

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ РІЗНОТОВЩИНИХ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБОПРОВОДІВ

© А. Кичма¹, В. Драгілев², 2017

¹ Національний університет „Львівська політехніка”, Львів, Україна;

² ТОВ „Магістральне будівництво”, Київ, Україна

Для оцінки міцності трубопроводів тривалої експлуатації, під час проведення ремонту їх опорних вузлів, необхідний комплексний підхід, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану (НС) труб, зокрема, у місцях із дефектами та у зварних з'єднаннях, з якими пов'язано 70–80% усіх відмов трубопровідних систем. Тому однією із важливих задач обстеження технічного стану зварних з'єднань трубопроводів тривалої експлуатації є визначення незрелаксованих залишкових напружень в околошовній зоні.

В умовах тривалої експлуатації трубопроводів, серед неруйнівних методів контролю їх НС, найчастіше використовують електромагнітний (магнітопружний) та ультразвуковий методи. Зокрема, при застосуванні електромагнітного методу відносна чутливість магнітопружного матеріалу виражається залежністю [1]

$$K = \frac{\Delta\mu / \mu}{\Delta l / l} = \frac{\varepsilon_{\mu}}{\varepsilon},$$

де μ - магнітна проникність феромагнітного матеріалу; $\Delta\mu$ - абсолютна зміна магнітної проникності під дією механічних напружень; $\varepsilon_{\mu} = \Delta\mu / \mu$ - відносна магнітна проникність; l - початкова довжина зразка; Δl - абсолютне видовження зразка; $\varepsilon = \Delta l / l$ - відносна деформація матеріалу зразка.

Значення непевності визначення $\Delta\mu$ і μ залежать від багатьох факторів, а саме: складу хімічних елементів легування, вмісту еквівалентного вуглецю, структурних особливостей металу; технології виготовлення: холоднотянуті труби, чи труби із поздовжнім чи спіральним швом; виду і напрямку прокатки листів; механічної обробки та термообробки труб; складності розподілу і інтенсивності напруженого стану; чутливості, та методичного і метрологічного забезпечення приладів; кваліфікації і практичного досвіду оператора тощо. Відома [2] методика неруйнівного контролю НС магнітопружним методом, яка реалізована на сталевих зразках у вигляді прямокутних пластин довжиною $l = 330$ мм, шириною $B = 45$ мм і товщиною $\delta = 6$ мм і пластин довжиною $l = 600$ мм, шириною $B = 290$ мм і товщиною $\delta = 10$ мм, виготовлених зі сталі 3 (варіант I) і зі сталі 09Г2С (варіант II). У вище наведеній методиці використовували зразки, які піддавались деформаціям згину, але такий експеримент не може повністю імітувати напружено-деформований стан металу реальних ділянок трубопроводів.

Запропонований розрахунково-експериментальний метод визначення параметрів НС у зварних з'єднаннях ґрунтується на математичній моделі деформівних тіл з власними напруженнями [3] і експериментальній інформації про характеристики напруженого стану, яку можна отримати неруйнівними методами. Цей метод здійснюють так. Обертаючи накладний магнітопружний перетворювач визначають зміну вихідного сигналу та встановлюють тарувальний коефіцієнт на зразку, який виготовлений з того ж матеріалу, що і досліджуваний трубопровід. При цьому вимірюють неруйнівним методом усереднену за площею контакту давача різницю головних напружень і встановлюють сподівану усереднену за площею контакту давача різницю головних напружень, через компоненти тензора поля умовних пластичних деформацій Ψ_{ij}^0 . За допомогою функціонала мінімізують відхилення вимірюваного усередненого значення різниці головних напружень від сподіваного усередненого значення і визначають необхідні параметри компоненти тензора пластичних власних деформацій. Значення компоненти тензора повної деформації Ψ_{ij} визначають у вигляді суми компоненти тензора пружної деформації Ψ_{ij}^e і компоненти тензора поля умовних пластичних деформацій Ψ_{ij}^0 і фіксують інтегральні подання компонент тензора напружень через невідомі компоненти тензора поля умовних пластичних деформацій. Значення

цих невідомих компонент деформацій визначають за експериментальною інформацією щодо поля залишкових напружень, яку в різних перерізах трубопроводу визначають одним з неруйнівних методів або за допомогою їх синтезу. Будують функціонал, мінімізація якого забезпечує найменшу нев'язку між експериментально визначеними і аналогічними теоретично обчисленими характеристиками полів напружень. За розв'язками оберненої задачі теорії оболонок з власними напруженнями знаходять значення компоненти тензора поля умовних пластичних деформацій, за якими визначають компоненти тензора залишкових напружень у довільній точці кільцевого різнотовщинного зварного з'єднання трубопроводу, включаючи і ці, які не можна отримати експериментально. Після цього знаходять колові та осьові напруження у довільній точці трубопроводу, за якими судять про його об'ємний напружений стан, з урахуванням різнотовщинності зварного з'єднання і несиметричності розподілу залишкових деформацій відносно перерізу зварного шва [4].

Для уточнення тарувальних коефіцієнтів, що використовуються при визначенні напруженого стану трубопроводів, розроблено і виготовлено дослідно-вимірвальний комплекс. Запропонований комплекс дає можливість в лабораторних умовах якісно моделювати напружено-деформований стан в зоні зварних багат шарових з'єднань труб і проводити тарування вимірвальних трактів. Дослідна установка виготовлена у вигляді горизонтального напірного резервуара із п'яти циліндричних котушок труб зовнішнім діаметром 1020 мм, з різними довжинами і товщинами стінок від 9,5 мм до 18 мм, з'єднаних між собою стиковими зварними багат шаровими швами і привареними на торцях півсферичними днищами. Циліндричні котушки до дослідної установки комплектували з аварійного запасу і вирізаних у процесі ремонту ділянок труб наступних марок сталей: 17Г1С, 13Г1СУ, 09Г2С.

Перевірка якості зварних з'єднань проводилась фізичними методами контролю за допомогою рентгеноскопії і ультразвукової дефектоскопії. Напірний резервуар дослідного стенду заповнено водою і за допомогою насосної станції у ньому створюється внутрішній тиск P заданого рівня. Надлишковий тиск створювали за допомогою об'ємного насосного агрегату МП-150. Тиск у резервуарі контролювали зразковим манометром МО з класом точності 0,4. Насосна станція дозволяє створювати внутрішній тиск у резервуарі до 15 МПа. Визначення НС котушок, у тому числі і у зоні швів різних ділянок дослідного стенду, проводили з використанням електротензометричного методу. Визначали також усереднені характеристики залишкових напружень в зоні вище розглянутих зварних з'єднань дослідного резервуара електромагнітним методом. Використовували вимірвальний прилад „MESTR-411” з перетворювачем трансформаторного типу. При цьому враховували вплив неоднорідності напружень по площі контакту давача з трубою та вплив структурних змін на магнітну проникність металу у зоні термічних перетворень. Отримані дані свідчать про задовільне, якісне і кількісне узгодження розрахункових і експериментальних результатів. У процесі опресування дослідного резервуара залишкові напруження у зоні зварних кільцевих швів суттєво зменшуються, але все ж залишаються на рівні 70...150 МПа.

На основі проведених досліджень обґрунтована стійкість методу відносно непевності визначення вхідних даних, які залежать від похибок експериментальних вимірювань. Таким чином, застосування запропонованого методу дозволяє визначати із достатньою точністю напружений стан у кільцевих різнотовщинних зварних з'єднаннях трубопроводів і встановлювати співвідношення їх колових та осьових напружень із урахуванням процесів релаксації та деградації металу труби і різного роду технологічних залишкових деформацій, у тому числі і коли невідомо значення погонної енергії зварювання елементів конструкції. Розглянутий метод застосовували для визначення параметрів НС надземних ділянок трубопроводу, під час їх піднімання у процесі ремонту опорних вузлів магістрального газопроводу „Більче-Волиця-Долина” з зовнішнім діаметром Ду 1400 мм, який проводили без зупинки транспортування газу.

1. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: Индпром, 1998. – 640 с. 2. Разработка уточненной методики неразрушающего контроля напряжений магнитоупругим методом / А.Я. Недосека, А.А. Грудз, О.И. Бойчук и др. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, №4. – 2005. – С. 19 – 22. 3. Осадчук В. А. Диагностирование остаточных технологических напряжений в элементах конструкций расчетно-экспериментальным методом / В. А. Осадчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2003. – 46, № 1. – С. 88 – 104. 4. Патент № 92921 України. Спосіб визначення напруженого стану в кільцевих зварних з'єднаннях трубопроводів / А.О. Кичма. – Опубл. 10.09.2014, Бюл. №17.