УДК 539.3

А. Р. Дзюбик
НУ “Львівська політехніка”, кафедра обладнання
та технології зварювального виробництва

ВПЛИВ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЗВАРЮВАННЯ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН СТИКІВ ТРУБОПРОВОДІВ

© Дзюбик А. Р., 2000

Запропоновано нову функцію для описання епюри залишкових пластичних деформацій у випадку ручного дугового зварювання. Проведено експериментальні дослідження. Доведено, що можна отримати суттєву зміну напруженого стану кільцевого зварного з’єднання регулюванням параметрів режиму зварювання у межах, які рекомендовані в літературі. Запропоновано оптимальні параметри режиму зварювання.

It is proposed new function for the description епюры of residual plastic deformations in case of hand-operated arc welding. As a result of the carried out experimental researches is shown, that is possible to receive essential change of the intense condition of ring welded connection by regulation of parameters of a mode of welding in borders recommended in the literature. It is proposed optimum parameters of a mode of welding.

Від величини погонної енергії зварювання при інших рівних умовах залежать розмір шва та навколошовної зони, ступінь перегрівання зварювальної ванни, швидкість охолодження різних ділянок з’єднання, а, отже, його властивостей. Особливо актуальними є при спорудженні та ремонті магістральних трубопроводів, зварювальні роботи, які ведуться в польових умовах, а самі вони в процесі експлуатації перебувають під впливом природних та техногенних чинників. Виходячи з умови забезпечення оптимальних структури та властивостей зварного з’єднання, здійснюється регламентація параметрів режиму зварювання стиків трубопроводів [1, 2]. Однак попередні теоретичні та експериментальні дослідження показали, що в межах, які рекомендовані в літературі, отримано досить суттєве варіювання залишкового напруженого стану [3], що викликало потребу глибшого вивчення цього питання.

У роботі досліджувалися кільцеві зварні з’єднання стальних труб (сталь 17 ГС) діаметром 325 мм та товщиною стінки 5 мм. Зварювання виконувалося без розробки крайок, ручним дуговим способом за один прохід [4]. Застосовувалися електроди марки **Гарант**. Діаметр електродного дроту $d_{ел}$, враховуючи технологічний процес (необхідність проплавити та заповнити стик за один прохід) та марку електрода приймаються такими, що дорівнюють 3,25 мм. Підготовка до зварювання виконувалася згідно з вимогами, які висуваються при спорудженні магістральних газопроводів [2]. До параметрів процесу, зміна яких у цьому випадку викликає різний напружений стан, відносяться: струм зварювання $I_{зв}$, напруга дуги $U_д$, швидкість зварювання $V_{зв}$ [5]. Ефективний ККД дуги η, враховуючи

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

спосіб зварювання та використовувані електроди, приймають такими, що дорівнюють 0,7. Таким чином, число факторів для плану експерименту становило m = 3. Залишкові зварювальні напруження вимірювалися за допомогою таких неруйнівних методів: магнітопружного та ТЕРС. Ці методи дають можливість фіксувати напружений стан на поверхні труби [3, 5].

Аналіз технологічно можливих коливань факторів, які досліджуються, дав змогу визначити межі їх варіювання, а також необхідність дослідження цих факторів на двох рівнях (n = 2). Тоді повна кількість експериментів становитиме $n^m = 2^3 = 8$. План повного факторного експерименту рівномірно охоплює усе поле досліджень, а також виключається можливість повторення парних сполучень факторів. У табл. 1 подано оцінку можливості впливу основних параметрів режиму на напружений стан з'єднання.

