

О. М. Матвієнків¹
В. В. Циганчук¹
А. Я. Мельник¹

РЕМОНТ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ НА ДІЮЧИХ ТРУБОПРОВОДАХ MIG/MAG ЗВАРЮВАННЯМ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Значна частина магістральних трубопроводів України експлуатується вже тривалий час та потребує відновлювального ремонту. Найпоширенішим методом ремонту є заплавлення дефектних ділянок з корозійними пошкодженнями з використанням дугового зварювання. Але під час проведення зварювальних робіт на діючих трубопроводах існує небезпека наскрізного проплавлення або надмірного нагріву стінки труби зварювальною дугою, що може призвести до її руйнування внутрішнім тиском. Вирішити проблему безпечного ремонту поверхневих дефектів трубопроводів під тиском можна зменшивши тепловий вплив на стінку труби.

Експериментально досліджено поширення теплоти під час наплавлення валиків на пластину з трубної сталі марки 17ГС, ручним дуговим зварюванням та напіваавтоматичним MIG/MAG зварюванням з керованим перенесенням металу в імпульсному режимі. При цьому виконувались вимірювання показників температурних змін в стінці труби у шести точках на різній глибині, та їх подальше оброблення, з використанням термопар хромель–алюмель К-типу, підключених до мікроконтролера Arduino. Проведено макроструктурні дослідження та визначено глибину проплавлення і зону термічного впливу наплавлених валиків. Результати досліджень показали, що під час MIG/MAG зварювання в імпульсному режимі, максимальна температура стінки труби на 168 °С (31 %) нижча, ніж під час ручного дугового зварювання, а також і швидкість охолодження є більшою. Таке зниження тепловкладення є значним і мінімізує ризик термічного пропалу стінки труби. При зварюванні в імпульсному режимі якість наплавлених валиків є значно кращою, зменшується глибина проплавлення та втричі менша зона термічного впливу. Встановлено, що застосування MIG/MAG зварювання з імпульсним режимом краплеперенесення електродного металу під час ремонту поверхневих дефектів стінки труби на діючих трубопроводах ефективніше та продуктивніше, ніж ручне дугове зварювання, а також безпечніше та економічніше, оскільки гарантує виконання швидкого та ефективного ремонту без ризику термічного пропалювання стінки труби.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, дефекти, тепловий вплив, MIG/MAG зварювання, імпульсний режим.

Вступ

На території України експлуатується велика кількість магістральних трубопроводів загальною довжиною понад 42000 км. Основну частину (приблизно 35000 км) становлять магістральні газопроводи, решту — нафтопроводи (3700 км) і продуктопроводи (3400 км).

Українська газотранспортна система поєднана з магістральними газопроводами Росії, Польщі, Білорусі, Румунії, Молдови, Угорщини та Словаччини. Ще донедавна Україна забезпечувала постачання понад 93 % російського газового експорту в Європу. І, хоча за останній час обсяг транзиту російського газу через територію України зменшився, українська газотранспортна система залишається важливою ланкою в системі енергетичної безпеки як України, так і Євросоюзу.

Значна частина магістральних газопроводів експлуатується понад 30 років і потребує відновлювального ремонту.

Класичний метод ремонту, що передбачає зупинку трубопроводу з подальшою заміною його дефектної ділянки, вимагає значних фінансових витрат і пов'язаний з вимушеним простоєм тру-

бопроводу та екологічними порушеннями. Це зумовлює необхідність розробки методів ремонту газопроводів під тиском без виводу їх з експлуатації [1].

Найтехнологічнішим у виконанні і найвигіднішим в економічному плані є спосіб заплавлення дефектної ділянки з корозійними пошкодженнями з використанням дугового зварювання. Після такого ремонту пошкодженої ділянки труба залишається досить надійною в експлуатації.

Однак під час виконання зварювальних робіт на діючому трубопроводі існує небезпека наскрізного проплавлення або надмірного нагріву стінки труби зварювальною дугою, що може призвести до її руйнування внутрішнім тиском [2], та підтверджується результатами досліджень у роботі [3].

