

УДК 539.3

Р.В. ПалашНаціональний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної механіки**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КІЛЬЦЕВИХ
З’ЄДНАНЬ ОБСАДНИХ ТРУБ**

© Палаш Р.В., 2003

Запропоновано рекомендації до технології зварювання обсадних труб із високоміцної легованої сталі 14ХГ2САФД над гирлом свердловини, які за рахунок зниження залишкових напружень у зварному з’єднанні дають змогу суттєво підвищити їх працездатність.

Are offered recommendations to the welding technology of casing pipes from high-strength alloyed steel 14HG2SAFD above a chink mouth, which due to the reduction of residual voltage in welding connection can enable essentially the lowering of the cold cracks occurrence risk.

Постановка проблеми і її актуальність

Національні програми “Нафта і газ України до 2010 року” та “Державна програма розвитку робіт з видобутку нафти і газу в українському шельфі Азовського та Чорного морів” передбачають значне збільшення обсягів і темпів спорудження нафтових та газових свердловин при їх оптимальній собівартості та виконанні вимог екологічної безпеки.

Обсадні колони, призначені для укріплення стінок свердловин і транспортування речовин в них, є обов’язковою складовою газо-нафто-видобувних комплексів. Слід зауважити, що вартість укріплення стінок свердловини становить до 25 % загальної вартості її спорудження [1].

З’єднання обсадних труб в колони здійснюється за двома принципово різними технологіями – згвинчуванням і зварюванням. Порівняно із різевими з’єднаннями, зварні мають в даному випадку такі переваги: порівняно невисока вартість, однаковий зовнішній діаметр труби і з’єднання, рівномірність основному металу, герметичність, стійкість до корозії. У зв’язку з цим використання зварювання для з’єднання обсадних труб в колони є оптимальним способом. Зварювання обсадних труб здійснюється різними методами – стиковим оплавленням (для малих діаметрів), під флюсом, в захисних газах. При з’єднанні обсадних труб над гирлом свердловини переважно використовується електродугове зварювання в захисних газах.

Для виготовлення обсадних колон широко використовують високоміцні леговані сталі з межею плинності $\sigma_T=500 - 1300$ МПа. Їх недоліком є схильність до утворення холодних тріщин під дією термодформаційного циклу зварювання внаслідок протікання мартенситного та бейнітного перетворень при порівняно низьких температурах, коли релаксація залишкових напружень ускладнена.

Звичайно для зменшення залишкових напружень та запобігання утворенню холодних тріщин використовують попереднє підігрівання або кінцеву термічну обробку [2]. У випадку обсадних колон це призводить до зниження механічних властивостей металу зварного з’єднання, нижче ніж у основного металу [1].

У зв'язку з цим, актуальною є проблема підвищення надійності зварних з'єднань обсадних колон за рахунок застосування таких технологій зварювання, які би без ризику утворення холодних тріщин і при оптимальному рівні залишкових напружень, забезпечували необхідні механічні властивості зварного з'єднання.

Метою роботи є вдосконалення технології дугового зварювання в атмосфері захисних газів кільцевих стиків обсадних труб із високоміцної легованої сталі 14ХГ2САФД.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі **завдання**:

- дослідити вплив хімічного складу зварного шва на характер розподілу залишкових напружень у зварних з'єднаннях сталі 14ХГ2САФД та вибрати оптимальний, який забезпечує мінімальний їх рівень;
- дослідити вплив погонної енергії на структуру з'єднання та вибрати оптимальні з погляду залишкових напружень способи та режим зварювання.

Методика досліджень

Вивчення розподілу залишкових напружень проводились на сталі 14ХГ2САФД із таким хімічним складом: С,% =0,12; Si,% =0,57; Mn,% =1,42; Cr,% =0,44; Cu,% =0,39; Al,% =0,08; V,% =0,08. У роботі використані експериментальні дані, отримані способом голографічної інтерферометрії в окремих точках зварних з'єднань цієї сталі з різними за хімічним складом та структурою швами [2]. Для одержання розподілу залишкових напружень застосовувався розрахунково-експериментальний метод умовних пластичних деформацій, що базується на розв'язанні обернених задач механіки напружених деформівних тіл, модифікований для випадку зварювання високоміцної сталі кільцевим швом [3].

При виборі оптимального хімічного складу шва особливу увагу звертали на рівень залишкових напружень. Погонна енергія зварювання розраховувалась із використанням діаграми анізотермічного розпаду аустеніту сталі 14ХГ2САФД з міркувань отримання оптимальної структури та властивостей зварного з'єднання при мініальному рівні залишкових напружень.

Рекомендації розроблялись до технології зварювання обсадних труб діаметром 240...260 мм і товщиною стінки 9...12 мм кільцевим швом у захисних газах.

