

Отже, як видно з отриманих результатів моделювання було проведено в межах допустимих значень (відхилення елеронів не більше $\pm 15^\circ$ відхилення руля направлення не більше $\pm 2^\circ$) та не перевищили вимог критерію щодо якості траєкторії заходу в курсову зону з довільним кутом підходу до ЗПС. Тому використання вище наведеного алгоритму є доцільним.

Прогнозними припущеннями щодо розвитку об'єкта дослідження є можливість запропонування отриманих результатів для розробки технічних вимог на систему автоматичного керування пасажирським літаком на етапі заходу на посадку з довільним кутом підходу до ЗПС. А також поглиблене вивчення та розвиток розробленої нелінійної моделі через постановку нових задач, таких як захід на посадку при сильному боковому вітрі та стабілізація літака в даних умовах, відмови двигуна під час входу в курсову зону.

Матеріали дослідження розробленої моделі можуть знайти практичне застосування у навчальному процесі при наукових дослідженнях, а також можуть бути використані при подальшому дослідженні автоматичного керування бічним рухом літака при заході на посадку як у навчальних цілях так і в практичній діяльності фахівців авіаційних конструкторських бюро.

Література

1. Рогожин В.О., Синеглазов В.М., Філяжкін М.К. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден : Підручник. — К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. — 316 с.
2. Синеглазов В.М., Філяжкін М.К. Автоматизовані системи управління повітряних суден. — К.: Вид-во НАУ, 2004. — 502 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 800 с.: ил.

УДК 621.721.052:539.4.014

Перепічай А.О., Прохоренко В.М.

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

ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ СТИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРОПРОВОДІВ З ТРІЩИНОПОДІБНИМИ ДЕФЕКТАМИ В ШВАХ

Анотація

Визначена науково-технічна задача і показана її актуальність стосовно розробки алгоритму розрахунку з урахуванням залишкових зварювальних напружень залишкового ресурсу безпечної експлуатації кільцевих зварних стиків технологічних паропроводів з тріщиноподібними дефектами у вигляді непровару в корені зварного шва.

Abstract

The main problems that arise in determining the remaining life of welded joints with lack of penetration defect type at the root of the weld. Ob-grounded the importance of improving the method to calculate the safe operation have ex-technological steam pipelines with crack like defects in the welded seam in the ring.

Вступ

Технологічні міжцехові паропроводи нафтопереробних підприємств мають значну довжину, багато кільцевих зварних стиків, виконаних способом ручного дугового зварювання, і експлуатуються в умовах внутрішнього тиску нагрітої до 350°C пари та залишкових зварювальних напружень. У процесі експлуатації з різних причин навантаження не є постійним і, скоріше за все, його можна віднести до мало циклового. Крім того, як показують періодичні перевірки, кільцеві зварні стики в багатьох випадках суттєво пошкоджені наявними в них різними тріщиноподібними технологічними дефектами, які можуть призвести до руйнування і виходу паропроводу з режиму нормальної експлуатації. Особливо це стосується паропроводів, виготовлених понад 30 років тому з недотриманням технології зварювання і які вже відпрацювали свій нормативний термін експлуатації. Постає питання про визначення залишкового ресурсу безпечної експлуатації таких відповідальних конструкцій.

Постановка задачі

Оцінка ресурсу роботи зварного з'єднання має важливе значення, особливо коли мова йде про роботу технологічного обладнання, від якого залежить працездатність всього виробничого процесу. Відмови та незаплановані зупинки на ремонт призводять до економічних втрат і тому до проблеми діагностики та визначення залишкового ресурсу роботи зварних з'єднань потрібен ретельний підхід.

Довговічність та надійність зварних конструкцій визначається наявністю в них різного роду концентраторів напружень у вигляді непроварів, підрізів, пор, шлакових включень, невідповідності форми шва тощо. За наявності непроварів зменшується робочий переріз і тому потрібно враховувати також зменшення загальної несучої здатності. Але за даними Міжнародного Інституту Зварювання близько 40% руйнувань зварних з'єднань виникає в результаті технологічних дефектів, «закладених» при виготовленні конструкції.

Такі технологічні дефекти зустрічаються при зварюванні конструкцій досить часто і тому оцінка їх впливу на міцність зварного з'єднання є актуальною науково-технічною задачею при проектуванні та подальшому експлуатаційному контролі зварних конструкцій [1].

