

ДІАГНОСТУВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ТРУБ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ МЕТОДОМ

© Банахевич Ю. В.

Управління магістральних газопроводів "Львівтрансгаз"

© Осадчук В. А., Дзюбик А. Р.

Національний університет "Львівська політехніка"

Представлено математичну модель розрахунково-експериментального методу визначення напруженодеформованого стану в стикових зварних з'єднаннях із кільцевим швом. Запропоновано новий підхід для кількісного врахування впливу змін структурно-фазового складу металу труби під дією термодформаційного циклу зварювання. Визначено початкові покази приладу магнітопружного методу для різних ділянок зони термічного впливу з'єднання при оптимальних параметрах режиму зварювання.

Для надійної оцінки ресурсу роботи трубопроводів необхідний комплексний підхід, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану їх матеріалу. Особливо це стосується місць їх технологічного ослаблення — зварних з'єднань, зокрема, стиків труб. Тут спостерігається значна нерівномірність напружень за величиною та розподілом вздовж твірної труб. Використання існуючих експериментальних методів діагностування напружень в околі зварних з'єднань є дещо обмеженим: для неруйнівних — через недостатню повну інформативність, а для руйнівних — через неможливість застосування на діючих магістральних трубопроводах. Проблемою розрахункових методів є труднощі у встановленні напруженого стану матеріалу зварних стиків труб після тривалої експлуатації конструкцій. У зв'язку з цим важливим є розробка розрахунково-експериментальних методів, які на основі експериментально доступних даних дають змогу відтворити максимально наближений до реального розподіл напружень.

Один з таких підходів базується на розв'язанні обернених задач механіки деформованих тіл з власними напруженнями та використанні доступної експериментальної інформації. Однак існуючі на теперішній час моделі не дають змоги врахувати кількісний вплив структурно-фазового складу навколошовних ділянок на точність вимірювання неруйнівними методами. Нище представлено один із шляхів вирішення цієї проблеми для випадку застосування в розрахунково-експериментальному методі інформації, отриманої магнітопружного тензометрією.

Суть цього методу полягає в наступному. Спочатку записуються основні співвідношення і

диференціальні рівняння механіки деформованих тіл з залишковими деформаціями, які одержуються з використанням зображення компонентів тензора деформації $\{e_{ij}\}$ у вигляді суми: $e_{ij} = e_{ij}^e + e_{ij}^0$, де e_{ij}^e — компоненти тензора повної деформації, e_{ij}^0 — компоненти тензора пружної деформації, e_{ij}^0 — компоненти тензорного поля умовних пластичних власних деформацій, несумісність яких зумовлює виникнення залишкових напружень. При цьому поле e_{ij}^0 враховує, крім пластичних деформацій, також деформації, зумовлені різного роду структурними перетвореннями, які супроводжуються зміною об'єму матеріалу. Далі з використанням, зокрема, фундаментальних розв'язків або функцій Гріна розв'язувальних рівнянь будуються інтегральні подання компонентів тензора напружень через невідомі компоненти поля деформацій e_{ij}^0 . Щоб знайти це поле, використовується експериментальна інформація про поле залишкових напружень, та будується функціонал, мінімізація якого забезпечує мінімальні відхилення експериментально визначених I_m^E від аналогічних теоретично обчислених I_m^T характеристик полів напружень. Тоді задача про знаходження поля e_{ij}^0 розв'язується як обернена задача механіки деформованих тіл з власними напруженнями і є умовно коректною. Розв'язок такої задачі будується на певних підмножинках допустимих розв'язків, зокрема, на компактній множині [1], що забезпечує його стійкість до малих змін вхідних параметрів, які одержуються на основі експериментальних даних. Після знаходження поля

e_{ij}^0 обчислюються компоненти тензора залишкових напружень в довільній точці тіла, зокрема ті, які не можна отримати експериментально.

