

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ ВДОСКОНАЛЕНОЇ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ЗНОШЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПАРОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Сиренко Т. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Описано особливості виявлення деградації металу зварних з'єднань в умовах тривалої експлуатації та вплив негативних факторів на утворення зварного з'єднання, що використано для вдосконалення зварювальної технології ремонту паропроводів. Відомо, що основним недоліком штатних зварювальних технологій є те, що вони можуть допускати наявність у металі шва і на ділянках ЗТВ «бракувальних» структур або структур, близьких до «бракувальних», а використання відремонтованих за вдосконаленою технологією зварних з'єднань з відповідною структурою та властивостями дозволить збільшити термін експлуатації паропроводів і отримати значний економічний ефект

Ключові слова: зварне з'єднання, структура, відманишетова структура, бейнітна структура, паропровід, зона термічного впливу, ділянка перегріву, ділянка перекристалізації, ділянка неповної перекристалізації, ділянка старіння, зона сплавлення, ділянка додаткового відпуску, «бракувальна» структура, режим зварювання, вибірка.

Вступ

Удосконалення зварювальної технології ремонту елементів паропровідних систем дозволяє збільшити ресурс їхньої експлуатації, оснований на закономірних процесах, що відбуваються під час формування зварних з'єднань. Особливо актуально використовувати вдосконалену технологію ремонту для паропроводів 1-ї категорії, як найбільш інтенсивно пошкоджених у разі тривалої експлуатації в умовах повзучості та малоциклічної втоми.

Аналіз публікацій

Для обладнання електростанцій характерні дворезимні умови експлуатації: стаціонарний режим, коли трубні системи працюють тривалий час за нормальних постійних параметрів робочого середовища, і нестационарний режим, у періоди пусків-зупинок якого відбуваються істотні циклічні зміни параметрів робочого середовища. Службовий термін експлуатації обладнання становить 100–200 тис. год. Енергоустановки протягом такого терміну періодично зупиняються і знову вводяться в експлуатацію. Пуски-зупинки – важкі періоди роботи, оскільки конструкції відчують значні перевантаження, обумовлені дією високих циклічних напружень внаслідок зміни температури й тиску робочого середовища. Напруження розтягування, що виникають у цей момент у процесі вигину, зростають до межі плинності металу, а іноді вище. Кількість пусків-зупинок обладнання досягає 20–30 циклів на рік для енергоуста-

новок, експлуатованих у базовому режимі, і до 100–200 циклів на рік для енергоустановок, що працюють у маневреному режимі. Отже, обладнання протягом 100 тис. на рік експлуатації зазнає приблизно 400–450 циклів або пусків-зупинок за умови базового режиму й близько 2500–3000 циклів під час маневреного режиму. Відповідно трубопроводи з перлітних Cr-Mo-V теплостійких перлітних сталей в умовах тривалої експлуатації зазнають відповідних змін унаслідок проходження складних фізико-хімічних процесів. Зупинки енергоблоків, викликані пошкодженнями зварних з'єднань паропроводів, становлять від 40 до 60 % від загальної кількості їхніх вимушених зупинок, що спонукає до розробки новітніх технологій, які забезпечать підвищений ресурс експлуатації.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є вдосконалення технології зварювання трубопроводів ТЕС на основі вивчення особливостей утворення зварних з'єднань, що працюють в умовах повзучості. Для досягнення мети необхідно вирішити завдання щодо вивчення структур зон термічного впливу зварного з'єднання під дією впливу зварювальної ванни.

Особливості утворення зварних з'єднань

Зварні з'єднання, що виконано електродувим зварюванням плавленням, складається

з двох характерних зон: металу шва та зони термічного впливу. До металу шва належить ділянка зварного з'єднання, в якій під час зварювання відбувалося розплавлення основного металу, перемішування його з наплавленим металом та наступна кристалізація з рідкого стану у твердий з утворенням структури, характерної для литого металу.

