

УДК 621.721.052:539.4.014

Прохоренко В.М., Перепічай А.О., Зворикін К.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН КІЛЬЦЕВОГО ШВА ПАРОПРОВОДА ПІСЛЯ РЕМОНТНОГО ЗАВАРЮВАННЯ КОРЕНЕВОГО НЕПРОВАРУ І ПОДАЛЬШОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація

В роботі запропонований варіант вирішення задачі моделювання за допомогою методу скінченних елементів ремонтної ділянки кільцевого шва паропроводу (тонкостінної оболонки) $\varnothing 89 \times 6$ мм із сталі 20. Результатом розв'язування задачі є розподіл сумарних залишкових напружень та пластичних деформацій в зоні ремонту кільцевого шва та наступного прикладення характерних для паропроводу експлуатаційних навантажень.

Abstract

The paper proposes a solution to the task of modeling using finite element method of repair parts annular weld on thin-walled shell with 20 steel $\varnothing 89 \times 6$ mm. The result of solving the problem is the distribution of total on-stresses and residual plastic deformation in the area of repair and subsequent prick the maximum duration of typical steam workloads.

Вступ

Зварні з'єднання виконані електродами типу Э-42. Змонтовані в 1935–1945 рр. на ТЕС, АЕС, НПС паропроводи, розраховані на параметри пари $T \leq 425^\circ\text{C}$, $P \leq 3,3$ МПа, і виготовлені з низько вуглецевої сталі 20 із труб діаметром 89–378 мм з товщиною стінки 6–16 мм. Зварювання труб проводилося з V-подібним обробленням крайок [1] без підкладного кільця електродами УОНІ-13 або ОМА-5 та ЦМ-7.

Дослідження зварних з'єднань після тривалої експлуатації показали, що в мікроструктурі всіх зон з'єднання змін не спостерігається, а механічні властивості відповідають вимогам технічних умов на зварювання.

Після 1960 р. була впроваджена ультразвукова перевірка якості зварних з'єднань паропроводів на



Рис. 2. Тріщина в зварному шві труби $\varnothing 219 \times 6$ мм із сталі 20, яка утворилась від непровару кореня шва та вийшла на поверхню труби

згаданих підприємствах. В результаті перевірки частина зварних з'єднань була забракована. Металографічний аналіз забракованих з'єднань показав, що в багатьох зварних стиках від непровару в напрямку до зовнішньої поверхні труби розповсюджуються тріщини (рис. 1).

В основному тріщини, порівняно з товщиною стінки труби, невеликі і не виходять на її зовнішню поверхню. До моменту перевірки зварні з'єднання відпрацювали $2,5 \times 10^5$ годин. Тривала експлуатація зварних стиків з дефектами свідчить про повільний розвиток тріщин, що пояснюється високими пластичними властивостями наплавленого металу, тобто його здатністю до локальної пластичної деформації. Однак, на окремих стиках мали місце тріщини, що поширюються практично на всю товщину стінки труби (рис. 2) [2]. Ремонт зварних з'єднань технологічних паропроводів, виконаних дуговим зварюванням, проводиться у випадках, передбачених нормативною документацією [3]. Ділянки



Рис.1. Макрошліф зварного з'єднання труби $\varnothing 89 \times 6$ із сталі 20 з непроваром в корені шва завглибшки 1,2 мм з тріщиною, що розповсюджується до зовнішньої поверхні труби



Рис. 3. Підготовка механічним способом ділянки кільцевого шва з непроваром в корені для подальшого ремонту зварюванням

зварних швів з дефектами видаляють механічним шляхом, як показано на рис. 3, за допомогою абразивних кругів з наступним ручним дуговим зварюванням розробки [4].

Інформація про розподіл напружень та деформацій в околі ремонтної ділянки кільцевого шва для тонкостінних оболонок із сталі 20 \varnothing 89 \times 6 мм, перш за все, необхідна для визначення оптимальної технології ремонту з точки зору розподілу залишкових напружень.

Поставлена задача розв'язувалась методом скінченних елементів (МСЕ) [5] на основі змодельованої тонкостінної оболонки з необхідними її геометричними параметрами.

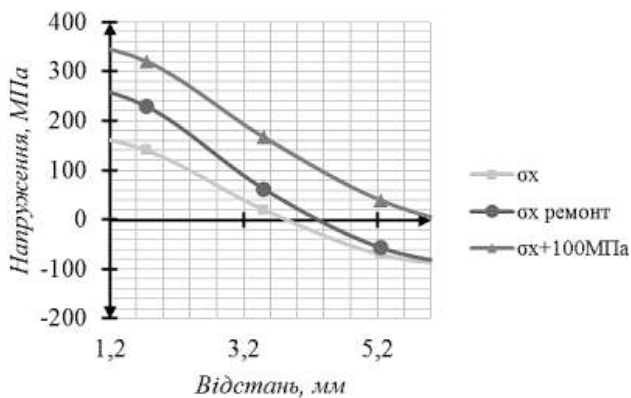


Рис. 4. Розподіл поздовжніх напружень (вздовж труби):

σ_x – залишкові напруження після зварювання; σ_x ремонт – залишкові напруження після повторного нагрівання локальної ділянки шва; $\sigma_x + 100$ МПа – сумарні залишкові напруження від ремонтного зварювання та робочого навантаження розтягом в 100 МПа

Задачі дослідження

В роботі розглядались такі задачі: 1) розв'язання на основі МСЕ зв'язаної температурної пружно-пластичної задачі про залишковий напружено-деформований стан (НДС) від зварювання на прохід кільцевого шва, повторного ремонтного зварювання дефектної ділянки кільцевого шва та наступного експлуатаційного навантаження паропроводу; 2) аналіз закономірностей та особливостей розподілу НДС в околі ремонтної ділянки шва; 3) формулювання висновків з результатів проведеного дослідження НДС на ремонтній ділянці шва.

Основна частина

За допомогою МСЕ вивчено вплив повторного нагрівання локальної зони металу (імітація ремонту дефектної ділянки шва) та робочого навантаження у 100 МПа в зразку з усталеним залишковим НДС. На основі отриманих результатів розрахунку побудовано графіки залежності напружень в напрямку трьох осей координат та залишкових пластичних деформацій для ділянок з повторним нагріванням та без нього, а також при дії робочого зусилля розтягу в 100 МПа (рис. 4–9).

Як видно з (рис. 4), напруження σ_x в кореневій частині шва є розтягуючими завбільшки до +140 МПа та стискаючими до -102 МПа в приповерхневій зоні стінки труби. Після ремонту зварного з'єднання зварюванням розробки шва завдовжки до 20% від периметру труби напруження розтягу в прикореневій зоні шва рівномірно зростають до +229 МПа, а напруження стиску при цьому залишаються без зміни (-102 МПа).

Напруження σ_y розподілені дещо по-іншому (рис. 5). Таким чином, можна зробити висновок, що повторне внесення теплоти в зону ремонту шва, а також навантаження конструкції робочим зусиллям

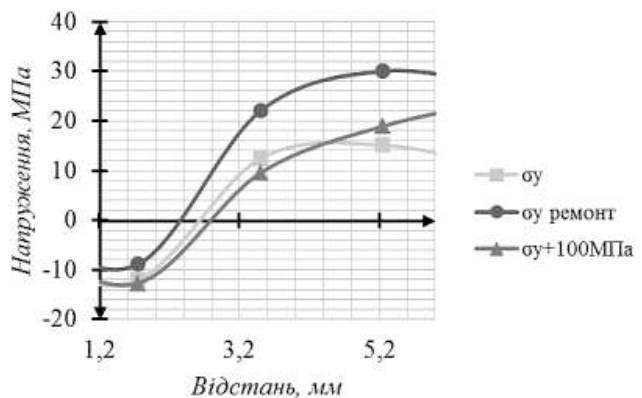


Рис. 5. Розподіл радіальних напружень:

σ_y – залишкові напруження після зварювання; σ_y ремонт – залишкові напруження після ремонту; $\sigma_y + 100$ МПа – сумарні залишкові напруження від ремонтного зварювання та робочого навантаження розтягом в 100 МПа

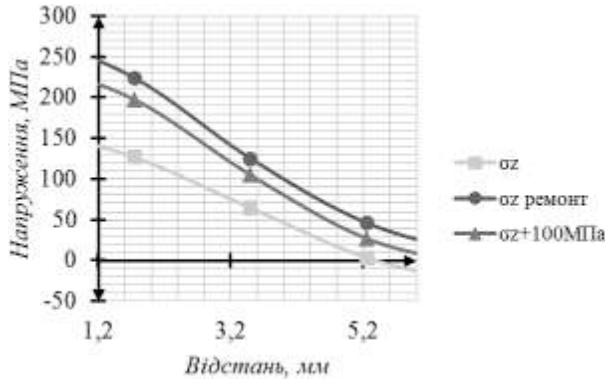


Рис. 6. Розподіл поперечних напружень (тангенціальний напрямок):

σ_z – залишкові напруження після зварювання; σ_z ремонт – залишкові напруження після ремонту; $\sigma_z + 100$ МПа – сумарні залишкові напруження від ремонтного зварювання та робочого навантаження розтягом в 100 МПа

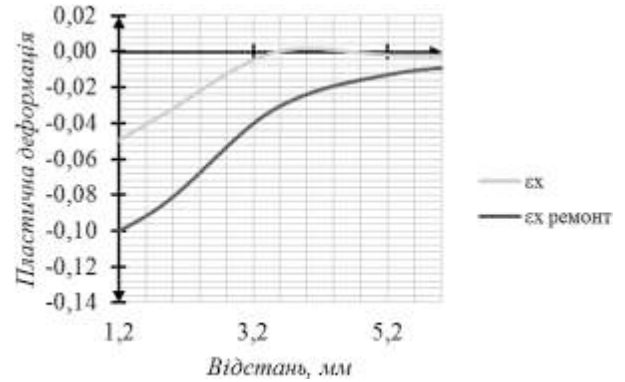


Рис. 7. Розподіл поздовжніх залишкових пластичних деформацій (вздовж труби):

ϵ_x – залишкові пластичні деформації після зварювання; ϵ_x ремонт – залишкові пластичні деформації після ремонтного зварювання

розтягу в 100 МПа не призводить до зростання напружень в радіальному напрямку.

Розподіл компоненти σ_z (рис. 6) подібний до розподілу компоненти σ_x з різницею в реакції труби на робоче навантаження зусиллям в 100 МПа. Напруження зменшуються, орієнтовно, на 30 МПа. Такий ефект пов'язаний з перерозподілом напружень у тангенціальному напрямку до периметра труби (поздовжній осьовий переріз) у зв'язку зі зміною радіальних переміщень «корсетності» труби у її поперечному перерізі по шву.

Залишкові лінійні пластичні деформації уздовж труби ϵ_x (рис. 7) у зовнішній частині оболонки незначні для випадку виконання зварного шва на прохід. Для випадку ремонтного зварювання деформації мають знак «-» (укорочення) з максимальною величиною близько $-0,007$. У міру переміщення точки по нормалі до осі оболонки деформації ϵ_x збільшуються до $-0,04$ для зварювання на прохід та до $-0,09$ для зони ремонтного шва. При прикладенні додаткового робочого навантаження у 100 МПа значення залишкової пластичної деформації

не змінюються і залишаються на рівні значень після ремонту.

Радіальні пластичні залишкові деформації ϵ_y у напрямку товщини оболонки (рис. 8) для обох випадків (зварювання на прохід та ремонт) мають знак «+» (видовження). При зварюванні на прохід в прикореневій зоні утворюється пластична деформація на рівні $+0,03$, а для приповерхневої зони – близько 0. Пластична деформація в прикореневій області для ремонтної ділянки кільцевого шва має величину $+0,07$, а в приповерхневій області дорівнює нулю.