Розглянемо стикове зварне з'єднання труб кільцевим швом, що виконаний за один або декілька проходів, валики при зварюванні накладаються послідовно, а не одночасно по всьому периметру, тому залишкові напруження в зоні зустрічі початку і кінця шва будуть відрізнятися від напружень в інших місцях з'єднання. Строго кажучи, розподіл напружень по цій причині не буде осесиметричним, але, як показують експериментальні дослідження, залишкові напруження в трубах великих діаметрів, в яких зона зустрічі початку і кінця шва складає невелику частину периметра, практично можна вважати осесиметричними [1]. Нехай радіус труби буде складати R , а товщина $2h$. Для зручності будемо користуватись безрозмірними координатами $\alpha = z/R$, $\beta = \pi/2 + \varphi$, γ – координата вздовж зовнішньої нормалі до серединної поверхні, початок координат виберемо на осі шва. Вони пов'язані з декартовими співвідношеннями $X = -R \sin \beta$, $Y = -R \cos \beta$, $z = R\alpha$, φ – кут, що утворюється довільною площиною, яка проходить через вісь обертання, з вибраною за початкову.

Тоді за умов відсутності осьових зусиль для побудови інтегрального подання характеристик напруженого стану використаємо фундаментальний розв'язок ключового рівняння задачі для визначення функції прогину $W(\alpha)$, яке записане в рамках гіпотези Кірхгофа-Лява у вигляді [1, 2]

$$W(\alpha) = \frac{aR}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_{\beta\beta}^0(\zeta) K_1(\zeta - \alpha) d\zeta + \frac{R^2}{4a} \int_{-\infty}^{\infty} [\varkappa_{\alpha\alpha}^0(\zeta) + \mu \varkappa_{\beta\beta}^0(\zeta)] K_2(\zeta) d\zeta, \quad (1)$$

де $K_{1,2} = e^{-\alpha|\zeta-\alpha|} [\cos(a|\zeta-\alpha|) \pm \sin(a|\zeta-\alpha|)]$, верхній знак (+) відноситься до функції K_1 , а нижній (-) до

$$K_2; \varepsilon_{\beta\beta}^0 = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h e_{\beta\beta}^0(\alpha, \gamma) d\gamma, \varkappa_{ii}^0 = \frac{3}{2h^2} \int_{-h}^h e_{ii}^0(\alpha, \gamma) d\gamma;$$

$i = \alpha, \gamma$; $a^4 = 3R^2(1 - \mu^2)/4h^2$, μ – коефіцієнт Пуассона.

При цьому колове зусилля N_2 , осьовий M_1 та кільцевий M_2 згинальні моменти і нормальні напруження $\sigma_{\alpha\alpha}$, $\sigma_{\beta\beta}$ визначаються за формулами [1]:

$$N_2 = D_0 \left(\frac{W}{R} - \varepsilon_{\beta\beta}^0 \right),$$

$$M_i = -\frac{D_1}{R^2} \left[\frac{d^2 W}{d\alpha^2} + R^2 (\kappa_{ii}^0 + \mu \kappa_{jj}^0) \right],$$

$$\sigma_{ii} = \frac{1}{2h} (N_i + 3M_i \frac{\gamma}{h^2}) + \frac{E}{1 - \mu^2} \left[\varepsilon_{ii}^0 + \kappa_{ii}^0 \gamma - \varepsilon_{ii}^0 + \mu (\varepsilon_{jj}^0 + \kappa_{jj}^0 \gamma - e_{jj}^0) \right], \quad i, j = \alpha, \beta, \quad (2)$$

де E – модуль Юнга.

Якщо підставити вираз (1) у формули (2), то отримаємо інтегральні подання для визначення напружень $\sigma_{\alpha\alpha}$, $\sigma_{\beta\beta}$ в довільній точці через компоненти тензора деформацій e_{ij}^0 . Використовуючи такі вирази можна сконструювати їх комбінації, зокрема, інтеграли від різниці головних напружень по деяких поверхневих і об'ємних областях оболонки, які можна виміряти відомими фізичними методами: магнітопружності, ультразвуковим тощо.