Хімічний склад металу шва визначається складом основного й наплавленого металів з урахуванням їхнього перемішування. У багатшарових швах і наплавлення в разі відмінності основного й наплавленого металів частка цих складників змінюється, від шару до шару (від валика до валика), а отже, змінюється і хімічний склад по перетину шва. Метал шва кристалізується в умовах великого перегріву рідкого металу та інтенсивного тепловідведення в основний метал. Середня швидкість охолодження в інтервалі 1500–1300 °С становить 50–80 град./сек². Зона термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань охоплює обсяг основного металу, який у процесі зварювання нагрівається нижче за температуру плавлення. Ширина ЗТВ змінюється від 3 до 30 мм залежно від способу й режиму зварювання, складу й товщини основного металу.

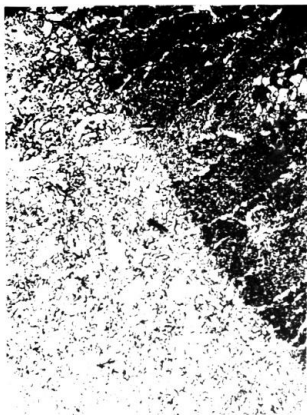


Рис. 1. Межа сплавлення зварного з'єднання сталі 12Х1МФ, що виконано електродами ЦЛ-20М

У ЗТВ розрізняють такі характерні ділянки:

- зони сплаву – ділянка, безпосередньо прилегла до металу шва, який під час зварювання знаходиться в твердо-рідкому стані (нерозплавлені зерна, які роз'єднані рідкими прошарками, пов'язаними з рідкою зварювальною ванною). За складом і структурою ця ділянка може відрізнитися від сусідньої ділянки основного металу за рахунок дифузійних

процесів, що протікають під час контакту рідкої та твердої фази. Через мале значення ширини ділянки сплавлення її часто називають межею сплаву. На рис. 1 показана межа сплаву у зварному з'єднанні, виконаному електродами ЦЛ – 20 м;

- ділянка перегріву, що містить метал, який нагрівався в процесі зварювання від температури 1200 °С до температури плавлення меж зерен основного металу. Завдяки значному перегріву тут має місце зростання аустенітного зерна (рис. 2). Вторинна (кінцева структура цієї ділянки залежить від хімічного складу сталі, розмірів елементів, що зварюються і режиму зварювання в низькоуглецевих сталях на цій ділянці, поряд із виділенням надлишкового фериту по межах зерен, усередині зерен часто утворюється відманштетова структура, що характеризується різко вираженою спрямованістю феритних виділень у вигляді голок під кутом 120° один до одного (рис. 3).



Рис. 2. Ділянка перегріву ЗТВ зварного з'єднання низьколегованої сталі електродами ЦЛ-20; x100



Рис. 3. Відманштетова структура на ділянці перегріву ЗТВ зварного з'єднання; x100

У процесі зварювання низьколегованих сталей на ділянці перегріву можуть утворюватися крупнозернисті гартувальні структури бейніту й мартенситу іноді з феритною облямівкою по межах аустенітних зерен. Для ділянки перегріву зварних з'єднань зі сталі 15X1M1Ф зазвичай характерна наявність більш орієнтованих бейнітних структур (іноді з добре видимими межами аустенітних зерен), ніж у зварних з'єднаннях сталі 12X1M1Ф. Ширина ділянки перегріву в процесі дугового зварювання змінюється від одного до трьох міліметрів. Твердість цієї ділянки зазвичай максимальна порівняно з твердістю інших ділянок зварного з'єднання;

- ділянка перекристалізації або дрібного зерна, що містить метал, який нагрівався в процесі зварювання в інтервалі температур, що перевищують точку A_{c3} . Ця ділянка має дрібнозернисту вторинну структуру (рис. 4). Ширина його змінюється від 1,2 до 4 мм;

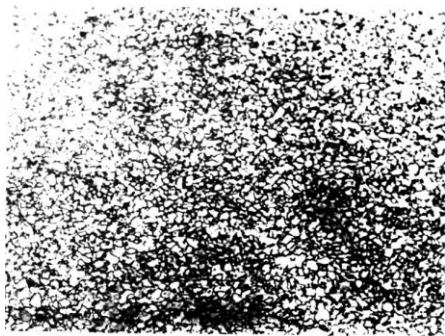


Рис. 4. Структура ділянки дрібного зерна ЗТВ зварного з'єднання сталі 12X1M1Ф

- ділянка неповної перекристалізації, що містить метал, нагрітий під час зварювання в міжкритичному інтервалі температур ($T_{Ac1} - T_{Ac2}$). Структура його складається із зерен фериту, які майже не змінюються, і частково перекристалізованих ділянок перліту або бейніту (рис. 5). Ці ділянки розташовуються переважно по межах зерен і відрізняються за видом травлення;

- ділянка додаткового відпуску. Вона містить метал, нагрітий у процесі зварювання від температур відпуску основного металу до температури нижньої критичної точки A_{c1} . Унаслідок додаткового відпуску спостерігається знеміцнення металу, особливо під час зварювання термостійких сталей.

Ділянки додаткового відпуску та неповної перекристалізації, а іноді й ділянку дрібного зерна, якщо вони мають знижену порівняно з основним металом твердість, об'єднують загальною назвою – «ділянка знеміцнення»;

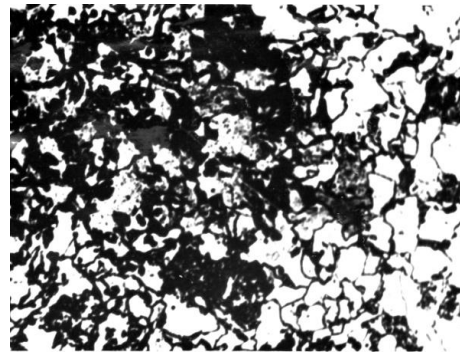
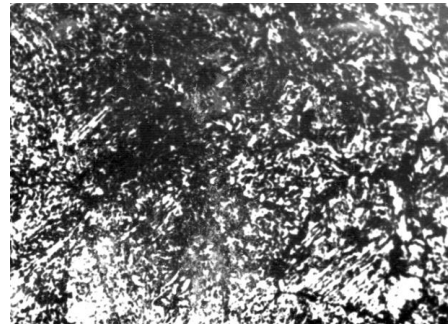


Рис. 5. Структура ділянки неповної кристалізації ЗТВ зварних з'єднань; $\times 100$

- ділянка старіння, що містить метал, нагрітий під час зварювання приблизно від 100 до 500 $^{\circ}\text{C}$. У ній відсутні видимі структурні зміни, однак через старіння металу в деяких низьковуглецевих сталях на відстані 20–25 мм від межі сплаву спостерігається провал ударної в'язкості.

У штатних технологіях виконання багатопарових швів, а також підсилювальних наплавок, використовується ручне дугове зварювання покритими електродами. Основним недоліком штатних зварювальних технологій є те, що вони можуть допускати наявність у металі шва і на ділянках ЗТВ «бракувальних» структур або структур, близьких до «бракувальних» («бракувальні» структури – це структури, які не забезпечують тривалу експлуатацію паропроводів).

Рівень зношування елементів паропровідного тракту оцінювали з урахуванням положень нормативної документації металографічного аналізу, визначення хімічного складу й властивостей, а також ступеня їхньої деформації.

Враховували умови експлуатації: тиск, температуру, кількість пусків-зупинок, тривалість напрацювання за умови стаціонарного й циклічного режимів, характер перегріву металу в разі аварійних скидів пари. На основі наведених фактів, а також технічної інформації щодо типорозмірів і матеріалів по-

шкоджених елементів паропровідних систем та інформації їхнього експлуатаційного контролю виконували аналіз рівня пошкоджуваності елементів.

На основі даних, що характеризують пошкоджуваність металу зварного з'єднання, робили вибірку, тобто отримували певну форму вибірки. Брали до відома, що вибірка, виконана без урахування наведених факторів, сприяє істотному зниженню ресурсу відремонтованих елементів паропроводів. Таке зниження обумовлено, наприклад, помітним зменшенням міцності підварного шва, що викликано зварювальним нагріванням у процесі укладання наступних валиків.

Установили, що для пошкоджених за механізмом повзучості зварних з'єднань паропроводів, що характерно для їхньої зовнішньої поверхні, форма вибірки має бути чашоподібною в поперечному перерізі з радіусом переходу $> 10^0$ і охоплювати всю ширину шва і ширину ділянок ЗТВ (рис. 6).

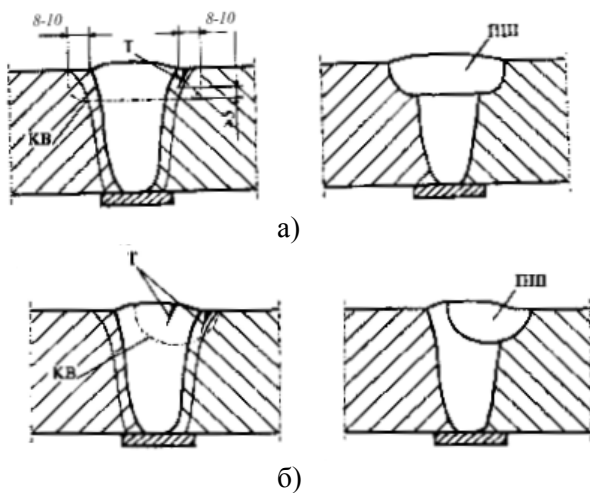


Рис. 6. Рекомендовані форми вибірок, отриманих після вилучення пошкодженого металу, і форми підварних швів у процесі ремонту зварних з'єднань (КВ – контур вибірки з радіусом переходу $R > 10$ мм і кут скошу $10-15^0$, ПШ – підварний шов із радіусом переходу > 15 мм і кутом скошу $15-20^0$: а) паропроводів з Cr-Mo-V сталей для експлуатації за умови температури $510-545^0\text{C}$; б) ті самі для температур нижче ніж 510^0C

Зварювання вибірок завглибшки ≥ 20 мм і завширшки ≥ 30 мм у паропроводах зі сталі 15X1M1Ф виконували шляхом укладання валиків заввишки 7–11 мм, завширшки 14–18 мм напівавтоматичним зварюванням із застосуванням електродного дроту типу

Св-08ХМФА в середовищі суміші $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ на оптимізованих режимах (табл. 1), які встановили шляхом моделювання зварювального нагріву, що дозволило отримувати ферито-бейнітну структуру металу шва і відсутність «бракувальних» структур на ділянках ЗТВ.

Таблиця 1 – Параметри режиму напівавтоматичного ремонтного зварювання пошкоджених елементів паропроводів I категорії

№ з/п	Параметр режиму зварювання	Значення
1	Сила струму, А	210–280
2	Напруга дуги, В	24–28
3	Швидкість подачі електродного дроту, м/ч	200–250
4	Діаметр електродного дроту, мм	1,6–2
5	Склад суміші захисних газів, %	75 CO_2 + 25 Ar
6	Витрати суміші захисних газів, л/хв	13–17
7	Попередній підігрів, ^0C	300–350

Висновки

Установили, що пошкоджуваність відремонтованих за запропонованою зварювальною технологією елементів паропроводів є помітно зменшеною, ніж пошкоджуваність аналогічних елементів, відремонтованих за штатною. На основі аналізу пошкоджених елементів паропроводів обґрунтували пошкоджуваності за механізмом повзучості. Визначили ділянку оптимальних режимів запропонованої технології зварювального ремонту пошкоджених елементів паропроводів. Установили, що запропонована технологія зварювального ремонту пошкоджених елементів паропроводів із використанням механізованого зварювання в $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ забезпечує отримання зварних з'єднань із більш високим рівнем однорідності структури, хімічного складу і властивостей, ніж в аналогічних зварних з'єднаннях, що отримано шляхом застосування штатних зварювальних ремонтних технологій.

Література

- Хромченко Ф.А. Ресурс сварных соединений паропроводов. – Москва: Машиностроение, 2002. – 351с.
- РТМ-1С-81. Руководящие технические материалы по сварке, термобработке и контролю трубных систем котлов и трубопроводов при ремонте оборудования тепловых электростанций. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 208 с.

3. Полуавтоматическая сварка труб из хромolibденовых сталей в смеси углекислого газа и аргона / Н.А. Павлов и др. // Сварочное производство. – 1981. – № 1. – С.12–14.
4. Хромченко Ф.А., Лаппа В.А., Калугин Р.Н. Диагностика и ресурс сварных соединений паропроводов ТЭС. Ч. 2. Расчетная оценка ресурса сварных соединений // Сварочное производство. – 2001. – № 7. – С. 21–25.
5. Хромченко Ф.А., Лаппа В.А. Влияние технологической наследственности на эксплуатационную повреждаемость сварных соединений хромolibденовых сталей в условиях ползучести // Сварочное производство. – 1991. – № 7. – С. 3–5.
6. Дмитрик В.В., Гринченко Е.Д., Сыренко Т.А. Структура участка перегрева ЗТВ сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей // Сварочное производство. – 2010. – № 6. – С. 3–6.

References

1. Khromchenko F. A. Resource of welded joints of steam pipelines. Moskva: Mashinostroenie, 2002/ 351 s.
2. RTM-1C-81. Guiding technical materials for welding, heat treatment and control of pipe systems of boilers and pipelines during the repair of equipment of thermal power stations. Moskva: Energoizdat, 1982. 208 s.
3. Semi-automatic welding of pipes made of chromium-libden steels in a mixture of carbon dioxide and argon / N.A. Pavlov etc. // Welding production. 1981. No. 1. S. 12–14.
4. Khromchenko F.A., Lappa V.A., Kalugin R.N. Diagnostics and resource of welded joints of steam pipelines of thermal power plants. Ch. 2. Estimated estimation of the resource of welded joints // Welding production. 2001. No. 7. S. 21–25.
5. Khromchenko F.A., Lappa V.A. The influence of technological heredity on the operational damage of welded joints of chromium-molybdenum steels in creep conditions // Welding production. 1991. No. 7. S. 3–5.
6. Dmitrik V.V., Grinchenko E.D., Syrenko T.A. The structure of the superheating site of ZTV welded joints made of heat-resistant perlite steels // Welding production. 2010. No. 6. S. 3–6.

Сиренко Тетяна Олександрівна, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: +38 068-511-92-30, e-mail:syrenko2020@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

Prerequisites for developing an advanced welding technology for repair of worn elements of steam-conducting systems

Abstract. Problem. The main disadvantage of standard technologies of welding steam pipelines of thermal power plants is that they can allow the presence of defective structures close to the defective ones in the metal of the seam and in the sections of the HAZ. In this regard, the question arises about the development of a new technology that will provide the appropriate structure and properties that will increase the service life of steam pipelines and get a significant economic effect. **Goal.** The goal is improvement of the technology of welding pipelines of thermal power plants based on the study of the features of the formation of welded joints operating in Creep conditions. **Methodology.** The level of wear of the elements of the Steam-conducting path was estimated taking into account the provisions of the regulatory documentation of metallographic analysis, determination of chemical composition and properties, as well as the degree of their deformation. **Results.** It is revealed that welded joints are characterized by initial structural heterogeneity, which is closely related to long-term strength, ductility and impact strength. For example, at different sections of a welded joint, there is a different intensity of transition of alloying elements and, accordingly, a different type of structural component can be formed. The proposed technology of welding repair of damaged elements of steam pipelines using mechanized welding in CO₂+Ar provides for the production of welded joints with a higher level of uniformity of structure, chemical composition and properties. **Scientific novelty and practical significance.** The welding technology has been improved, which includes developing the modes for performing repair work by mechanized welding in an Ar + CO₂ environment of steam pipeline samples with a depth of ≥ 20 mm and a width of ≥ 30 mm, and differs from the known ones by using linear energy welding of 1.2–1.5 MJ/m.

Key words: welded joint, structure, widmanstatten structure, bainite structure, steam line, thermal impact zone, overheating site, recrystallization site, incomplete recrystallization site, aging site, fusion zone, additional tempering site, rejection structure, welding mode, sample.

Syrenko Tatyana Aleksandrovna, candidate of technical sciences, associate professor., Department of metal technology and materials science, tel. +38 068-511-92-30, e-mail:syrenko2020@gmail.com, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.