

УДК 621.643.411

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИВАРЮВАННЯ ШИПІВ НА ТРУБИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

П.А. Ситников, студ., Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

*Анотація.* Роботу присвячено дослідженню та вдосконаленню технології приварювання шипів способом «короткого циклу» на труби охолоджувальних та транспортуючих систем енергетичного обладнання, виготовлених із сталі 15X5M без підігріву. Рекомендовано для впровадження на підприємствах теплоенергетичної та нафтопереробної галузей.

*Ключові слова:* шип, технологія зварювання, мартенситні сталі, бейніт, механічні властивості, підігрів.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИВАРКИ ШИПОВ НА ТРУБЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

П.А. Ситников, студ., Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

*Аннотация.* Работа посвящена исследованию и усовершенствованию технологии приварки шипов способом «короткий цикл» охлаждающих и транспортирующих систем энергетического оборудования, изготовленных из стали 15X5M без подогрева. Рекомендуется для внедрения на предприятиях теплоэнергетической и нефтеперерабатывающей отраслей.

*Ключевые слова:* шип, технология сварки, мартенситные стали, бейнит, механические свойства, подогрев.

## DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF STUD WELDING TO INDUSTRIAL PIPE-LINE TUBES

P. Sytnykov, St.,  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

*Abstract.* The work is deals with developing and improving the technology of studs welding of cooling and transporting systems of energy equipment made of 15X5M steel without heating, using the «short cycle» method. The given technology is recommended for introduction at both heat and power facilities as well as oil-production enterprises.

*Key words:* spike, welding technology, martensitic steel, bainite, mechanical propertie, heating.

### Вступ

Необхідність підвищення експлуатаційних характеристик технологічних трубопроводів з теплостійких мартенситних сталей (15X5M та ін.) елементів енергетичної, нафтогазохімічної промисловості є актуальною проблемою сучасної науки [1]. Термін експлуатаційного циклу, який становить 0,6–0,8

ресурсу основного металу, показує, що з впливом фактора часу відбувається пошкодження елементів трубопроводів, як правило, унаслідок впливу температурних (300–520 °C) та силових навантажень ( $\geq 16$  МПа), різноманітних видів корозійних процесів і постійного перегріву.

Ефективним технологічним методом уникнення перегріву систем технологічного транспортування перегрітого пару, нафтопродуктів тощо є збільшення площі тепловідводу за рахунок приварювання шипів [1].

Основною проблемою в процесі зварювання мартенситної сталі є утворення холодних тріщин (ХТ) [3]. Схильність вказаної групи сталей до загартування ускладнює технологію зварювання, знижує технологічну міцність, призводить до окрихчення металу, появи ХТ у зоні термічного впливу (ЗТВ). Попередження утворення ХТ на даний момент можливе за рахунок використання попереднього, а під час зварювання товстостінних конструкцій попереднього та супутнього підігріву до високих температур (300–400 °С). Така технологія ускладнює виробництво, підвищуючи енерговитрати.

#### Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є дослідження та вдосконалення технологічного процесу приварювання шипів на технологічні трубопроводи, виготовлені з мартенситної сталі 15Х5М без використання підігріву.

У процесі виконання роботи поставлено такі завдання:

- експериментально дослідити та визначити оптимальні режими зварювання;
- провести апробацію вдосконаленої технології;
- розробити практичні рекомендації зварювання щодо процесу виготовлення ошипованих поверхонь технологічних трубопроводів.

#### Матеріали та методика досліджень

Як матеріал для проведення порівняльних досліджень були обрані вуглецева сталь 20 (матеріал шипа,  $\varnothing 12$  мм, висота 32 мм), яка широко використовується у сучасній нафтогазохімічній галузі, та мартенситна сталь 15Х5М у вигляді трубного сортаменту ( $\varnothing 152$  мм, товщина стінки 8 мм), що використовується в енергетичному комплексі. Варто відмітити відсоткову різницю вмісту вуглецю та наявність легуючих елементів використуваних сталей.

Дослідження макро- та мікроструктури (оптична мікроскопія) виконувалося на зразках

після механічного шліфування та полірування. Використані методи хімічного травлення для визначення складників структури зон (ділянок) зварного з'єднання 4 % розчином  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті.

Захисні середовища у процесі зварювання: Ar, Ar +  $\text{CO}_2$ , Ar +  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ . Експериментально визначено, що використання Ar +  $\text{CO}_2$  є найбільш ефективним у цьому процесі. Режим зварювання: струм 600–1000 А, напруга 25–26 В. Швидкість нагрівання  $V_{\text{н}} \geq 2000$  °С/с, швидкість охолодження  $\omega_{\text{ох}} \geq 650$  °С/с.