Тепер для визначення невідомого тензорного поля власних деформацій e_{ij}^0 на основі аналізу апріорної інформації вибирається певна підмножина допустимих розв'язків. Такою інформацією, зокрема, є результати аналізу одержаних в літературі аналітичних розв'язків деяких задач [3] і експериментальних даних одержаних руйнівними методами [4]. Проведений аналіз показує, що пластичні деформації зосереджені в деякій невеликій області біля шва і плавно згасають на її границі. При цьому в області пластичних деформацій функції, що описують компоненти тензорного поля e_{ij}^0 можуть мати монотонний характер, як, наприклад, для маловуглецевих і низьколегованих сталей, в яких структурні перетворення проходять при високих температурах (за яких поріг пластичності близький до нуля), так і немонотонний характер для матеріалів, в яких структурні перетворення проходять при порівняно низьких температурах. Для деяких легованих сталей компоненти поля e_{ij}^0 , в області пластичних деформацій можуть навіть змінювати знак [4].

Для тонких оболонок у разі осесиметричної задачі поле $e_{ij}^0(\alpha, \gamma)$ зобразимо як ряд за степенями γ та обмежимося до квадратичних членів розвинення:

$$e_{ij}^0(\alpha, \gamma) = F_{oi}(\alpha) + F_{li}(\alpha) \frac{\gamma}{h} + F_{2i} \frac{\gamma^2}{h^2}, \quad i = \alpha, \beta. \quad (3)$$

Зважаючи на те, що деформації e_{ij}^0 локалізовані в області шва і можуть бути описані гладкими функціями, апроксимуємо $F_{vi}(\alpha)$ виразами

$$F_{vi}(\alpha) = \begin{cases} \sum_{K=0}^{n_j} a_{Kj}^{(v)} \varphi_{Ki}(\alpha), & \alpha_{1j}^0 \leq \alpha \leq \alpha_{2j}^0, \\ 0, & \alpha \leq \alpha_{1j}^0, \alpha \geq \alpha_{2j}^0. \end{cases} \quad (4)$$

Тут позначено: $\varphi_{Ki}(\alpha)$ ($i = \alpha, \beta$) – задані лінійно незалежні функції, зокрема, поліноми; $a_{Kj}^{(v)}$ – невідомі (шукані) параметри ($j=1$, якщо $i = \alpha$; $j=2$, якщо $i = \beta$); n_j – скінченні цілі числа; $\alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$ – шукані координати перерізів, які характеризують межі розподілу поля умовних пластичних деформацій.

Оскільки компоненти поля e_{ii}^0 є обмеженими, то з цього витікає, що параметри $a_{Kj}^{(v)} \leq C, k = \overline{0, n_j}$. Значення параметрів $\alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$ не перевищують деякого числа α^* , яке дорівнює максимальній величині межі поля пластичних деформацій. Таким чином, множина функцій, що описується виразами (3), (4), скінченно вимірна, обмежена і є компактною множиною, що забезпечує стійкість розв'язків оберненої задачі визначення шуканих параметрів $a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$ шляхом мінімізації відповідного функціоналу [1, 2]. При цьому внаслідок гладкості поля e_{ij}^0 (неперервності функцій та їх похідних на межі області пластичних деформацій: $\alpha_1 = \alpha_{1j}^0, \alpha = \alpha_{2j}^0$) параметри $a_{Kj}^{(v)}$ повинні задовольняти умови

$$F_{vi} = 0, \frac{dF_{vi}}{d\alpha} = 0, \alpha = \alpha_{1j}^0, \alpha = \alpha_{2j}^0. \quad (5)$$

Підставивши тепер вирази (3), (4) в (1), а потім в (2), отримуємо вирази для обчислення залишкових напружень в довільній точці оболонки [2], які подано у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha, \gamma) = & \frac{3\gamma}{2h^3} M_1(\alpha) + \\ & + \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{1}{3} - \frac{\gamma^2}{h^2} \right) \left[\sum_{K=0}^{n_1} a_{K1}^{(2)} \varphi_{K\alpha}(\alpha) S_1(\alpha) + \right. \\ & \left. + \mu \sum_{K=0}^{n_2} a_{K2}^{(2)} \varphi_{K\beta}(\alpha) S_2(\alpha) \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\beta\beta}(\alpha, \beta) = & \frac{1}{2h} N_2(\alpha) + \frac{3\gamma}{2h^3} M_2(\alpha) + \\ & + \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{1}{3} - \frac{\gamma^2}{h^2} \right) \left[\sum_{K=0}^{n_2} a_{K2}^{(2)} \varphi_{K\beta}(\alpha) S_2(\alpha) + \right. \\ & \left. + \mu \sum_{K=0}^{n_1} a_{K1}^{(2)} \varphi_{K\alpha}(\alpha) S_1(\alpha) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

де

$$N_2(\alpha) = D_0 \left\{ \frac{a}{2} \sum_{k=0}^{n_2} \left(a_{k2}^{(0)} + \frac{1}{3} a_{k2}^{(2)} \right) f_{1k}(a) + \frac{R}{4a} \left[\sum_{k=0}^{n_1} a_{k1}^{(1)} f_{4k}(a) + \sum_{k=0}^{n_2} a_{k2}^{(1)} f_{3k}(a) \right] - \left[- \sum_{k=0}^{n_2} \left(a_{k2}^{(0)} + \frac{1}{3} a_{k2}^{(2)} \right) \varphi_{k\beta}(a) S_2(a) \right] \right\},$$

$$M_1(\alpha) = D_1 \left\{ \frac{a^3}{R} \sum_{k=0}^{n_2} \left(a_{k2}^{(0)} + \frac{1}{3} a_{k2}^{(2)} \right) f_{3k}(a) - \left[- \frac{a}{2} \left[\sum_{k=0}^{n_1} a_{k1}^{(1)} f_{2k}(a) + \sum_{k=0}^{n_2} a_{k2}^{(1)} f_{1k}(a) \right] \right] \right\},$$

$$M_2(\alpha) = \mu M_1(a) - D_1 (1 - \mu^2) \sum_{k=0}^{n_2} a_{k2}^{(1)} \varphi_{k\beta}(a) S_2(a),$$

$$f_{1k}(a) = \int_{a_{12}^0}^{a_{22}^0} \varphi_{k\beta}(\zeta) \mathcal{K}_1(\zeta - a) d\zeta,$$

$$f_{2k}(a) = \int_{a_{12}^0}^{a_{22}^0} \varphi_{ka}(\zeta) \mathcal{K}_1(\zeta - a) d\zeta,$$

$$f_{3k}(a) = \int_{a_{12}^0}^{a_{22}^0} \varphi_{k\beta}(\zeta) \mathcal{K}_2(\zeta - a) d\zeta,$$

$$f_{4k}(a) = \int_{a_{12}^0}^{a_{22}^0} \varphi_{ka}(\zeta) \mathcal{K}_2(\zeta - a) d\zeta,$$

$$S_1(a) = \begin{cases} 1, & a_{11}^0 \leq a \leq a_{21}^0, \\ 0, & a \leq a_{11}^0, a \geq a_{21}^0, \end{cases} \quad S_2(a) = \begin{cases} 1, & a_{12}^0 \leq a \leq a_{22}^0, \\ 0, & a \leq a_{12}^0, a \geq a_{22}^0. \end{cases}$$

Для знаходження параметрів $a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$

використаємо експериментальну інформацію, яку можна здобути за допомогою вимірювань одним із фізичних методів або їх синтезу. Позначимо величини, які можна одержати за допомогою вимірювань $I_m^E(\sigma_{ii})$.

У відповідність цим величинам запишемо вирази через компоненти напружень, які отримуємо за допомогою співвідношень (6) і позначимо їх

$I_m^T(\sigma_{ii})$. Побудуємо тепер функціонал

$$g(a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M P_n [I_m^T(\Omega_n, a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0) - I_m^E(\Omega_n)]^2, \quad (7)$$

де $I_m^E(\Omega_n)$ – різновидності інтегральних експериментальних характеристик, Ω_n – підобласті оболонки, в яких ці характеристики вимірюються; P_n – деякі вагові множники.

Обернена задача про визначення поля деформацій $e_{ij}^0(\alpha, \gamma)$ зводиться до знаходження параметрів $a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$, за яких є мінімальний функціонал (7) на множині функцій (3), (4) для різних чисел членів n_1, n_2 . При цьому числа n_1, n_2 є “природними” [1] параметрами регуляризації. За наближений розв’язок задачі приймаємо величини $a_{Kj}^{-(v)}, \alpha_{1j}^-, \alpha_{2j}^-$, які забезпечують найменше значення функціонала g .