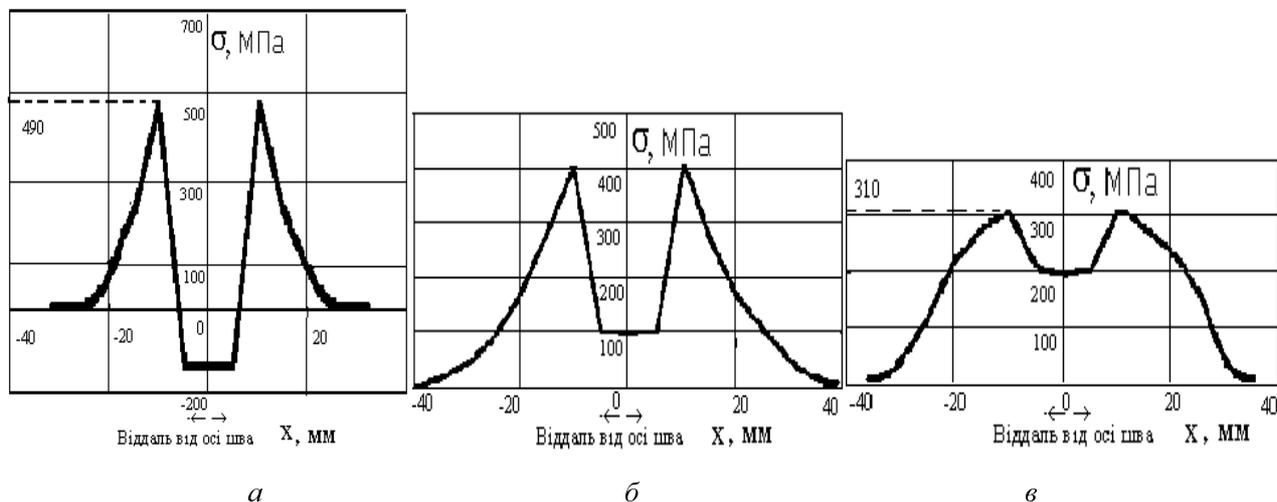
Результати досліджень

Для розрахунку масиву значень залишкових напружень, потрібного для побудови їх розподілу у зварних з'єднаннях з різними типами швів, використовувався розрахунково-експериментальний метод, кінцеві вирази якого для цього випадку мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha) &= \frac{E\varepsilon_0^*}{1-\mu^2} \left[\frac{abm(s+\mu)}{2h} \gamma \Gamma_1(\alpha) - \frac{a^3 \left(1 - \frac{4}{3}m\right)}{R} \gamma \Gamma_2(\alpha) + \sigma_{\alpha\alpha}^*(\gamma) \right]; \\ \sigma_{\beta\beta}(\alpha) &= E\varepsilon_0^* \left\{ \left[-\frac{a}{2} \left(1 - \frac{4}{3}m\right) + \frac{abm\mu(s+\mu)}{2h(1-\mu^2)} \gamma \right] \Gamma_1(\alpha) - \right. \\ &\quad \left. - \left[\frac{Rbm(s+\mu)}{4ah} + \frac{\mu a^3 \left(1 - \frac{4}{3}m\right)}{R(1-\mu^2)} \gamma \right] \Gamma_2(\alpha) + \right. \\ &\quad \left. + \varphi(\alpha) \left[\frac{mb}{h} \gamma + \left(1 - \frac{4}{3}m\right) \right] + \frac{\sigma_{\beta\beta}^*}{1-\mu^2} \right\}, \end{aligned} \right\}$$

де z , φ – координати довільної точки оболонки; h – півтовщина стінки труби; R – середній її радіус [3].

На рисунку показані одержані нами розподіли залишкових поперечних напружень у зварних з'єднаннях сталі 14ХГ2САФД з різними типами швів.



Характер розподілу залишкових напружень у зварних з'єднаннях при однопровідному зварюванні ($q/v=30$ кДж/см) із швами різної структури; а – бейнітно-мартенситний (дріт Св-07ХНЗГМФТЮ); б – феритно-бейнітний (дріт Св-08ГА); в – аустенітний (дріт Св-08Х20Н9Г7Т)

Аналіз кривих показує, що хімічний склад шва суттєво впливає на характер розподілу та величину залишкових напружень. Їх максимальні значення змінюються від 490 МПа при мартенситно-бейнітному шві, до 400 МПа – феритно-бейнітному, 310 МПа – аустенітному. Градієнт напружень для перших двох швів практично однаковий, а у випадку аустенітного – суттєво менший.

Відомо [2], що межа плинності $\sigma_{0,2}$ становить: для аустенітного шва 350 МПа, феритно-бейнітного – 420 МПа, а бейнітно-мартенситного – 717 МПа, а для основного металу 635 МПа. Якщо брати до уваги і межу плинності металу швів і залишковий напружений стан, то бачимо, що ні один з них не забезпечує рівномірності з'єднання основному металу та низького рівня залишкових напружень.

Відомо, що при зварюванні високоміцних сталей, за неможливості підібрати зварювальні матеріали, які забезпечили б рівномірність з'єднання, слід надавати перевагу матеріалам, що забезпечують високу пластичність шва. У цьому разі його можна розглядати як м'який прошарок. При розтязі такого з'єднання зусилля, потрібне для деформування металу шва, є більшим, ніж у разі його вільного розтягу внаслідок так званого контактного зміцнення. Воно залежить від величини відносної товщини (відношення ширини шва до товщини зварюваного металу) пластичного шва. При її значенні менше за 1, працездатність з'єднання буде вищою, ніж у металу шва, і чим менша ця величина, тим більше контактне зміцнення [4].

Якщо геометрію зварного шва вибрати такою, щоб за рахунок контактного зміцнення механічні властивості шва зросли у 1,6 – 1,8 раза, то проблема рівномірності з основним

металом вирішується як для феритно-бейнітного, так і для аустенітного швів. У зв'язку з тим, що аустенітний забезпечує нижчий рівень залишкових напружень для зварювання обсадних труб із сталі 14ХГ2САФД вибираємо його.

Іншим засобом зниження рівня залишкових напружень першого роду є зменшення об'єму металу, що нагрівався до температур, при яких відбувається різке падіння межі плинності металу (для даної сталі – це температури ≈ 700 °С). Цього можна досягнути шляхом зменшення погонної енергії.

Аналіз діаграми анізотермічного розпаду аустеніту сталі 14ХГ2САФД показав, що, залежно від швидкості охолодження, в ній відбуваються такі фазові перетворення: феритне, бейнітне, мартенситне, а кінцева структура ЗТВ може бути: феритно-бейнітою, феритно-бейнітно-мартенситною, бейнітно-мартенситною, мартенситною. Оптимальною є бейнітно-мартенситна структура з переважальною кількістю бейніту. Їх можна одержати при швидкості охолодження 5 – 10 град/с в інтервалі температур 600 – 500 °С.

Швидкість охолодження при однопрохідному зварюванні обсадної труби з товщиною стінки 9 – 12 мм забезпечується погонною енергією 80 – 40 кДж/см. При такому її значенні утворюються дуже великі залишкові напруження першого роду [5] та грубозерниста структура з'єднання.

У зв'язку з цим зварювання доцільніше виконувати з нижчою погонною енергією за декілька проходів. За рахунок збільшення їх числа до 3 – 4 зменшується об'єм металу, нагрітого до температур, вищих 700 °С та металу, що розплавлявся. Також зменшується відносна товщина м'якого прошарку, що збільшує контактне зміцнення. При накладанні кожного наступного валика здійснюється частковий відпуск попереднього. Цим зменшуються залишкові напруження у зварному з'єднанні (як першого, так і другого роду). При багат шаровому зварюванні також підвищуються механічні властивості металу з'єднання за рахунок подрібнення його структури. У той же час збільшення кількості проходів дозволяє уникнути проблеми утримування ванни при зварюванні в горизонтальному положенні.

Висновки

Отже, запропоновано технологію зварювання обсадних труб, удосконалену за рахунок одержання аустенітного зварного шва та багат шарового зварювання, котра забезпечує допустимий з погляду утворення холодних тріщин рівень залишкових напружень при оптимальних експлуатаційних властивостях.

Перспективою подальших досліджень є розгляд можливості використання інших матеріалів, котрі забезпечують утворення аустенітної структури шва з вищими експлуатаційними характеристиками, ніж у розглянутому випадку. Слід також детально дослідити експлуатаційні характеристики різних ділянок зварного з'єднання сталі 14ХГ2САФД.

1. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Криничний П.Я., Даниляк Я.Б. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика як один із засобів забезпечення роботоздатності трубних колон // Нафтова і газова промисловість. – 1998. – № 4. – С. 23 – 24.* 2. Лобанов Л.М., Міходуй Л.І., Міходуй О.Л. *Залишкові напруження в зварних з'єднаннях високоміцних сталей // Пр. міжнар. конф. "Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій". – Т. 1. – Вип. 2. – Львів: Каменяр. – 1999. – С. 21 – 31.* 3. Осадчук В.А., Дзюбик А.Р., Палаш Р.В. *Напруження*

у стикових зварних з'єднаннях кільцевим швом труб, які схильні до гартування // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 456. – С. 107 – 111. 4. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов с основами физической химии. – М.: Высшая школа, 1967. – 508 с. 5. Лобанов Л.М., Миходуй Л.И., Пивторак В.А. и др. Влияние особенностей технологии сварки под флюсом на напряженное состояние сварных соединений высокопрочной стали // Автоматическая сварка. – 1995. – № 9. – С. 21 – 23.