#### Результати досліджень

Аналіз наукових робіт вітчизняних та зарубіжних учених, зарубіжного ринку зварювального обладнання, представленого фірмами NELSON, ВТН, КОСО, показав, що існують різноманітні технології приварювання шипів (шпильок) та інших подібних геометричних об'єктів.

Існуюча технологія приварювання шипів за допомогою ручного дугового зварювання, яка часто застосовується для шипування охолоджувальних систем, не завжди забезпечує формування рівномірного проварювання по всьому периметру шипа, що не гарантує надійного теплового контакту і, відповідно, не забезпечує проходження розрахункового теплового потоку. Тому відбувається процес конструктивного порушення параметрів зварного з'єднання (зменшення площі перетину), знижується міцність швів. Технологічні незручності шипування панелей, труб не виключають утворення пористості, непроварів та процесів перегріву металу труби.

Основна проблема спостерігається на стадії осаду шипа в ванну, коли відбувається виплеск рідкого металу ванни, що часто призводить до порушення суцільності формування галтелі ущільнення та інших дефектів. Збільшення сили струму призводить до посилення цього процесу.

Для усунення вказаного недоліку за результатами дослідження [5] розроблена електрична схема джерела живлення, на базі якої була створена установка ПУШ (напівавтоматична установка шипування), що є спеціалізованим інверторним джерелом постійного струму, призначеним для безперервної роботи у важких умовах.

Електронна схема ПУШ–850 забезпечує автоматичне керування циклом зварювання та плавне регулювання величиною зварювального струму, часом горіння дуги, подачею захисного газу.

Процес приварювання шипів за допомогою електродугової напівавтоматичної зварювальної установки ПУШ-850 становить від 0,1 до 0,6 с залежно від діаметру шипа [1].

Дослідженнями мікроструктури (оптична мікроскопія) встановлено, що ширина ЗТВ із

сторони сталі 15X5M приблизно 2,5–3,5 мм. Розмір перерізу утвореного литого ядра (розплавленого та закристалізованого металу) досягає 1,0–1,2 мм.

Мікроструктура (рис. 1) у колошовній зоні представлена верхнім бейнітом, виявлена незначна кількість голчастої фази. Через малий розмір дослідження даної фази ускладнене. Мікротвердість цієї ділянки відповідає мікроструктурі проміжних перетворень, тобто бейнітно-мартенситній суміші.

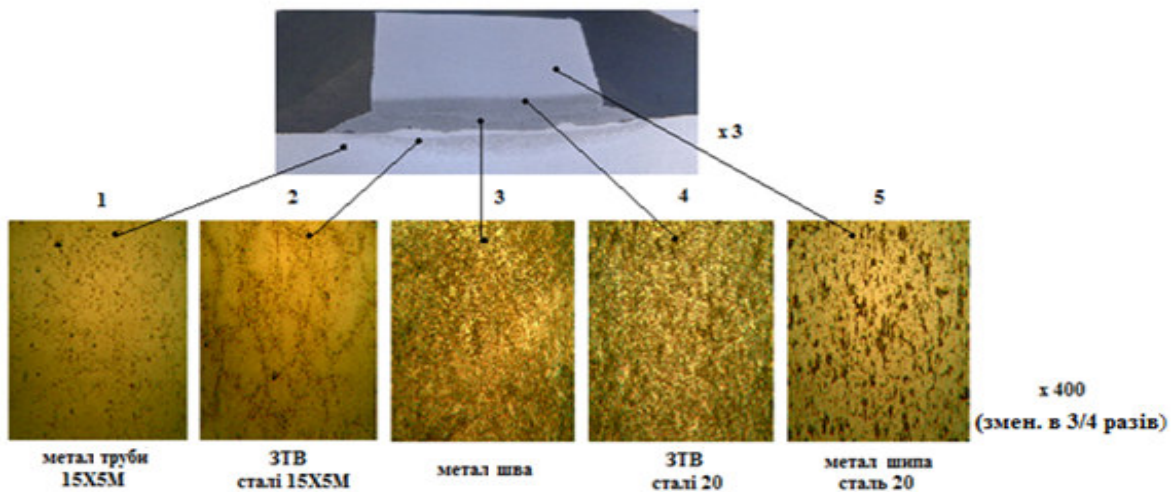


Рис. 1. Мікроструктура зварного з'єднання труба (сталь 15X5M) – шип (сталь 20)

Як встановлено, оптимальним режимом зварювання є струм 700–900 А, напруга 25–26 В, швидкість нагрівання  $V_n \geq 2000$  °C/с, швидкість охолодження  $\omega_{ох} \geq 650$  °C/с. Наведений режим зварювання забезпечує отримання якісного зварного з'єднання без пористості, тріщин та підрізів (рис. 2).