Таблиця 1

Фактори та інтервали їх зміни

Фактор	Рівні факторів			Інтервал зміни
	нижній -1	основний 0	верхній +1	
Струм зварювання, А	90	110	130	20
Швидкість зварювання, м/год	3,16	3,88	4,60	0,72
Напруга дуги, В	20	23	26	3

Відомо [6], що при експлуатації магістрального трубопроводу, максимальні напруження в матеріалі труби від дії робочого тиску виникають біля її внутрішньої стінки, причому колові є значно більші від поздовжніх. Враховуючи це, за вихідні параметри планування (функція відгуку) прийняті максимальні значення колових напружень $\sigma_{\text{гг}}$ біля її внутрішньої стінки. Вони визначалися за допомогою розрахунково-експериментального методу, який ґрунтується на розв'язках обернених задач теорії оболонок та інформації, і отриманій експериментальними методами [7]. У роботі застосовувався математичний апарат для випадку зварювання однопрохідним швом двох труб без розробки крайок [8]. Кількість замірів експериментальних даних при визначенні параметрів забезпечувала статистичну обробку з довірчою ймовірністю 0.95.

Для описання поля пластичних деформацій у роботі [9] застосовується функція $\Phi(\alpha) = 1 - P\cdot(\alpha^2/\alpha_0^2) - (1-P)\cdot(\alpha^4/\alpha_0^4)$, де α – віднесена до радіуса труби відстань від осі шва; P – коефіцієнт, що задає кривину графіка функції; α_0 – віднесена до радіуса труби півширина зони пластичних деформацій. Однак при $\alpha = \alpha_0$ умова гладкості ($\Phi(\alpha = \alpha_0) = 0; d\Phi/d\alpha \ |\alpha = \alpha_0| = 0$) задовольняється тільки при $p = 2/3$, а більшість кільцевих швів виконується ручним дуговим зварюванням, тобто при p, що дорівнює 0 [8]. Нижче отримано новий вираз, що задовольняє цю умову гладкості.

Нехай функція, що описує поле пластичних деформацій, має вигляд:

$$\varphi(\alpha) = 1 + p\cdot\left(\alpha^2/\alpha_0^2\right) + p_4\cdot\left(\alpha^4/\alpha_0^4\right) + p_6\cdot\left(\alpha^6/\alpha_0^6\right).$$

Тоді задовільняючи умову гладкості функції отримаємо таку систему рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} 1 + p + p_4 + p_6 = 0 \\ p + 2p_4 + 3p_6 = 0 \end{aligned}\right\}.$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Розв'язуючи її відносно p отримаємо, що $p_4 = -3 - 2p$, $p_6 = 2 + p$, або

$$\varphi(\alpha) = 1 + p \cdot \left(\alpha^2 / \alpha_0^2\right) - (3 + 2p) \cdot \left(\alpha^4 / \alpha_0^4\right) + (2 + p) \cdot \left(\alpha^6 / \alpha_0^6\right).$$

Покладаючи p = 0, отримаємо таку функцію:

$$\varphi(\alpha) = 1 - 3 \cdot \left(\alpha^4 / \alpha_0^4\right) + 2 \cdot \left(\alpha^6 / \alpha_0^6\right). \quad (1)$$

Графічне зображення функцій показано на рис. 1.

Отже, коли відбувається великий тепловміст при зварюванні, а шов широкий (ручне дугове, під шаром флюсу), найкраще відображає поле пластичних деформацій отримана функція (1).

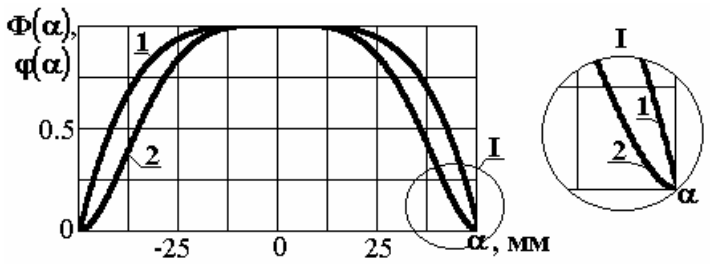

Рис. 1. Поле пластичних деформацій при $p = 0, \alpha_0 = 50$ мм:
1 – функція $\Phi(\alpha)$; 2 – функція $\varphi(\alpha)$

План повного факторного експерименту подано в табл. 2. Крім того, подаються значення напружень біля внутрішньої стінки труби ($\sigma_{гг}$) та півширини зон залишкових пластичних деформацій (B_p), які отримано в результаті застосування розрахунково-експериментального методу.