Попри те, що державні стандарти та нормативні документи чітко регламентують технології ремонту магістральних трубопроводів, активний розвиток сучасних технологій, спонукає до розроблення перспективніших способів ремонту поверхневих дефектів на діючих трубопроводах. Ці способи, зазвичай, передбачають використання новітніх технологій та обладнання, які ще не пройшли всі етапи перевірки перед впровадженням їх у повноцінний процес ремонту.

Тому, для ремонту поверхневих дефектів магістральних трубопроводів розробляються нові режими заплавлення та пропонується нове обладнання та зварювальні матеріали. А саме у роботі [4] автор аналізує термічний вплив на безпеку руйнування стінки труби та пропонує нову технологію заплавлення вибірки корозійних дефектів, яка враховує вплив температури на зону ремонту. В цій технології пропонується застосовувати особливу послідовність накладання «валик на площині—відпущений валик». В процесі ремонту наплавленням спочатку накладається зварний шов по периметру дефекту, за ним йдуть шари послідовних паралельних заповнюючих проходів, які бажано накладати в круговому напрямку труби. Такий багатопрхідний ремонт забезпечує найбільшу величину відпуску зони термічного впливу першого проходу.

Такої ж думки дотримуються автори в роботі [5], а саме пропонується з умов безпеки заварювати дефект валиками по колу, починаючи з крайніх ділянок, розташованих вздовж твірної, що дозволяє зменшити в процесі ремонту протяжність дефекту у вказаному напрямку.

У роботі [6] досліджується вплив попереднього підігріву на процес ремонту корозійних дефектів та розроблено методики визначення тривалості міжопераційного інтервалу і його коригування при підігріві під час ремонту на газопроводах під тиском. Показано, що компенсацію тепловідведення за рахунок розширення ділянки додаткового підігріву під час ремонту газопроводу під тиском доцільно проводити до величини 200 мм по периметру вибірки, оскільки в цих умовах основний вклад у зниження температури вносить конвективне тепловідведення в газ.

Як показують дослідження в роботі [7], ремонтуючи корозійні дефекти, доцільно замінити ручне дугове зварювання на механізоване зварювання з використанням порошкового дроту. Застосування порошкових дротів дозволяє досягти зменшення погонної енергії за рахунок того, що порошковий сердечник створює «охолоджуючий ефект». Це відбувається тому, що частина теплової потужності відводиться на розплавлення порошкового сердечника, а це своєю чергою знижує температурний вплив на основний метал трубопроводу. Застосування механізованого зварювання порошковим дротом дозволить також зменшити затрати часу на проведення ремонтних робіт.

Проаналізувавши літературні джерела, що висвітлюють проблеми ремонту магістральних трубопроводів бачимо різні підходи для вирішення проблеми безпечного заплавлення поверхневих дефектів трубопроводів під тиском і практично всі вони ґрунтуються на зменшенні теплового впливу на стінку труби.

З розвитком цифрових технологій останніми роками на ринку з'явилась велика номенклатура зварювального обладнання з керованим перенесенням електродного металу. Керування зварювальною дугою та її властивостями необхідне для підвищення стабільності горіння дуги і отримання направлено перенесення електродного металу в зварювальну ванну, що особливо актуально у разі зварювання в стельовому та вертикальному положеннях, а також впливу на процеси, що відбуваються в зварювальній ванні та навколошовній зоні (керування первинною кристалізацією металу шва і термічним циклом в навколошовній зоні) [8].

Метою роботи є дослідження процесу ремонту поверхневих дефектів труб магістральних трубопроводів MIG/MAG зварюванням в імпульсному режимі.

Результати дослідження

У роботі досліджено термічний вплив у разі ручного дугового зварювання та напівавтоматичного MIG/MAG зварювання в імпульсному режимі.

Для знімання показників температурних змін, для їх завантаження в системи керування з метою подальшої обробки найефективнішими є високоточні, малоінерційні датчики, здатні витримувати більші температурні навантаження в певному діапазоні вимірювань, так звані термопари.