При визначенні характеристик напруженого стану в металевих оболонках, зокрема, трубах великого діаметра широко використовують магнітопружний фізичний метод [5]. При цьому з використанням показників вимірювань магнітопружним методом визначають усереднену по площі поверхні контакту давача з поверхнею оболонки ψ різницю головних напружень

$$\sigma_+^E(\alpha_n) = \frac{1}{\psi} \iint_{\psi} [\sigma_{\beta\beta}(\alpha_n + h) - \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha_n + h)] d\psi, \quad (8)$$

де α_n – координати центрів поверхонь давачів.

З використанням такої експериментальної інформації функціонал (7) записуємо у вигляді

$$g(a_{Kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0) = \sum_{n=1}^{N_1} P_n \left[\sigma_+^T(\alpha; a_{Kj}^{(v)}; \alpha_{1j}^0; \alpha_{2j}^0) - \sigma_+^E(\alpha_n) \right]^2.$$

Приймаючи в першому наближенні, що давач контактує з поверхнею труби по деякому колу радіусом r , вираз (8) можна спростити до наступного вигляду:

$$\sigma_+^E(\alpha_n) = \frac{1}{\psi} \int_a^{a+2r} \left[\sigma_{\beta\beta}(\alpha_n + h) - \sigma_{\alpha\alpha}(\alpha_n + h) \right] \sqrt{r^2 - (\alpha - \alpha_n)^2} d\alpha,$$

де $a = \alpha_n - r$.

Величина σ_+^T , що описується виразом (8), враховує неоднорідність розподілу залишкових напружень під контактуючими поверхнями давача і

оболонки. Зауважимо, що при визначенні величин $\sigma_+^E(\alpha_n)$, слід оцінити вплив структурно-фазового складу матеріалу в зоні термічного впливу зварного з’єднання на зміну тих фізичних властивостей матеріалу, на базі яких ґрунтується магнітопружний метод.

Зазначимо, що визначальним при цьому для випадку магнітопружного методу є розмір ділянки із конкретною структурою та початкові покази приладу на цій ділянці.

Для наближеного врахування впливу різних ділянок ЗТВ зварного з’єднання, що знаходяться в досліджуваній під давачем області, та визначення напружень, нами запропоновано наступний підхід. Спочатку в польових умовах виконують металографічний аналіз зварного з’єднання, визначають лінійні розміри ЗТВ та знімають покази приладів для визначення напружень в навколошовних ділянках. При кожному вимірюванні слід виконувати обов’язкову фіксацію відстані від осі шва до геометричного центру давача. Отримана інформація дає змогу визначити найбільш вагомі (з точки зору впливу на початкові покази приладів неруйнівних методів) структурні складові та вибрати мінімально необхідну кількість зразків – імітаторів. Далі у лабораторних умовах виконують тарування еталонного зразка, шляхом імітації термічного циклу зварювання на окремих зразках – імітаторах отримують відповідний структурно-фазовий склад визначених ділянок ЗТВ та визначають на них початкові значення показів приладу. Усереднене початкове значення в досліджуваній під давачем області зварного з’єднання (N_0^{cep}) розраховується за наступною формулою:

$$N_0^{cep} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot F_i \cdot N_0^i, \quad (9)$$

де F – площа досліджуваного давачем зварного з’єднання; F_i, N_0^i, δ_i – відповідно ваговий множник, площа, початкові покази приладу окремої ділянки зварного з’єднання.