Таблиця 2

Матриця планування

Номер досліду	$I_{зв}$, А	$V_{зв}$, м/год	$U_д$, В	$\sigma_{гг}$, МПа	B_p, мм
1	90	3.16	20	-89.01	54
2	130	3.16	20	-67.18	67
3	90	4.60	20	-111.26	42
4	130	4.60	20	-89.47	53
5	90	3.16	26	-72.92	63
6	130	3.16	26	-55.82	72
7	90	4.60	26	-96,18	50
8	130	4.60	26	-73.38	63

У зв'язку з тим, що функція залежності напружень від параметрів режиму зварювання має складний характер, отримана на основі матриці планування (табл. 2) математична модель не дає змоги відтворити цієї залежності. Однак результати досліджень підтвердили, що при варіюванні параметрами зварювального процесу отримується суттєва (до 100 %) зміна величини напруженого стану у зварному з'єднанні. Також приходимо до висновку, що зменшення напружень відбувається при збільшенні ширини зони пластичних деформацій. Це можна пояснити тим, що внаслідок більшого прогрівання металу, напруження рівномірніше розподіляються у зварному з'єднанні.

Відомо [5], що величина B_p суттєво залежить від погонної енергії зварювання; її збільшення веде до зростання зони. Аналогічні результати отримано на основі аналізу даних табл. 2 та величин погонної енергії, на яких проводилося зварювання. Отже, для досягнення мінімального напруженого стану необхідно збільшити потужність джерела нагрівання.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Однак такий підхід до зменшення залишкових напружень з'єднання, у випадку виконання кільцевих стиків труб, обмежується технологічними особливостями процесу на циліндричних поверхнях: збільшений об'єм зварювальної ванни призводить до стікання шлаку та рідкого металу; часто можна спостерігати бурхливе їх "кипіння", що викликає утворення у шві пор та шлакових вкраплень; порушується стабільність горіння дуги; погіршується формування шва. Тому, при зварюванні однопрохідним швом двох труб, без розробки крайок, рекомендується виконувати його на погонній енергії від 14 000 до 18 000 $Дж/см$. Тоді залишкові кільцеві напруження на внутрішній стінці труби будуть, відповідно, від 89 до 73 МПа.

На основі розглянутого матеріалу можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано нову функцію для описання епюри залишкових пластичних деформацій у випадку ручного дугового зварювання.

2. На основі експериментів та розрахунків показано, що при зміні в рекомендованих межах параметрів режиму зварювання, можна отримати суттєве варіювання залишкових напружень з'єднання.

1. ВСН 006–89. Сварка и контроль качества сварных соединений при сооружении магистральных газопроводов. 2. ВБН В.2.3-000182001…-00. Сварка и контроль качества сварных соединений при сооружении магистральных газопроводов. 3. Палаш В., Юськів В., Дзюбик А. Дослідження впливу параметрів зварювання на напружений стан поверхневих шарів зварних з'єднань методом ТЕРС // Тез. доп. 1-го наук. симп. "Сучасні проблеми інженерної механіки". Луцьк, 2000. С.39. 4. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Введ. 24.04.80. 5. Касаткин Б.С., Прохоренко В.М., Чертов И.М. Напряжения и деформации при сварке. К., 1987. 6. Юськів В. М., Дзюбик А. Р. Розрахунково-експериментальний метод визначення напружень в оболонках // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1999. № 376. С.66–69. 7. Осадчук В., Большаков М., Палаш В. Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних оболонках // Машинознавство. 1997. № 1. С.5–9. 8. Палаш В.М., Юськів В.М., Дзюбик А.Р. Напруження у трубах, з'єднаних зварним кільцевим швом // Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2000. № 8. С.47–50. 9. Осадчук В.А., Шелестовська М.Я. Розподіл залишкових зварювальних напружень у товстих плитах з круговими швами // Фіз.-хім. механіка матеріалів. 1998. № 3. С.31–35.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua