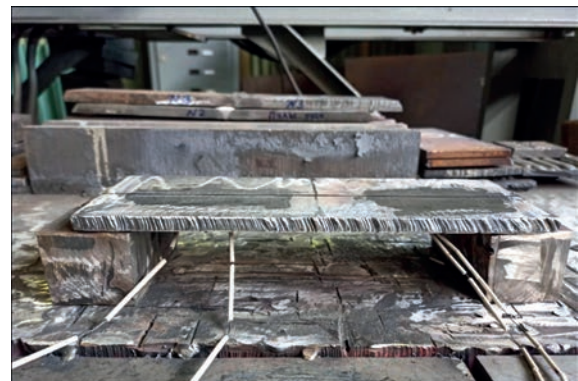


Рис. 2. Оснастка для фіксації термічних циклів зварювання

\* Автори висловлюють подяку В.А. Костіну за сприяння у проведенні металографічних досліджень

вали методом хімічного травлення у 4%-му спиртовому розчині азотної кислоти.

Для проведення механічних випробувань металу швів і ЗТВ із зварних з'єднань виготовляли стандартні зразки. Зразки для випробувань на статичний (короткочасний) розтяг відповідали типу II відповідно до ГОСТ 6996-96. За результатами проведених випробувань оцінювали вплив способу зварювання на зміну наступних показників металу ЗТВ: міцності ( $\sigma_T$  і  $\sigma_B$ , МПа), пластичності ( $\delta_5$  і  $\psi$ , %).

Здатність металу опиратися крихкому руйнуванню визначали з використанням підходів з механіки руйнування. Значення критеріїв  $K_{IC}$  та  $\delta_C$  визначали за стандартними методиками та за формулами, наведеними у роботі [12]. Для визначення значень критичного коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{IC}$  і критичного розкриття тріщини  $\delta_C$

застосовували зразки прямокутного перерізу розміром 10×20×90 мм з надрізом довжиною 7 мм та тріщиною втомив довжиною 3 мм. Ці зразки випробували на трьохточковий вигин у діапазоні температур від 20 до -40 °С.

**Результати та їх обговорення.** Дослідження зварювально-технологічних характеристик ІДЗ. Поряд із звичайним режимом зварювання, еwm Phoenix Pulse 501 має форсований режим ІДЗ. Особливості даного режиму вивчалися, починаючи з осцилограм зміни зварювального струму в залежності від часу. На рис. 3 наведені осцилограми для ІДЗ стандартного та форсованого режимів. Детальний аналіз показав, що частота слідування імпульсів відповідає 58 кГц, і вона відповідає стандартному ІДЗ. Форсований режим відрізняється скважністю імпульсів. Якщо при стандарт-

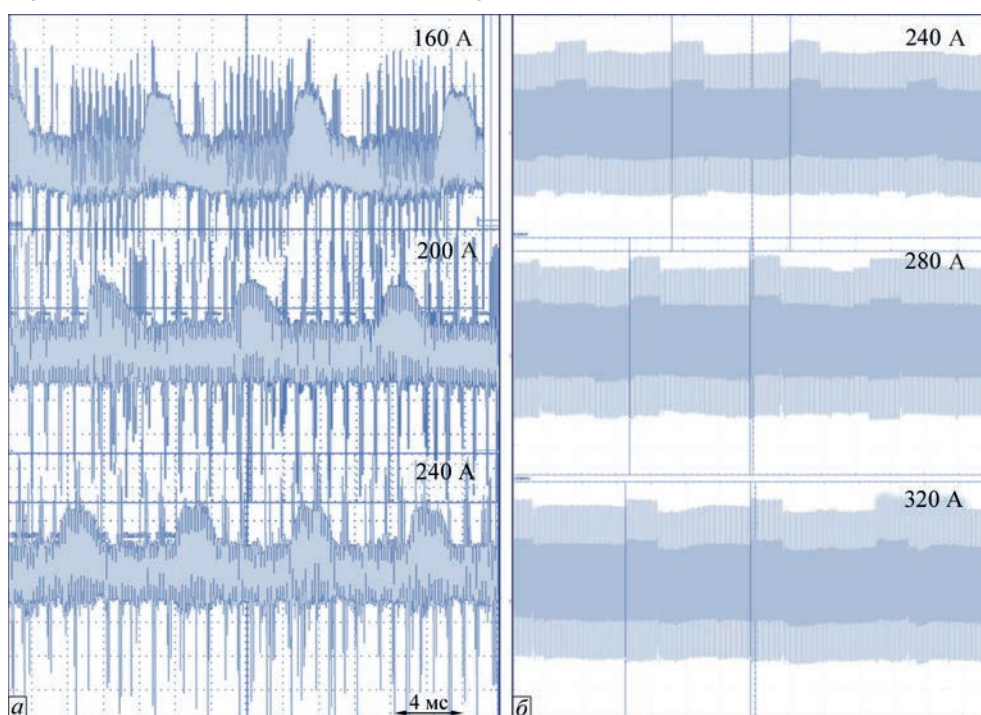


Рис. 3. Осцилограми для інверторного джерела живлення, стандартний імпульсно-дуговий (а) та імпульсно-дуговий форсований режим (б) зварювання

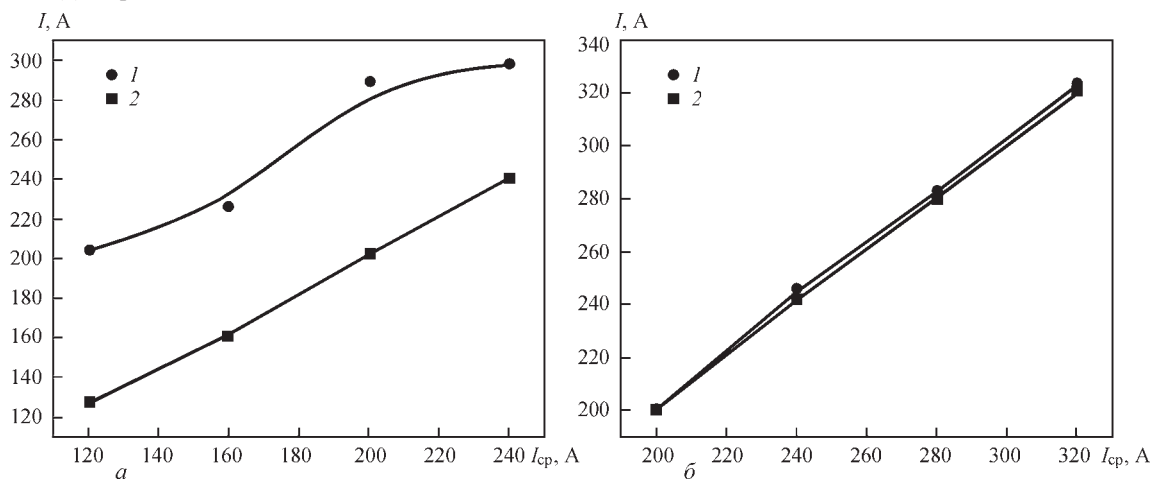


Рис. 4. Залежність ефективного (1) та середнього (2) струмів зварювання, стандартний імпульсно-дуговий (а) та імпульсно-дуговий форсований режим (б) зварювання



ному імпульсно-дуговому режимі з ростом середнього струму зварювання скважність зростає, то у форсованому режимі скважність незмінна, натомість змінюються параметри струмів у імпульсі та у паузі. В імпульсі струм постійний та дорівнює 500 А, а струм паузи з ростом середнього струму зростає. Крім цього, суттєво відрізняється форма імпульсу, а саме, якщо при ІДЗ на стандартному імпульсно-дуговому режимі імпульс має параболічну форму, як було встановлено в роботі [12], то у випадку форсованого режиму – форма імпульсу прямокутна. А ефективний струм зварювання дорівнює середньому струму зварювання, в той час як при ІДЗ на стандартному режимі ефективний струм зварювання на 25 % більший (рис. 4).

*Дослідження структури та властивостей основного металу.* Внаслідок проведення контрольованої термомеханічної прокатки в діапазоні температур 900...700 °С з прискореним охолодженням у вихідній структурі сталі S460M утворюється дрібнозерниста полосчата феритно-перлітна структура з розміром зерен близько 20 мкм та твердістю *HV* 195 (рис. 5).