Коротко розглянемо вплив технологічних дефектів на працездатність (межу витривалості) зварного з'єднання. Результати багатьох досліджень вказують на те, що при статичному навантаженні та пластичному матеріалі вплив величини непровару на втрату міцності пропорційний площі його поверхні [1, 2]. При динамічному навантаженні лінійна пропорційність між втратою працездатності і величиною дефекту порушується. Порівняно невеликого розміру дефекти можуть значно впливати на міцність зварного з'єднання.

Шлакові включення та пори при їх сумарній площі в поперечному перерізі шва в межах 5-10% мало впливають на статичну міцність [2]. Для деяких окремих видів зварних з'єднань величина ослаблення може допускатись до 30% за умови малого статичного навантаження та високої пластичності сталі.

Якщо шви мають концентратори у вигляді надмірного підсилення, зміщення зварюваних крайок та дефекти включення площею 5-10% від поперечного перерізу шва, то вони не впливають на міцність втомі для стикового зварного з'єднання [2], але залишкові напруження можуть суттєво підвищувати негативний вплив від дефектів типу включень при динамічних навантаженнях [2].

Не менш важливим фактором впливу на працездатність конструкції є робоче середовище і згідно з [3] можна виділити два механізми такого впливу – адсорбційний та корозійний.

Всі середовища спочатку діють адсорбційно і лише через досить довгий проміжок часу спрацює другий механізм – корозійний [3].

За результатами експериментальних досліджень на малоциклово втому низь-ковуглецевих сталей різної міцності було встановлено [3], що збільшення часу контакту конструкції з корозійним середовищем призводить до швидкого зменшення витривалості сталі, причому ступінь цього зменшення суттєво залежить від міцності сталі. Наприклад, для сталі низької міцності ступінь негативного впливу корозійного середовища збільшується від 15% до 37%, а у більш міцної сталі від 23% до 46%. Таким чином, можна зробити висновок, що підвищення міцності металу збільшує при циклічному навантаженні його термодинамічну нестабільність, підсилює електрохімічну гетерогенність сталі і, як наслідок, активність процесу корозії, особливо, при збільшенні часу контакту з корозійним середовищем. До факторів, які суттєво впливають на витривалість зварних конструкцій при малоциклово навантаженні також треба віднести тиск робочого середовища. За даними досліджень [3] було встановлено, що малоциклово втома сталей залежить від тиску середовища, а саме, витривалість сталей зменшується з підвищенням тиску робочого середовища.

Механічна обробка також впливає на фізико-механічні властивості металу, створюючи мікрорельєф поверхні, наклеп та залишкові напруження в приповерхневих прошарках. Всі ці фактори змінюють енергетичний стан металу та збільшують його опір циклічним навантаженням [3].

Таким чином, можна зробити висновок, що вплив дефектів залежить від великого числа факторів, які потрібно враховувати при розрахунках залишкового ресурсу роботи конструкції і тому науково-технічна задача розрахунку залишкового ресурсу зварних кільцевих стиків паропроводів з тріщиною подібними технологічними дефектами за наявності залишкових зварювальних напружень та малоциклово навантаження є актуальною і потребує наукового дослідження.

Основна частина

Розглянемо рекомендації нормативної документації щодо оцінки якості зварного з'єднання паропроводу на основі діагностики неруйнівними методами контролю на прикладі нормативних документів РТМ-1с, ДНАОП 0.00-1.11-98, СНиП 3.05.05.84. Згадані нормативні документи залишають нам вузьку область технологічних дефектів, які допускаються до експлуатації і є підставою для розрахунку ресурсу роботи конструкції з даними типами пошкоджень.

Багаторічний досвід експлуатації технологічного обладнання, а саме міжцевових паропроводів



III категорії на ПАО «Укртатнафта» свідчить про необхідність розрахунку залишкового ресурсу зварних швів з технологічними дефектами.

У зв'язку з активним будівництвом в 50–70 рр. минулого століття в стиснуті строки заводів та розвитком інфраструктури нафтової промисловості України, якість виконання зварювальних робіт на той час не відповідала нормам контролю. В результаті технологічні дефекти залишились на весь розрахунковий період експлуатації обладнання.

При планових технічних оглядах міжцехових паропроводів III категорії у 2007–2010 рр. було встановлено, що опираючись на згадану вище нормативну документацію, вибраковується близько 60–80% обстеженої кількості зварних з'єднань, серед яких близько 70% через непровар кореня шва.

Саме тому на сьогодні виникла необхідність розгляду питання впливу непроварів на ресурс роботи кільцевих зварних стиків технологічних паропроводів нафтопереробних заводів.