Рис. 2. Фрагменти зварних з'єднань шип (сталь 20) – труба (сталь 15X5M) з характерною утвореною галтеллю

У процесі зварювання струмами  $< 700$  А щільність галтелі не вдається забезпечити

(рис. 3, а). Причиною цього є недостатній об'єм рідкого металу ванни перед осадкою шипа. Підвищення режимів ( $> 900$  А) призводить до виплеску рідкого металу та нерівномірності формування галтелі (рис. 3, б). Відбувається перегрів металу труби.

Згідно з [6] труби технологічних трубопроводів, незалежно від використаного виду зварювання, підлягають таким видам контролю: зовнішньому огляду та металографічним дослідженням зразків зварного з'єднання (шип + труба).

Під час огляду перевіряють:

- стан поверхонь шипів та труб;
- відсутність тріщин усіх видів;
- відсутність несплавлень шипів з трубою, підрізів.

Дослідження міцності приварки шипів перевіряють на всіх ошипованих трубах шляхом легкого обстукування.



а



б

Рис. 3. Фрагменти зварних з'єднань шип (сталь 20) – труба (сталь 15X5M) за умови порушення режимів зварювання: а – формування нещільної галтелі (підріз); б – виплески рідкого металу та нерівномірність формування галтелі



Рис. 4. Фрагменти зварних з'єднань шип (сталь 20) – труба (сталь 15X5M) після проведення динамічного випробування (удару)

Якість приварки шипів у виконаній роботі визначалася шляхом динамічного навантаження (удару) на шип масою 0,3 кг з боку найменшого вінця (катета). Руйнування не виявлено – відбувається вигин шипа (рис. 4).

### Висновки

Установлена можливість отримання якісних з'єднань під час приварювання шипів на труби технологічних трубопроводів з мартенситної сталі 15X5M у середовищі аргону ( $Ar + CO_2$ ) без використання підігріву. Визначено, що оптимальні режими ( $I = 700-900$  А,  $U = 25-26$  В;  $V_n \geq 2000$  °C/с) забезпечують високу якість зварного з'єднання.

Удосконалена технологія пройшла успішне промислове випробування на Кременчуцькому нафтоперегінному заводі та у процесі ремонту охолоджувальних систем (панелей) на Зуївській ТЕС. Рекомендована для впровадження на підприємствах теплоенергетичної та нафтопереробної галузей.

### Література

1. Ситников П.А. Технология приварки шипов на мартенситную сталь 15X5M «коротким циклом» без подігріву/ П.А. Ситников, Н.Г. Єфименко // Мікро САД: междунар. науч.-техн. конф., 17–19 травня 2017 г. – X., 2017. – С. 61.
2. Єфименко Н.Г. Особенности приварки шипов к трубам из мартенситной стали 15X5M без подогрева / Н.Г. Єфименко, Н.А. Король, С.Н. Барташ // Мікро САД: междунар. науч.-техн. конф., 18–20 мая, 2016 г.: тезисы докл. – X., 2016. – С. 333.
3. Назарчук А.Т. Получение равнопрочных сварных соединений закаливающихся сталей без подогрева и термической обработки / А.Т. Назарчук, В.В. Снисарь, Э.Л. Демченко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 5. – С. 41–43.
4. Калек Д.М. Дуговая приварка стержней и бонок «коротким циклом» / Д.М. Калек, В.Н. Быховец, А.Ю. Гаценко и др. // Автоматическая сварка. – 1992. – № 7–8. – С. 57–60.
5. Єфименко Н.Г. Технология и оборудование для приварки шипов в охлаждающих системах энергетических установок / Н.Г. Єфименко, Н.А. Король, С.Н. Барташ, П.А. Ситников // Науч. Вестник: ДГМА. – 2016. – Вып. № 2 (20 Е). – С. 62–67.
6. Технические требования. Сборник отраслевых стандартов. Экраны ошпикованные топок стационарных паровых котлов. Параметры, размеры и технические требования: ОСТ 108.130.01-79. – Офиц. изд. – М.: Минэнергомаш, Мин-во энергетического машиностроения, № ЮК 002/5910. – 63 с.

Рецензент: В.В. Бондаренко, доцент, к.пед.н., ХНАДУ.