Така структура сталі S460M вказаного вище хімічного складу забезпечує наступний рівень меха-

нічних властивостей: межа плинності  $\sigma_{0.2} = 452$  МПа, межа міцності  $\sigma_b = 581$  МПа, відносне подовження  $\delta_5 = 26$  %, відносне звуження  $\psi = 58$  %.

Металографічні дослідження структури (рис. 6) зварних з'єднань сталі S460M, які було виконано в попередній роботі [12], свідчать, що при ІДЗ мікроструктура металу шва складається з подрібнених пластини голчастого фериту (1...3 мкм) і зменшеною кількістю поліедрично-

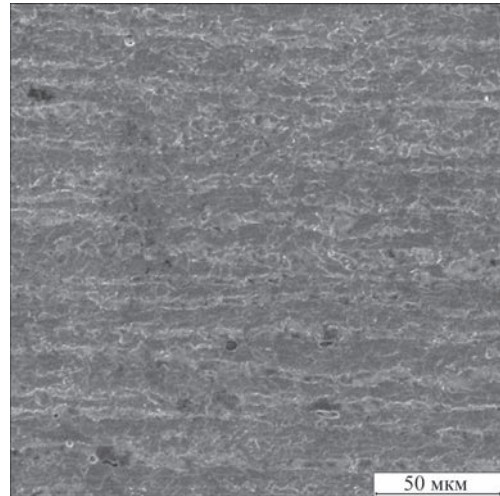


Рис. 5. Мікроструктура сталі S460M

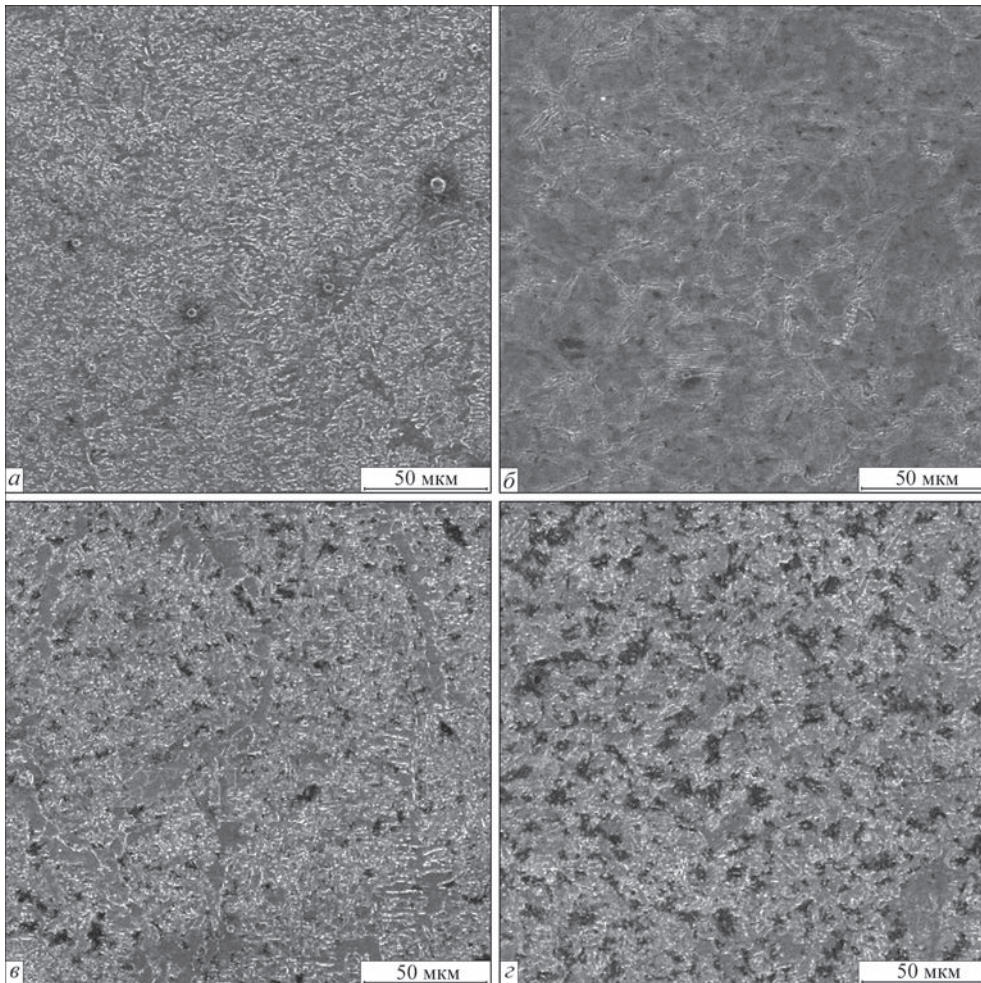


Рис. 6. Мікроструктура металу шва (а, в) та ЗТВ (б, г) сталі S460M, виконаних імпульсно-дуговим (а, б) та імпульсно-дуговим форсованим (в, г) зварюванням

