

# КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ІНФОРМАЦІЙНІ І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 681.51.

В.І. Білобородченко, С.В. Білобородченко\*  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
\*Військовий інститут ім. П. Сагайдачного

## ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ПАЛИВНИХ БАКІВ

© Білобородченко В.І., Білобородченко С.В., 2006

Розглянуто питання оптимізації технології неруйнівного контролю герметичності зварних паливних баків. Встановлено функціональний зв'язок між кількістю виявлених дефектів, їхнім розміром та надлишковим тиском випробовувального повітря в баці. Розраховані мінімальні розміри дефектів, що виявляються.

The questions of optimization of technology of the not destroying control of welded fuel tanks are considered. The functional model of communication(c between quantity of the found out defects and size of superfluous pressure of air in a tank is established. The forecast of size of defects from pressure of air in a tank is given.

Керування якістю продукції пов'язане з технічною діагностикою, яка дає змогу розв'язувати задачі забезпечення заданого рівня якості та попередження дефектів технологічного, експлуатаційного або конструктивного походження. Показники якості виробів обирають з урахуванням їхнього впливу на надійність виробу та можливість їхнього оцінювання за результатами неруйнівного контролю [1]. Тоді ймовірність забезпечення заданої експлуатаційної герметичності зварних швів виробу оцінюють за результатами неруйнівного контролю

$$G_0 = \prod_{ki=1}^{(ki)_0} \sum_{m=0}^{m_{ki0}} \left[ 1 - \int_{A_{ki}}^{\infty} \varphi_{ki}(b_A) db_A \right]^m f_{ki}(m), \quad (1)$$

де  $k, i$  – технологічні та експлуатаційні дефекти;  $m$  – кількість дефектів, виявлених цим М-методом контролю за  $t$ -варіантом його реалізації;  $\varphi_{ki}(b_A)$  – щільність імовірності розподілення дефектів аварійного розміру;  $f_{ki}(m)$  – щільність розподілення всіх виявлених дефектів.

Умова (1) коректно виконується, якщо ймовірність виявлення всіх дефектів негерметичності системою “дефектоскопічне обладнання – оператор (дефектоскопіст)” із використанням  $t_j$  – варіантів обраного М-метода неруйнівного контролю становить

$$P_{\Sigma}(b_{ki} / M_{t_j}) = 1 - \prod_{ki=1}^{(ki)_0} \left\{ \sum_{m=0}^{m_{ki0}} \left\{ \prod_{t=1}^{t_j} [1 - P_{dd}(b_{A_{ki}} / M_t)] \right\}^m f_{ki}(m) \right\}, \quad (2)$$

де  $P_{dd}$  – імовірнісна характеристика системи: дефектоскопічне обладнання-оператор за обраним робочим  $t$  - варіантом контролю.

$$P_{dd}(b_A / M_t) = P_t(b_{Amin} / M_t) P_d(t) P_{-d}(t), \quad (3)$$

де  $b_{Amin} / M_t$  – характеристичний мінімальний розмір аварійного дефекту, виявлений  $t$ -варіантом М-методу контролю;  $P_t(b_{Amin} / M_t)$  – його оперативна характеристика;  $P_d(t)$  – надійність технічних засобів контролю;  $P_{-d}(t)$  – надійність роботи оператора-контролера.

Для неруйнівних методів контролю типовим є визначення оперативної характеристики за апіорною оперативною характеристикою виявлення модельних дефектів характеристичного розміру  $b_{AX}$  у ідеалізованих умовах (еталонне оцінювання чутливості методу) і таке, що виконується умова

$$P_t(b_{Amin} / M_t) = 0.99P(b_{AX} / M_t) . \quad (4)$$

Проте, оскільки не відомі значення  $b_{AX}$ , які можуть, наприклад, відповідати рівню міжкристалічних тріщин і не виявляються базовим для виробництва методом компресійного контролю, однак можуть отримати розвиток у часі експлуатації виробу, то умови (1...4) задовольняються за певних припущень.

Метою роботи є визначення та оптимізація технологічних параметрів неруйнівного контролю компресійним методом, які задовольняють вимогу виявлення дефектів типу несучільності за невідомих кількісних показниках  $b_{AX}$  для конкретного виробу.

У роботі прийнято такі припущення: 1. Будь-який дефект типу порушення суцільності матеріалу за ситуації, коли невідомі контрольні характеристики герметичності випробовувального тіла (газ) та робочого тіла (паливо), вважають аварійним; 2. Надійне виявлення дефектів повинно бути забезпечене як оптимальним варіантом контролю, так і його робочими параметрами, що є достатніми та необхідними для розкриття дефектних зон; 3. З умови, що при оптимізованих технологіях складання–зварювання виробу та неруйнівного контролю якості швів утворення та виявлення дефектів негерметичності є випадковим, треба встановити стохастичний закон залежності надійної фіксації дефектів від робочих параметрів контролю; 4. На базі встановлених типових дефектів порушення герметичності шва прогнозувати їхні типові розміри з метою встановлення гнучкого зворотного зв'язку між результатами контролю та технологічними прийомами виготовлення виробу [1,2].