Для проведення досліджень застосовувалась термопара хромель–алюмель К-типу, яка є найпоширенішою в промисловості та наукових дослідженнях і дозволяє вимірювати температури до 1100 °С і короткочасно — до 1300 °С. Але сама термопара вимірює не температуру, а напругу, яка рівна кільком мілівольтам, тому цю напругу необхідно перевести в цифрове значення температури. Для цього термопари підключаються до модулів MAX6675, сигнали від яких передаються в пам'ять мікроконтролера Arduino по послідовному інтерфейсу SPI. Для опрацювання отриманих сигналів скомпільовано скетч в інтегрованому середовищі розробки Arduino.

Середовище розробки засноване на мові програмування Processing та спроектоване для програмування новачками, незнайомими близько з розробкою програмного забезпечення.

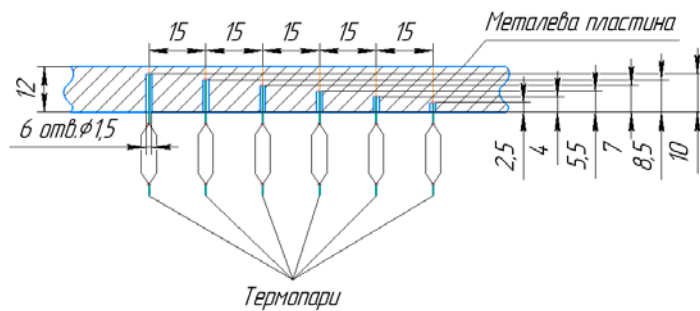


Рис. 1. Схема встановлення термопар в металеву пластину

Основним завданням досліджень є визначення температури стінки труби на різній глибині під час заплавлення вибірки корозійних дефектів.

Для цього у пластині вздовж однієї осі просвердлено 6 отворів різної глибини, діаметром 1,5 мм та відстанню між отворами 15 мм, в які зачеканювались термопари. Схема встановлення термопар показана на рис. 1.

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах на спе-

ціально зібраному стенді (рис. 2).



Рис. 2. Стенд для проведення досліджень: 1 — металева плита; 2 — термопари; 3 — макетна плата з підключеними модулями MAX6675; 4 — ноутбук; 5 — мікроконтролер Arduino UNO

Наплавлення валика проводилось по осі встановлених термопар зі зворотної сторони пластини. Під час наплавлення в режимі реального часу записувались дані з усіх термопар на комп'ютер.

В процесі досліджень наплавлення валиків здійснювалось на металеву пластину зі сталі 17ГС товщиною 12мм вирізану з труби, що була в експлуатації. Наплавлення проводилось способами ручного дугового зварювання та дугового імпульсного зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG) з керованим краплеперенесенням електродного металу.

Під час проведення зварювальних робіт встановлювались параметри, що відповідають ГБН В.3.1-00013741-12:2011, а також технічним вимогам щодо обладнання та зварювальних матеріалів. Після наплавлення валиків на пластину отримали два валики з приблизно однаковими геометричними характеристиками. А саме ширина валика в обох випадках становила 11...12 мм, а висота 2,5...3,0 мм. Але валик, виконаний MIG/MAG зварюванням в імпульсному режимі, якісніший, він щільний і гладкий, на відміну від валика, наплавленого ручним дуговим зварюванням, який має виражену лускату поверхню.

У першому випадку процес наплавлення тривав 55 с, у другому випадку — 30 с, при цьому довжина валика, виконаного ручним дуговим зварюванням, становила 125 мм, а довжина валика, виконаного напівавтоматичним зварюванням, — 139 мм. Це свідчить про значно вищу продуктивність напівавтоматичного зварювання.

В процесі наплавлення знімалися показники температури по товщині пластини на різній глибині. На основі отриманих даних побудовано графіки нагрівання та охолодження у разі ручного дугового зварювання (рис. 3) та напівавтоматичного зварювання в імпульсному режимі (рис. 4).

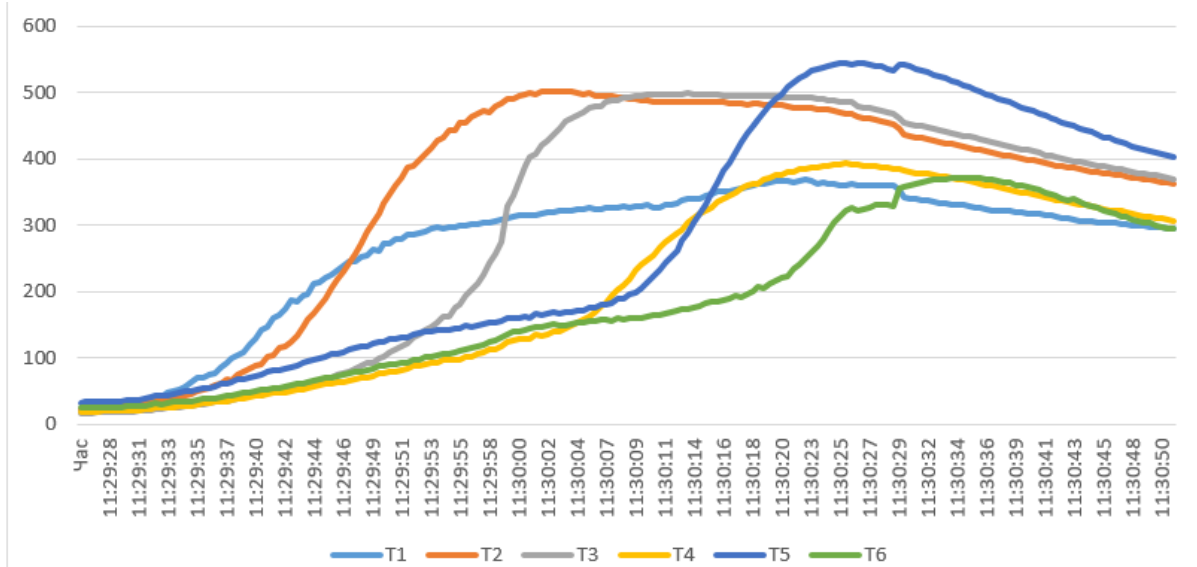


Рис. 3. Графік нагрівання та охолодження в процесі наплавлення валика ручним дуговим зварюванням

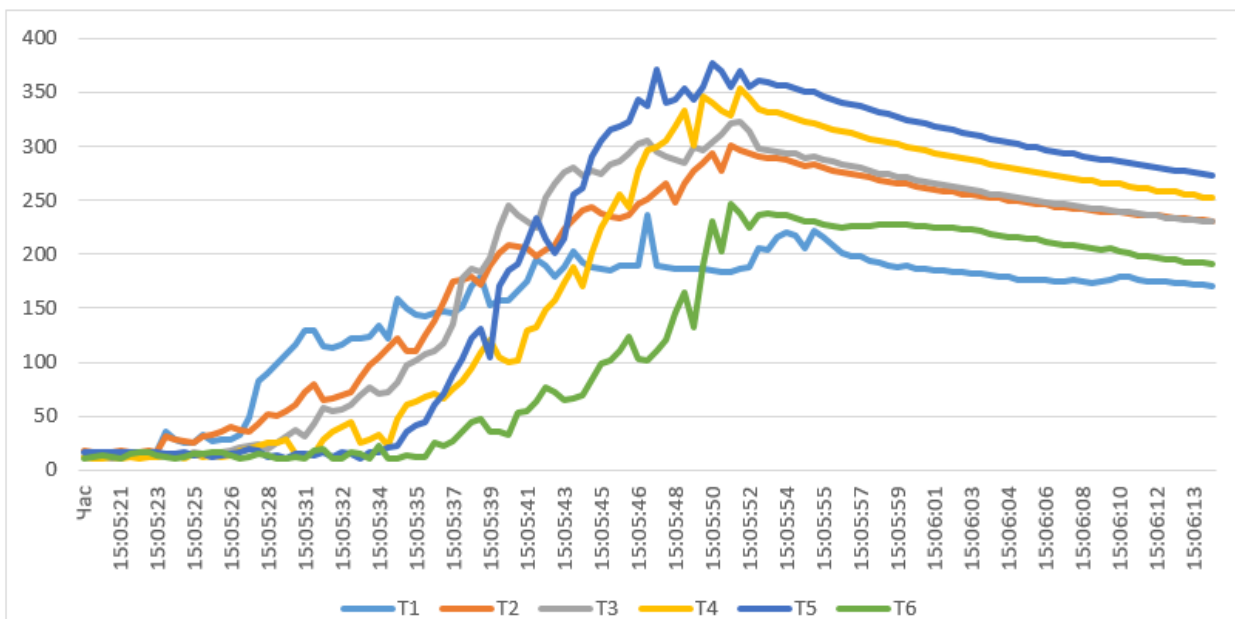


Рис. 4. Графік нагрівання та охолодження в процесі наплавлення валика MIG/MAG зварюванням в імпульсному режимі

Як бачимо, всі термодатчики в піковий момент при наплавленні методом ручного дугового зварювання показують значно вищі температури, ніж у разі наплавлення MIG/MAG зварюванням в імпульсному режимі. В першому випадку найбільшу температуру показує термодатчик № 5 — 545 °С, у другому випадку найбільша температура також зафіксована термодатчиком № 5 — 377 °С. Ця температура нижча на 168 °С, або ж на 31 %. Таке зниження тепловкладення є значним і воно мінімізує ризик термічного пропалу стінки труби.

У першому випадку криві діаграми є плавними, а в другому випадку на кривих помітні стрибки температури. Це пояснюється тим, що при ручному дуговому зварюванні величина струму є пос-

тійною, а у разі MIG/MAG зварювання струм змінюється за рахунок імпульсів. Це дозволяє зварювальній ванні моментально охолоджуватися на певну величину.

Після закінчення зварювання в імпульсному режимі охолодження металу відбувається стрімко, що відображають практично рівні лінії на графіку (рис. 4), а у разі ручного дугового зварювання ці лінії є плавнішими (рис. 3), що свідчить про повільніше охолодження. Це пояснюється тим, що під час наплавлення ручним дуговим зварювання покритими електродами на поверхні зварного шва утворюється шлакова кірка, що обмежує доступ повітря до наплавленого валика і тому відбувається сповільнення охолодження. Під час MIG/MAG зварювання захисний газ додатково охолоджує шов у процесі наплавлення.

Для визначення глибини проплавлення з пластини з наплавленими валиками вирізано зразки та проведено дослідження макроструктури наплавлених валиків (рис. 5).

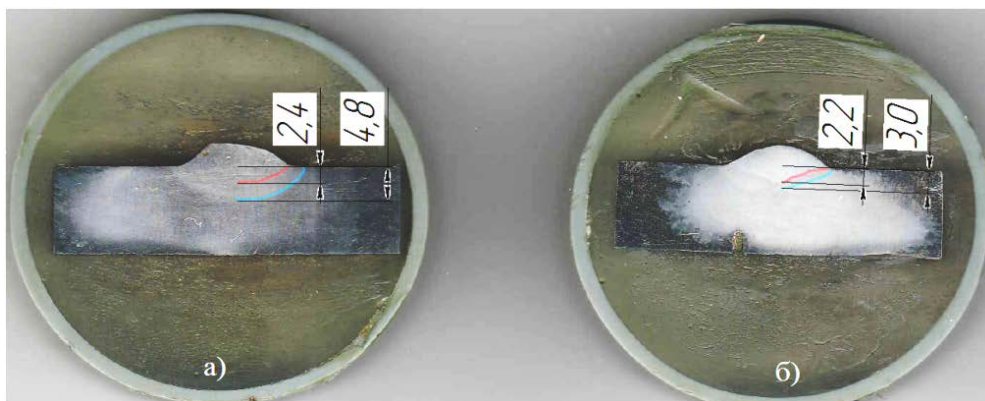


Рис. 5. Макроструктура зварних швів: а — ручне дугове зварювання; б — MIG/MAG зварювання в імпульсному режимі

Як бачимо в обох випадках чітко видно форму зварного шва а також глибину та форму проплавлення основного металу. У разі ручного дугового зварювання глибина проплавлення (2,4 мм) є більшою ніж у разі дугового імпульсного зварювання в середовищі захисних газів з керованим краплеперенесенням електродного металу (2,2 мм).