Непровар являє собою значної величини несучільність конструкції на границі основного та наплавленого металу або незаповнену металом порожнину у шві. Непровари виникають при забрудненні зварюваних крайок, неправильній підготовці з'єднання до зварювання, нестійкому режимі зварювання тощо. Непровари можуть зменшити працездатність зварного з'єднання за рахунок зменшення поперечного перерізу трубопроводу по кільцевому шву та підвищити концентрацію напружень [1].

З роботи [2] можна зробити висновок, що схильність зварних стикових з'єднань з непроваром при статичному навантаженні до руйнування за умови однобічного напруженого стану залежить від міцності основного та наплавленого металу і може бути оцінена коефіцієнтом чутливості q (1):

$$q = \frac{\sigma_{в.р} - \sigma_{в.д}}{\sigma_{в.р}} \quad (1)$$

де, $\sigma_{в.р}$ – розрахункова границя міцності стикового з'єднання без підсилення при різній величині дефекту. $\sigma_{в.д}$ – дійсна границя міцності отримана при випробуванні зразків стикового з'єднання без підсилення при різній величині дефекту.

При знакозмінному навантаженні вплив непровару на довговічність зварних з'єднань проявляється більшою мірою ніж при статичному. Вплив непровару в корені шва на границю витривалості стикового з'єднання без опуклості показано на рис. 1 [2].

Важливо звернути увагу (рис. 2) на порівняння витривалості стикового зварного з'єднання з маловуглецевої сталі за наявності непровару в корені шва та без нього з опуклістю шва висотою

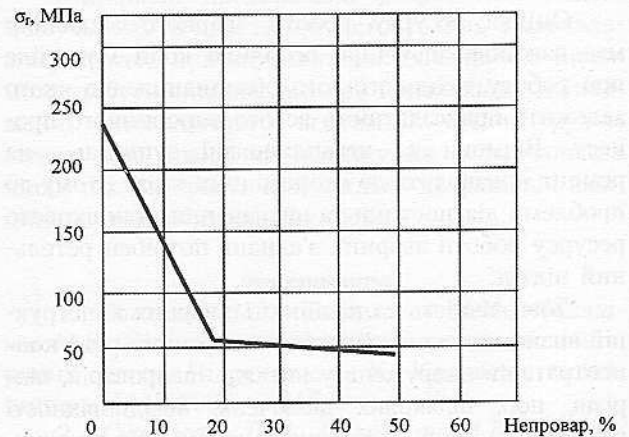


Рис. 1. Вплив непровару в корені шва на витривалість стикових зварних з'єднань без опуклості з низьковуглецевої сталі [2]

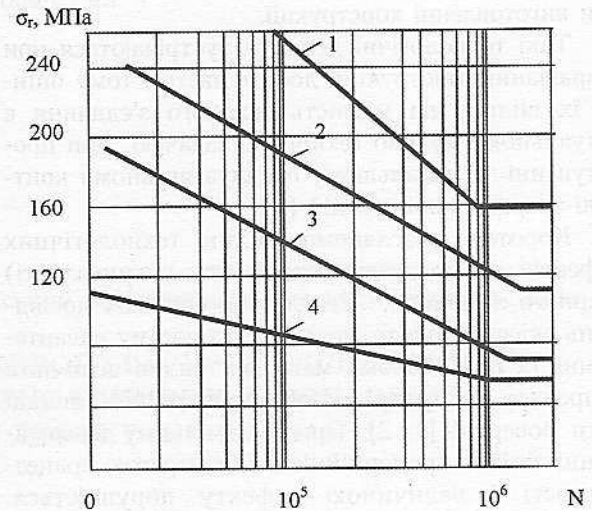


Рис. 2. Витривалість стикових зварних з'єднань з непроваром в корені шва при асиметричному розтягу ($r=0,1$; $N=2 \cdot 10^5$ циклів) [2]: 1 – шов без дефектів; 2 – непровар 13-20%; 3 – непровар 30%; 4 – непровар 42-48%

30% при асиметричному розтягу. З цього можна зробити висновок, що непровар в корені зварного з'єднання різко зменшує деформаційну здатність металу шва.

Розглянемо наведений в роботі [4] приклад розрахунку зварних конструкцій на довговічність. При оцінці довговічності виникають дві основні задачі.

Перша задача полягає у розрахунку конструкції на запланований термін експлуатації, а друга – у визначенні граничного терміну експлуатації. Для виробів, що експлуатуються при температурі до 350°C основним показником є циклічна та крихка міцність, а також оцінка впливу корозійного середовища [4].

Взагалі можна виділити [4] чотири групи методів оцінки довговічності: за втотою зварних з'єднань з тріщиною, за тривалою міцністю, за кривими втотою, метод сумування пошкоджень.

Розглянемо першу (найпоширенішу) методику визначення довговічності конструкції. Методика базується на використанні параметрів механіки руйнування і використовується для конструкцій, що працюють при температурі до 350°C. Розрахунок виконується в два етапи:

— на першому етапі визначають критичний розмір дефекту, який за умови граничного стану матеріалу при статичному навантаженні викликає повне крихке руйнування виробу. Критичний розмір дефекту розраховується за формулою (2) для напівеліптичної тріщини:

$$a_c = \frac{\sigma_T E \delta_c Q}{1,21 \pi \sigma^2} \quad (2)$$

де a_c — критична максимальна глибина тріщини; σ_T — межа текучості; E — модуль Юнга; Q — безрозмірний параметр тріщини, який дорівнює 0,75–2,25 [4].

На наступному етапі визначається кількість циклів — N , необхідних для росту тріщини від її початкового a_i до критичного a_c розміру при заданому рівні циклічних навантажень $\Delta\sigma$. В розрахунку враховуються механічні властивості матеріалу, умови навантаження, форма тріщини та місце її розташування. Для розрахунку потрібно також прийняти константи опору матеріалу розвитку тріщини C_0 та n , що входять в рівняння Періса (3):

$$\frac{dl}{dN} = C_0 (\Delta K)^n \quad (3)$$

де $\frac{dl}{dN}$ — середня швидкість росту тріщини завдовжки $2l$ за кожен цикл навантаження; ΔK — розмах коефіцієнта інтенсивності напружень при циклічному навантаженні.

Розрахунок числа циклів, необхідних для розвитку тріщини від початкового її значення a_i до її критичного розміру a_c з урахуванням геометричного фактору M при заданій амплітуді напружень $\Delta\sigma$, проводиться за рівнянням Вільсона (4):

$$N = \frac{2}{((n-2)C_0(\Delta\sigma)^n M^2)} \left(\frac{1}{a_i^{\frac{n-2}{2}}} - \frac{1}{a_c^{\frac{n-2}{2}}} \right) \quad (4)$$

де $M = 1,21 \frac{\pi}{Q}$ — параметр, що залежить від форми тріщини, геометрії тіла та виду навантаження.

Отримані залежності будуються у вигляді графіків розвитку тріщин (рис. 3) і дозволяють встановити за числом циклів довговічність, необхідну для розвитку тріщини втотою до граничного розміру для кожного рівня циклічного навантаження. Гарантована безпечна довговічність виробу з дефектом в умовах циклічного навантаження гарантується коефіцієнтом запасу, рівним 10 [4].

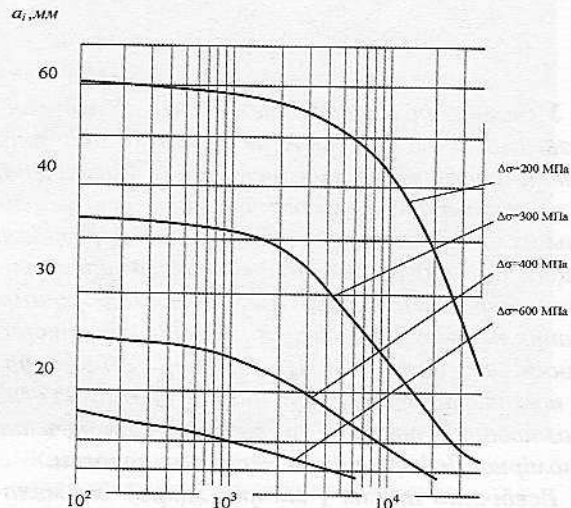


Рис. 3. Циклічна стійкість зварного шва зі сталі 22К без термообробки.

Висновок

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми залишкового ресурсу безпечної експлуатації кільцевих зварних стиків технологічних паропроводів з тріщиноподібними технологічними дефектами в швах показано, що існуюча методика розрахунку залишкового ресурсу експлуатації потребує подальшого вдосконалення і розробки нових алгоритмів розрахунку з метою урахування залишкового напружено-деформованого стану від зварювання.

Література

1. Волченко В.Н. Контроль качества сварки. Учебное пособие для машиностроительных вузов. М., «Машиностроение», 1975. — 328с.
2. Николаев Г.А. Надежность сварных соединений и конструкций. М., «Машиностроение», 1967. — 227с.
3. Карпенко В.Г., Кацов К.Б., Кокотайло И.В., Руденко В.П. Малоцикловая усталость стали в рабочих средах. К., «Наукова думка», 1977. — 106с.
4. Хромченко Ф.А. Надежность сварных соединений труб котлов и паропроводов. — М.: Энергоиздат, 1982. — 120с