Додатково під час розроблення оптимального варіанта контролю герметичності швів паливного баку враховані такі принципи [3]: 1. Можливість виконання ефективного контролю на різних стадіях виготовлення та ремонту виробу; 2. Погодження термінів контролю з часом технологічного циклу виготовлення виробу; 3. Забезпечення високої достовірності результатів контролю; 4. Можливість механізації (автоматизації) технологічних операцій контролю; 5. Спрощеність варіанта методу контролю, технологічна доступність засобів контролю в умовах виробництва і ремонту.

На підставі вищевикладеного впроваджено неруйнівний компресійний контроль герметичності баків у варіанті повного занурення та примусового утримання виробу в акваріумі із вільним доступом до всіх контрольованих швів (рис. 1.)

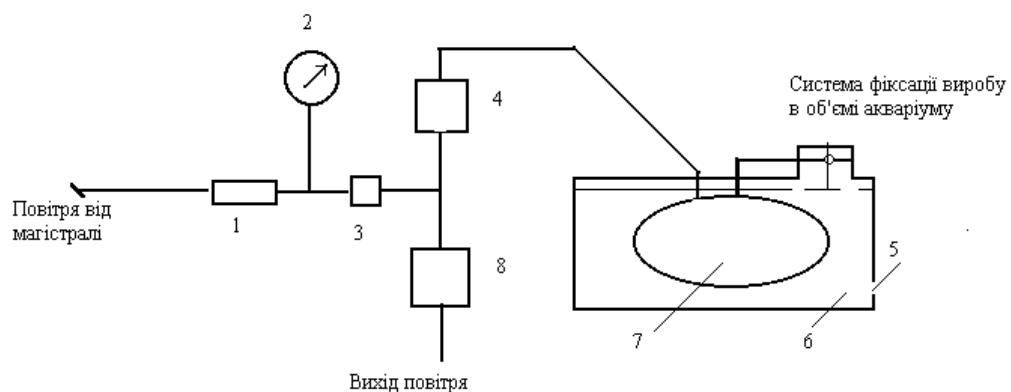


Рис. 1. Принципова схема компресійного пухиркового методу контролю пошуку протікання (акваріум):  
 1 – редуційний клапан; 2 – манометр; 3 – перепускний клапан; 4 – запобіжний повітряний клапан;  
 5 – корпус акваріуму; 6 – контрольна рідина (вода) акваріуму; 7 – контрольований об'єкт

Примусове утримання виробу під надлишковим тиском повітря в акваріумі здійснюється за допомогою механізму опускання (занурення), основним складовим елементом якого є відкидна балка з опорною профільованою притискною плитою, що запобігає деформації корпусу бака під час контролю.

Розрахунок балки (рис. 2.) проведено за таких умов: 1. Розрахункове зусилля, що діє на балку з боку виробу  $P \geq g\rho_p V_T + P_B = 6,2 \text{ КН}$ , де  $g\rho_p V_T$  – виштовхувальна сила тіла об'ємом  $V_T$ ;  $P_B = 5 \text{ КН}$  – сила, що діє від тіла, заповненого повітрям підвищеного тиску; 2. Профіль балки обрано з розрахунку моменту опору її поперечного перерізу  $W = \frac{M}{[\sigma]_P} = 1,27 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ ; 3. Розрахунок кутових швів кріплення балки проведено з умови роботи на зрізання  $\tau = \frac{P}{\Sigma F} \leq [\tau]_P$ , де  $\Sigma F \geq \frac{P}{k[\tau]_P} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  – сумарна площа зварних швів;  $k = 1,3$  – коефіцієнт динамічного перенавантаження.

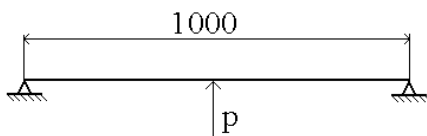


Рис. 2. Розрахункова схема балки механізму опускання

Для виявлення стохастичного закону залежності виявлених дефектів від робочого параметра контролю (надлишковий тиск повітря) оброблено результати спостереження мішаної вибірки ( $n=101$ ) зварних швів виробів, виготовлених за оптимальною технологією та примусовим введенням збурень (під час складання – зміна якості знежирювання деталей під зварювання та точність складання; під час зварювання – варіація режимів:  $\pm 5\%$  – шовне,  $\pm 10\%$  – дугове напівавтоматичне зварювання у захисному газі).

Гістограму, полігон частотностей  $W$  та емпіричну функцію  $F_e$  розподілення результатів контролю наведено на рис. 3.