У першому випадку форма проплавлення є дугоподібною а у другому — вона є загостреною з піком проплавлення посередині зварного шва.

Також у разі ручного дугового зварювання зона термічного впливу є втричі більшою ніж у разі MIG/MAG зварювання в імпульсному режимі. У першому випадку зона термічного впливу складає приблизно 2,4 мм, у другому випадку вона не перевищує 0,8 мм.

Висновки

1. Результати досліджень показали, що застосування MIG/MAG зварювання з імпульсним режимом краплеперенесення електродного металу в процесі ремонту дефектів стінки труби, є ефективнішим ніж ручне дугове зварювання, оскільки дозволяє знизити інтенсивність поширення тепла по товщині стінки труби, що в свою чергу призведе до зниження тепловкладення і зменшення розмірів зони термічного впливу.

2. Запропонована технологія заплавлення вибірки корозійних дефектів на діючому трубопроводі є безпечнішою та економічною, оскільки вона гарантує виконання швидшого та ефективнішого ремонту поверхневих пошкоджень газопроводу без ризику термічного пропалювання стінки труби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. О. Подолян, «Система контролю якості монтажу муфти з внутрішнім заповненням на діючий трубопровід.» Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.13. Київ, 2013. 24 с.
- [2] В. С. Бут, и О. И. Олейник, «Развитие в Украине технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации.» *Автоматическая сварка*, № 5, с. 42-50, 2014.
- [3] W. A. Bruce, H. D. Mishier, and J. F. Kiefner, "Repair of pipelines by direct deposition of weld metal," in *A. G. A. Pipeline research committee. – PR-185-9110*. Edison Welding Inst., 1993.
- [4] Р. Р. Шафиков, «Ремонт газопроводов методом наплавки без остановки транспортировки газа.» Автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.19. Москва, 2015. 24 с.
- [5] В. И. Махненко, В. С. Бут, С. С. Козлитина, и О. И. Олейник, «Риск разрушения магистрального трубопровода с дефектами утонения стенки при ремонте под давлением.» *Автоматическая сварка*, № 1, с. 11-14, 2010.

[6] И. В. Волков, «Разработка технологии ремонта газопроводов в условиях интенсивного теплоотвода.» Дис. канд. техн. наук : 05.02.10 , РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина. Москва, РФ, 2017. 150 с.

[7] В. А. Рыбин, «Исследование теплового воздействия от сварочной дуги на стенку трубопровода при ремонте дефекта типа “потеря металла”,» *Экспозиция Нефть Газ*, № 1 (40), с. 60-61, 2015.

[8] А. Г. Крампит, Е. А. Зернин, и М. А. Крампит, «Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки,» *Технологии и материалы*, № 1, с. 4-10, 2015.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 04.02.2020

Матвієнків Олег Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедри зварювання, e-mail: olegmatvienkiv@gmail.com ;

Циганчук Василь Васильович — асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;

Мельник Андрій Ярославович — студент Інституту інженерної механіки.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

O. M. Matvienkiv¹

V. V. Tsyhanchuk¹

A. Ya. Melnyk¹

Repair of Surface Defects on Active Pipelines with MIG/MAG Welding in Impulse Mode

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

A significant part of Ukraine's trunk pipelines have been in operation for a long time and require renovation. The most common method of repair is welding of defective areas with corrosion damage using arc welding. But while performing welding work on active pipelines there is a danger of through-penetration or excessive heating of the pipe wall with the welding arc, which can lead to its destruction by internal pressure. The problem of safe repair of the surface defects in pipelines under pressure can be solved by reducing the thermal effect on the pipe wall. Experimental investigations of heat propagation while welding rollers on a 17GS tube steel plate by manual arc welding and semi-automatic MIG/MAG welding with the controlled transfer of metal in the impulse mode were carried out in the article. At the same time, measurements of temperature changes in the wall of the pipe at six points at different depth were taken, using K-type chromel-alumel thermocouples connected to the Arduino microcontroller, and their subsequent processing. Macrostructural investigations were conducted and the depth of penetration and the zone of thermal impact of the welded rollers were determined. The results of the research have shown that by MIG/MAG welding in impulse mode, the maximum pipe wall temperature is 168 ° C (31 %) lower than with manual arc welding. Also, in this method, the cooling rate is higher. Such reduction in heat input is significant and minimizes the risk of thermal burn of the pipe wall. By welding in impulse mode, the quality of the welded rollers is much better, the depth of penetration decreases and the thermal impact zone is three times smaller. The use of MIG/MAG impulse mode welding of drop transfer of electrode metal in the repair of the surface defects of the pipe wall has been found to be more efficient and productive than the manual arc welding, as well as safer and more economical, as it guarantees quick and efficient repair without the risk of thermal burning of the pipe wall.

Keywords: trunk pipelines; defects; thermal impact; MIG/MAG welding; impulse mode.

Matvienkiv Oleh M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Welding, e-mail: olegmatvienkiv@gmail.com ;

Tsyhanchuk Vasyl V. — Assistant of the Chair of Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics;

Melnyk Andrii Ya. — Student of the Institute of Mechanical Engineering

О. М. Матвиенкив¹
В. В. Циганчук¹
А. Я. Мельник¹

Ремонт поверхностных дефектов на действующих трубопроводах MIG/MAG сваркой в импульсном режиме

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Значительная часть магистральных трубопроводов Украины эксплуатируется уже длительное время и требует восстановительного ремонта. Наиболее распространенным методом ремонта является заплата дефектных участков с коррозионными повреждениями с использованием дуговой сварки. Но при проведении сварочных работ на действующих трубопроводах существует опасность сквозного проплавления или чрезмерного нагрева стенки трубы сварочной дугой, что может привести к ее разрушению внутренним давлением. Решить проблему безопасного ремонта поверхностных дефектов трубопроводов под давлением можно, уменьшив тепловое воздействие на стенку трубы.

Экспериментально исследовано распространение тепла при наплавке валиков на пластину из трубной стали марки 17ГС, ручной дуговой сваркой и полуавтоматической MIG/MAG сваркой с управляемым переносом металла в импульсном режиме. При этом снимались показатели температурных изменений в стенке трубы в шести точках на разной глубине, и проводилась их дальнейшая обработка с использованием термопар хромель-алюмель К-типа подключенных к микроконтроллеру Arduino. Проведено макроструктурное исследование и определены глубина проплавления и зона термического влияния наплавленных валиков. Результаты исследований показали, что при MIG/MAG сварке в импульсном режиме, максимальная температура стенки трубы на 168 °С (31 %) ниже, чем при ручной дуговой сварке. Также при этом способе скорость охлаждения больше. Такое снижение тепловложения является значительным, и оно минимизирует риск термического прожога стенки трубы. При сварке в импульсном режиме качество наплавленных валиков значительно лучше, уменьшается глубина проплавления и втрое уменьшается зона термического влияния. Установлено, что MIG/MAG сварка с импульсным режимом каплепереноса электродного металла во время ремонта поверхностных дефектов стенки трубы на действующих трубопроводах является более эффективной и продуктивной чем ручная дуговая сварка, а также более безопасной и экономичной, поскольку гарантирует выполнение быстрого и эффективного ремонта без риска термического прожога стенки трубы.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы; дефекты; тепловое воздействие; MIG/MAG сварка; импульсный режим.

Матвиенкив Олег Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры сварки, e-mail: olegmatvienkiv@gmail.com ;

Циганчук Василий Васильевич — ассистент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики;

Мельник Андрей Ярославич — студент Института инженерной механики