Тоді для наближеного врахування зміни структурно-фазового складу зони термічного впливу зварного з’єднання низьколегованої трубної сталі отримуємо наступну формулу:

$$N_0^{cep} = \frac{1}{F} \left(\begin{aligned} & m \cdot F_{OM} \cdot N_0^{OM} + \\ & + n \cdot F_{HP} \cdot N_0^{HP} + \\ & + k \cdot F_H \cdot N_0^H + s \cdot F_{IP} \cdot N_0^{IP} \end{aligned} \right), \quad (10)$$

де N_0^{cep} – початкове значення показів приладу в досліджуваній під давачем області; $m,$

$F_{OM}, N_0^{OM}, n, F_{НП}, N_0^{НП}, k, F_H, N_0^H, s, F_{ПП}, N_0^{ПП}$ – значення показів приладу, площі та вагові множники відповідних ділянок: *OM* – основний метал, *НП* – неповна перекристалізація, *H* – нормалізація, *ПП* – перегрів.

Залежно від кількості вимірювань, структурно-фазового складу та лінійних розмірів ЗТВ можливе отримання декількох усереднених значень початкових показів приладу.

На основі аналізу діаграми залежності початкових показів приладу на зразках-імітаторах від швидкості їх охолодження [5] для сталі 13Г1СУ,

а також враховуючи, що для низьколегованих трубних сталей рекомендованою швидкістю охолодження зварного з'єднання (з точки зору забезпечення оптимального структурно – фазового складу зони термічного впливу) є 13 °С/с [6] нами отримані наступні результати. Кожна із ділянок ЗТВ (основний метал – 46, неповна перекристалізація – 123, нормалізація – 84, перегрів – 74), що може внести похибки в результати експериментального визначення напружень (рис. 1).

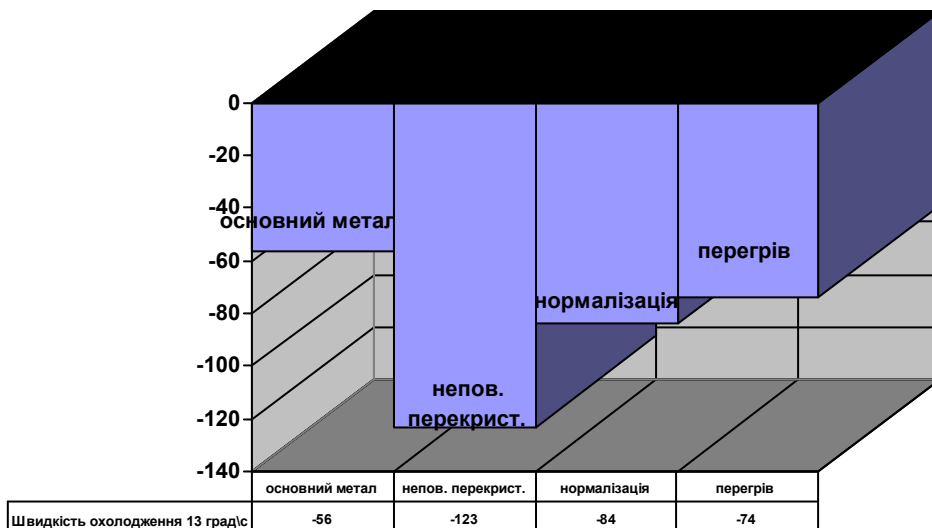


Рис. 1. Початкові покази приладу магнітопружної тензометрії на зразках-імітаторах, що моделюють різні ділянки зони термічного впливу зварного з'єднання, звареного при оптимальних швидкостях охолодження

Отримані результати вказують на значні відмінності фізичних властивостей металу на різних відстані від осі шва та наглядно характеризують значний вплив термодформаційного циклу зварювання на вимірювання напружень неруйнівними фізичними методами.

Представлені результати можуть використовуватися не лише вихідними при визначенні напружено-деформованого стану зварних з'єднань, які виготовлені з контролем процесу зварювання, а й для діагностування допустимості застосовуваних параметрів зварювання при контролі якості зварних з'єднань.

Розподіл залишкових напружень в околі стикового кільцевого з'єднання труб з використанням експериментальної інформації, отриманої

магнітопружним методом, приведено в роботі [5]. При цьому отримувалася інформація про різницю квазіголовних напружень.

Зауважимо, що при використанні запропонованого методу відтворення повної картини розподілу залишкових технологічних напружень в елементах конструкцій за допомогою доступної експериментальної інформації, яку можна здобути неруйнівними методами, зводиться до визначення невідомих параметрів поля власних деформацій e_{sj}^0 , яке є причиною виникнення залишкових напружень. Число невідомих параметрів $\alpha_{kj}^{(v)}, \alpha_{1j}^0, \alpha_{2j}^0$ при збільшенні експериментальної інформації, не зростає, а тільки підвищується точність їх вимірю-

вання. Поле деформацій e_{sj}^0 є априорі найбільш інформативним, що є дуже важливим чинником при розв'язуванні обернених задач.

Викладений вище розрахунково-експериментальний метод може бути використаний при діагностуванні залишкових напружень у зварних елементах конструкцій і споруд тривалої експлуатації, зокрема, трубопроводів та резервуарів. Характерною його особливістю є те, що з використанням доступної експериментальної інформації відтворюється поле деформацій e_{ij}^0 з урахуванням неоднорідності розподілу залишкових напружень під давачами приладів і їх часткової релаксації залишкових напружень, зумовленої різними видами обробки після виконання зварних швів. За допомогою цього поля обчислюються залишкові напруження, які задовольняють рівняння рівноваги, сумісності деформацій і граничні умови, а точність їх визначення зумовлюється об'ємом і точністю експериментальних даних.

Подстригач Я. С., Осадчук В. А., Марголин А. М., *Остаточные напряжения, длительная прочность и надежность стеклоконструкций*. – К.: Наукова думка, 1991. – 296 с. Осадчук В., Большаков М., Палаш В. *Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних оболонках* // *Машинознавство*. – 1997. – №1. С.5 – 9. Махненко В.И. *Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций*. – К.: Наук. думка, 1976. – 320 с. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. *Теория сварочных деформаций и напряжений*. М.: *Машиностроение*, 1984. – 280 с. Банахевич Ю.В., Юськів В. М., Дзюбик А.Р. *Дослідження напруженого стану в зварних з'єднаннях труб із врахуванням структурних змін* // *Науковий вісник національного технічного університету нафти і газу*. – 2003. – С. 118 – 121. Шоршоров М. Х., Белов В. В. *Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке*. Атлас. – М.: Наука, 1972. – 219 с.

УДК 621.643:620.191.4

КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ В УМОВАХ ЗНАЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

© Яворський А.В., Кісіль І.С., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуто основні джерела промислових електромагнітних завад, які можуть знаходитись в зоні контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів. Оцінено вплив даних джерел на результат контролю. Запропоновано систему контролю, яка дає змогу проводити контроль ізоляції в умовах значних промислових завад.

Підземні трубопроводи використовуються для транспортування нафти і нафтопродуктів, природного газу, води тощо. Пошкодження захисного ізоляційного покриття трубопроводу спричиняє до контактування стінки з ґрунтовим електролітом, що в свою чергу призводить до корозії металу труби. І саме корозія викликає значну частину пошкоджень, які спричиняють втрату металу трубопроводу і транспортованого продукту. Тому важливо виявляти місця пошкодження ізоляційного покриття підземного трубопроводу і проводити ремонт в цих місцях, не допускаючи корозійного зносу в місцях контакту труба – ґрунт.

На даний час найбільш ефективні безконтактні методи контролю стану ізоляційного покриття, які базуються на визначенні зникання струму вздовж трубопроводу, що протікає в стінці труби і витікає в місцях пошкодження ізоляції. Зникання струму

вздовж трубопроводу визначається послідовним вимірюванням напруженості магнітного поля, що виникає навколо досліджуваної ділянки трубопроводу при протіканні в ньому цього струму. Узагальнена схема контролю ізоляційного покриття підземного трубопроводу приведена на рис.1.

Джерелом струму при проведенні контролю (рис.1) служить спеціальний генератор (7) або станція катодного захисту, що приєднується до трубопроводу 2 і заземлювача 8. За допомогою приймача пристрою контролю 6 оператор 5, вимірюючи напруженість магнітного поля вздовж вісі контролюваного трубопроводу, знаходить пошкодження ізоляційного покриття 4, що супроводжується різким зниканням струму і відповідним зменшенням напруженості магнітного поля в місці пошкодження