Пластичні залишкові деформації ϵ_z впоперек труби (рис. 9) для обох випадків (із зварюванням на прохід та при ремонті) мають знак «+» (видовження). Причиною такого характеру (видовження замість укорочення) в розподілі даних деформацій є наявність рідкого розплаву металу у зварювальній ванні, який при подальшому охолодженні після кристалізації починає в окружному напрямку пластично видовжуватись, оскільки його температурне вкорочення не може реалізуватись з причини накладених на метал зварного шва

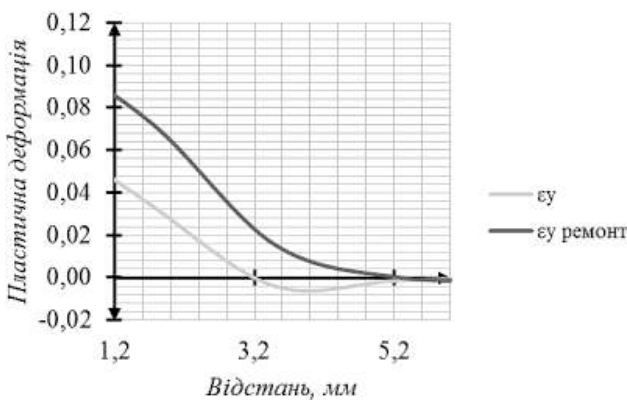


Рис. 8. Розподіл радіальних залишкових пластичних деформацій :

ϵ_y – залишкові пластичні деформації після зварювання; ϵ_y ремонт – залишкові пластичні деформації після ремонтного зварювання

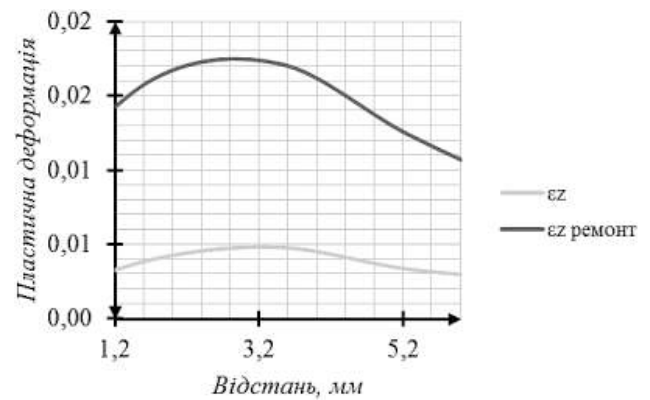


Рис. 9. Розподіл поперечних (тангенціальних) залишкових пластичних деформацій (впоперек труби):

ϵ_z – залишкові пластичні деформації після зварювання; ϵ_z ремонт – залишкові пластичні деформації після ремонтного зварювання

в'язей (обмежень) зі сторони оточуючого шов металу з меншими температурами в різних зонах [6].

Висновки

1. В результаті довготривалої експлуатації зварного шва з технологічним непроваром в корені шва з вершини непровару можливий поступовий ріст тріщини, що з часом призводить до катастрофічного руйнування зварного з'єднання.

2. Встановлено, що повторне внесення теплоти в локальну ділянку під час ремонту непровару призводить до зростання усіх компонентів напружень майже на 50% на ділянці ремонту та 7–12% в області, яка не мала впливу теплоти.

3. Накладення на поле залишкових зварювальних напружень додаткового робочого навантаження 100 МПа рівномірно зміщує осьову компоненту напружень на таку ж величину.

Література

1. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
2. Гофман Ю.М. «Оценка работоспособности металла энергооборудования ТЭС» – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 136 с.
3. НПАОП 0.00-1.11-98 Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води.
4. ВСН 006-89 Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Сварка.
5. Морозов Е. М., Никишков Г. П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: Наука, 1980. – 254 с.
6. Прохоренко В.М., Прохоренко О.В. Напряжения та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях. К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 268 с.