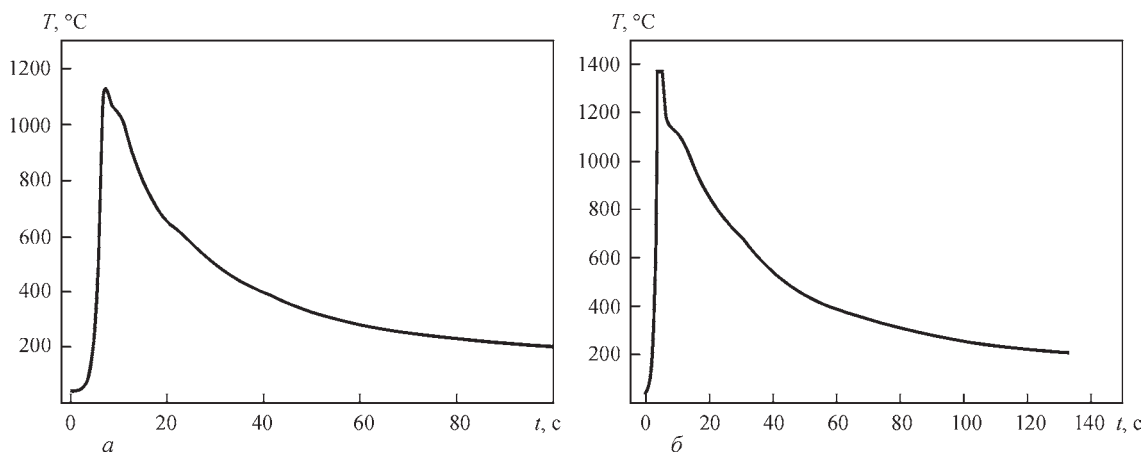


Рис. 7. Термічні цикли зварювання для ІДЗ (а) та ІДЗ на форсованому режимі (б)

го фериту (5...10 %) та виділеннями полігонального фериту (3..10 мкм), що розташований по межах первинних аустенітних зерен. Такі зміни мікроструктури призводять до підвищення в шві твердості до 2420 МПа у порівнянні з основним металом. На ділянці крупного зерна 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 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.

При ІДЗ на форсованому режимі мікроструктура металу шва істотно відрізняється від мікроструктури металу шва, виконаного стандартним ІДЗ, а саме: спостерігається голчастий ферит з більш крупними пластинами, а виділення полігонального фериту стали ширше та їх питома доля збільшилась. Внаслідок цього в металі спостерігається зниження мікротвердості до 2050 МПа. На ділянці крупного зерна ЗТВ спостерігається переважно голчастий ферит з впорядкованою другою фазою. Твердість цієї ділянки ЗТВ відповідно дорівнює 2400...2480 МПа. На ділянці неповної перекристалізації ЗТВ спостерігається утворення перліту і фериту, що істотно знижує твердість у неї до 2160 МПа.

Такі відмінності мікроструктури зумовлені особливостями протікання ТЦЗ при ІДЗ (рис. 7). За рахунок того, що при ІДЗ температура металу вище 1000 °С, швидкість охолодження при цьому буде набагато вище, що призводить до формування у структурі мартенситної складової. При ІДЗ температура металу нижче 1000 °С, швидкість охолодження металу ЗТВ нижче, ніж у дугового зварювання, що сприяє протіканню дифузійних процесів під час структурних перетворень.

При імпульсно-дугових процесах зварювання, як зазначається автором роботи [11], ТЦЗ грає

ключову роль при твердінні металу шва, оскільки впливає на подрібнення структурних складових за рахунок впливу на процеси кристалізації у зварювальній ванні.

Дослідження твердості (рис. 8) зварних з'єднань дозволило встановити, що при форсованому ІДЗ її рівень в металі шва менше на 15 % від твердості металу шва, виконаного стандартним ІДЗ. Це зумовлено особливостями формування структури. У металі ЗТВ значення твердості при імпульсно-дуговому форсованому зварюванні також нижчі ніж при стандартному ІДЗ. Цей факт є додатковою перевагою форсованого ІДЗ, оскільки в зварному з'єднанні буде формуватися однорідний розподіл механічних властивостей. Слід зазначити, що при форсованому ІДЗ твердість у ЗТВ спадає до рівня вихідного металу повільніше.

З наведених у таблиці даних видно, що за умов ІДЗ досягаються більші значення міцності металу шва у порівнянні з основним металом. Пластичність при цьому лишається на достатньо високому рівні. Значення міцності металу шва добре узгоджуються з показниками твердості для ділянки металу шва, а саме, не перевищують значення основного металу більше ніж на 20 %. При викорис-

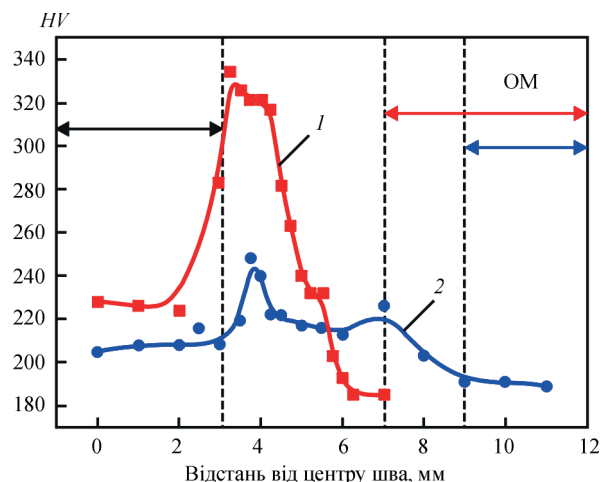


Рис. 8. Твердість зварних з'єднань сталі S460M при ІДЗ (1) та ІДЗ на форсованому режимі (2)



## Механічні властивості металу шва з'єднань сталі S460M при різних способах зварювання

Ділянка	Спосіб зварювання	$\sigma_{\text{т}}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$	$\psi$
Шов	ІДЗ	570	667	24	68
	ІДЗ на форсованому режимі	590	675	23	55
ОМ		452	581	26	60

танні форсованого ІДЗ, враховуючи, що твердість металу ЗТВ має значення не більші за 20...25 % від основного металу, це забезпечує рівномірність зварного з'єднання.

Для оцінки чутливості ділянок металу зварних з'єднань до концентрації напружень в умовах плоскої деформації при статичному навантаженні використовується силовий критерій – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень  $K_{1C}$ . При підвищенні значень  $K_{1C}$  чутливість металу до концентрації напружень знижується. Деформаційні критерії руйнування застосовуються для визначення тріщиностійкості матеріалів руйнування, що супроводжується значними пластичними деформаціями на ділянці біля вершини тріщини та передують її поширенню. Цей критерій має назву критичне розкриття вершини тріщини –  $\delta_c$ . Якщо розкриття берегів є більшим за  $\delta_c$ , то напруження зчеплення дорівнюють нулю. За його допомогою здійснюється оцінка опору металу крихкому руйнуванню в умовах великої пластичної деформації, коли тріщина у своїй вершині досягає критичних розмірів значення  $\delta_c$  і починає швидко розповсюджуватися, використовуючи енергію, що вивільняється при подальшому її зростанні. Показники опірності крихкому руйнуванню металу ЗТВ зварних з'єднань, виконаних стандартним ( $K_{1C} = 100 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ,  $\delta_c = 0,11 \text{ мм}$ ) та форсованим ( $K_{1C} = 100 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ ,  $\delta_c = 0,18 \text{ мм}$ ) ІДЗ, майже рівні та знаходяться на достатньо високому рівні, що зумовлено особливостями формування структури.

## Висновки

Виконані дослідження впливу стандартного та форсованого ІДЗ на структуру та механічні властивості термомеханічно обробленої сталі S460M дозволили встановити наступні переваги останнього:

- в порівнянні зі стандартним ІДЗ, форсоване дозволяє проведення зварювання без розробки кромки з отриманням якісного зварного з'єднання;

- на 30 % менші значення мікротвердості в зоні термічного впливу зварного з'єднання у порівнянні зі стандартним ІДЗ зумовлено особливостями термічного циклу зварювання;

- на 15 % менші значення мікротвердості металу шва у порівнянні із стандартним ІДЗ та близькі до значень основного металу, що забезпечується формуванням сприятливої мікроструктури;

- високий рівень опірності крихкому руйнуванню зварних з'єднань.

Зазначені особливості форсованого імпульсно-дугового зварювання дозволяють забезпечити високі механічні властивості зварних з'єднань термомеханічно зміцненої сталі S460M, що для такого класу сталей є головною задачею. Продемонстровано, що можливість проведення форсованого ІДЗ без розробки кромки, крім цього, дозволяє підвищити продуктивність процесу на 40 %.

## Список літератури/References

1. Lee, C.H., Shin, H.S., Park, K.T. (2012) Evaluation of high strength TMCP steel weld for use in cold regions. *J. Constr. Steel Res.*, 74, 134–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.02.012>.
2. Medina, S.F., Gómez, M., Gómez, P.P. (2010) Effects of V and Nb on static recrystallisation of austenite and precipitate size in microalloyed steels. *J. Mater. Sci.*, 45, 5553–5557. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4616-z>.
3. Fossaert, C., Rees, G., Maurickx, T., Bhadeshia, H.K.D.H. (1995) The effect of niobium on the hardenability of microalloyed austenite. *Metall. Mater. Trans. A.*, 26, 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02669791>.
4. Nazarov, A.V., Yakushev, E.V., Shabalov, I.P. et al. (2014) Comparison of weldability of high-strength pipe steels microalloyed with niobium, niobium and vanadium. *Metallurgist*, 7, 911–917. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11015-014-9821-6>.
5. Zhdovceev, A., Poznyakov, V., Baudin, T. et al. (2021) Welding Thermal Cycle Impact on the Microstructure and Mechanical Properties of Thermo-Mechanical Control Process Steels. *Steel research international*, 92(6), p.2000645.
6. Needham, J.C., Carter, A.W. (1965) Material transfer characteristics with pulsed current. *Brit. Weld. J.*, 5, 229–241.
7. Palani, P.K., Murugan, N. (2006) Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 1–10.
8. 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.
9. Позняков В.Д., Завдовцев А.В., Гайваронский А.А. и др. (2018) Влияние режимов импульсно-дуговой сварки на параметры металла шва и ЗТВ сварных соединений, выполненных проволокой Sv-08X20H9Г7Т. *Автоматическая сварка*, 9, 9–16. Poznyakov, V.D., Zhdovceev, A.V., Gajvoronsky, A.A. et al. (2018) Effect of pulsed-arc welding modes on the parameters of welded joints produced with Sv-08Kh20N9G7T wire. *The Paton Welding J.*, 9, 7–12.
10. Amin, M., Ahmed, N. (1987) Synergic control in MIG welding 2-power current controllers for steady dc open arc operation. *Met. Construct.*, 6, 331–340.
11. Rajasekaran, S. (1999) Weld bead characteristics in pulsed GMA welding of Al–Mg alloys. *Weld. J.*, 78(12), 397–407.
12. Завдовцев А.В., Позняков В.Д., Rogante М. та ін. (2020) Особливості формування структури і властивості з'єднань сталі S460M, виконаних імпульсно-дуговим зварюванням. *Автоматичне зварювання*, 6, 11–16. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.06.02> Zhdovceev, A.V., Poznyakov, V.D., Rogante, M. et al. (2020) Features of structure formation and properties of joints of S460M steel made by pulsed-arc welding. *The Paton Welding J.*, 6, 9–13. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.06.02>

## INFLUENCE OF A FORCED MODE OF PULSE-ARC WELDING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF JOINTS OF STEEL OF THE STRENGTH CLASS C440

A.V. Zavdoveev<sup>1</sup>, V.D. Poznyakov<sup>1</sup>, M. Rogante<sup>2</sup>, S.L. Zhdanov<sup>1</sup>, T.G. Solomiichuk<sup>1</sup>, O.A. Shyshkevych<sup>1</sup><sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Rogante Engineering Office, 62012 Civitanova Marche, Italy

In the work the influence of a pulsed-arc forced welding on the structure formation and properties of welds and HAZ metal as compared to standard pulsed arc welding was studied. On the example of a high-strength steel S460M, it was shown that a pulsed-arc forced welding can effectively regulate the structural formation. Change in the thermal cycle of welding, namely accelerated heating and delayed cooling, leads to the formation of the optimal structure in the weld and HAZ and, which allows obtaining high strength and resistance to brittle fracture. Advantages of a pulsed-arc forced welding allow welding without edge preparation, which significantly improves the efficiency of the process as a whole. 12 Ref., 1 Tabl., 8 Fig.

*Keywords: pulse-arc welding, high-strength steel, weld and HAZ metal, thermodeformation cycle, structure, properties of welded joints*

Надійшла до редакції 30.06.2021

### МОЛОДІЖНА МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

26 жовтня 2021 р. Радою молодих вчених Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України в онлайн режимі під егідою Міжнародного інституту зварювання була проведена молодіжна міжнародна конференція «Зварювання та споріднені технології» – Young Professionals International Conference on Welding and Related Technologies (YPICandWRTYS 2021 digital). Даний захід об'єднав між собою ювілейну 10 конференцію для молодих науковців «Зварювання та споріднені технології» - WRTYS, яка традиційно проводиться кожні два роки в Києві, та 6 Міжнародну конференцію для молодих спеціалістів в області зварювання – YPIC, яка проводиться щорічно і вже пройшла в таких країнах як Угорщина, Німеччина та Франція. У зв'язку зі світовою пандемією, спричиненою вірусом Covid-19, та карантинними обмеженнями, даний захід був перенесений з 2020-го на 2021-й рік. Проте організувати конференцію в традиційний спосіб на даний час було неможливо, тому оргкомітетом було прийнято рішення провести її в онлайн режимі.

Конференцію було відкрито урочистою промовою директора ІЕЗ ім. Є.О. Патона академіка НАН України професора І.В. Кривцуна. В своїй промові він відмітив важливість проведення подібних заходів, які сприяють інтеграції молодих спеціалістів до світової спільноти в області зварювання та споріднених технологій.

На конференцію зареєструвалися молоді спеціалісти з України, Німеччини, Бельгії, Казахстану, США, Індії та Мексики. Робочою мовою конференції була англійська. Учасники робили доповіді на таких секціях: «Передові технології в зварюванні та з'єднанні матеріалів», «Аддитивне виробництво, нанесення покриттів та різання», «Інноваційні технології та процеси в металургії», «Міцність зварних конструкцій», «Нові структурно-функціональні матеріали, наноматеріали та композити» та «Чисельне моделювання процесів та матеріалів».

В обговоренні також прийняв участь голова молодих лідерів при Міжнародному інституті зварювання (IIW) – Ернест Леверт (США), який в 2002–2003 рр. був президентом Американської асоціації зварювання (AWS), а зараз займає посаду старшого спеціаліста в одній з провідних компаній оборонної промисловості США – Lockheed-Martin. Після вітальної промови він зробив одну з найцікавіших доповідей, де розповів про зварювання компонентів для Міжнародної космічної станції.

Організаторами конференції відзначено найкращі доповіді: Олександра Хожанова з Східно-Казахстанського технічного університету ім. Д. Серікбаєва на тему: «Дослідження гранулометричного складу та швидкості руху дисперсних частинок цирконієвого дроту під час мікроплазменного наплення», Галини Михайлової з Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України на тему: «Зміна властивостей вуглецевих нанотрубок під зовнішнім впливом», Романа Колісника з Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України на тему: «Покращення ефективності нагрівальних елементів для зварювання опором термопластів» та Михайла Ворона з Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України на тему: «Виробництво дрібнокристалічних лігатур на основі алюмінію з використанням технології електронно-променевого лиття».

Рада молодих вчених ІЕЗ ім. Є.О. Патона дякує дирекції свого Інституту, Міжнародному інституту зварювання та всім, хто долучився до організації та участі в конференції «YPIC&WRTYS 2021 digital».

*С. Шваб, канд. техн. наук*