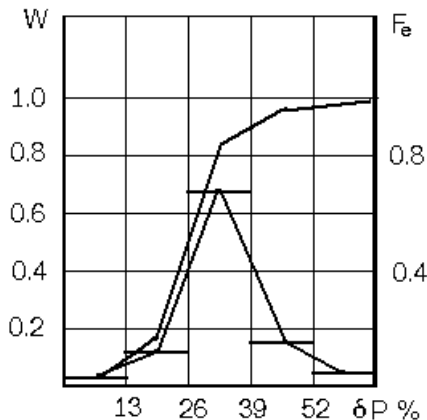


Рис. 3. Статистичні показники залежності виявлення дефектів від величини надлишкового тиску повітря у баці (% від нормального тиску  $P$ )

Границі варіант гістограми обрано відповідно до [4,5], а також умов зміни виду ідентифікації дефектів: ліва границя варіанти – поодинокі пухирці за час витримки (10 хв) за певного надлишкового тиску; права – зміна виходу пухирців за типом: цівка або фонтанний викид під час переходу до розрахунку умовних границь наступної варіанти раніше виявлені дефекти до уваги не брали. Зміна тиску нормована за надлишковим відсотковим тиском ( $\delta P$  %) у баці порівняно з атмосферним (0...65 %  $P$ ).

Для встановлення закону розподілення використано методи графоаналітичної перевірки гіпотез [6]: а) графічна перевірка (рис.4) – розрахунок  $Z$ -параметра за табульованим інтегралом Лапласа з нульовою нижньою межею інтегрування; б) аналітичний розрахунок – оцінка середнього та інтервалу його непевності для зростаючого ряду середніх масиву даних, визначених непараметричними методами.

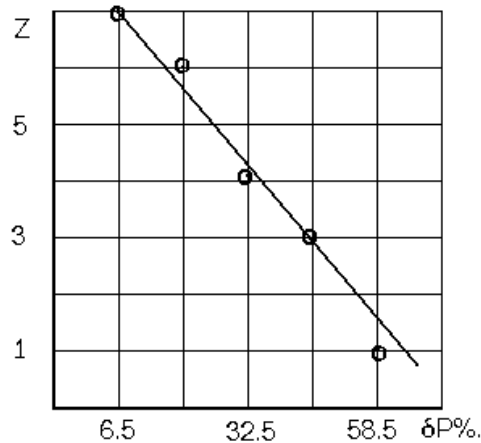


Рис. 4. Графічна перевірка гіпотези про нормальність розподілення дослідних даних за Z-параметром

Відповідно: середнє арифметичне  $\bar{x}=32.6$ , розмах  $x_R=32.5$ , медіана  $x_{med}=32.5$ , середнє за квантилями  $x_\gamma=32.5$ ,  $\gamma_1=25\%$ ,  $\gamma_2=75\%$ , сильно зрізане середнє  $x_{0.50}=32.2$ . Середнє квадратичне відхилення оцінок ряду за довірчої імовірності  $Q=0.9$  та стандарті відхилення  $\Delta=\pm 1,6\sigma$  становить  $S_{x\Delta}=20.3$ , середнє квадратичне відхилення середнього ряду зростаючих оцінок –  $S_{\bar{x}}=\frac{S_{x\Delta}}{\sqrt{m}}=2.1$ ; інтервал непевності оцінки середнього ряду відповідно  $\Delta=3,4$ .

Отже, за 5-ма непараметричними оцінками середнього вибірки даних залежність кількості виявлених дефектів від надлишкового випробувального тиску у баці можна апроксимувати нормальним, подвійним експоненціальним або лапласівським розподіленнями.

З урахуванням графічного аналізу даних (рис. 4) імовірнісна модель виявлення дефектів проникності матеріалу шва від контрольного тиску повітря має вигляд

$$p(x) = A \exp\left[-|x/(\lambda\sigma)|^\alpha\right], \quad (5)$$

де параметри  $A$ ,  $(\lambda\sigma) = x_0$  (середнє центрованого розподілення щільності імовірності),  $\alpha$  розраховані відповідно [5] дають змогу отримати розрахункову модель чутливості (за кількістю відзначених дефектів  $m_d$ ) запропонованого варіанта компресійного методу неруйнівного контролю від величини тиску повітря ( $\delta P$  %)

$$m_d = 67 \exp\left\{-\left[\frac{(x_0 + 6.5)}{11}\right]^2\right\}, \quad (6)$$

яка відповідає нормальному закону розподілення з певними деформаціями за центральними моментами: середня квадратична похибка (СКП) оцінки середнього  $S_{x_0}=14.75$ , СКП дисперсії  $S(S)=4.7$ , СКП дисперсії розмаху  $S_R=5.66$ , асиметрія  $A=-0,22$ , ексцес  $E=3,22$ ; СКП асиметрії та ексцесу відповідно  $S(A)=0.71$ ,  $S(E)=2.25$ .

З вищенаведеного випливає, що вибірка дослідних даних з дефектності зварних швів паливних баків характеризується лівосторонньою асиметрією та значною гостровершинністю у діапазоні випробувального тиску  $32,5 \pm 6,5 \delta P$  %. Зазначений діапазон надлишкового тиску відповідно є необхідним та достатнім для виявлення нещільностей зварних з'єднань. Із підвищенням надійності результатів контролю ( $Q=0.99$ ) доцільним є підняття тиску до 65 %, що дає змогу додаткового розкриття нещільностей металу та їхнього впевненого виявлення.

Отже, оптимальна технологія неруйнівного контролю компресійним акваріумним методом передбачає двоступеневе задавання тиску: огляд швів при тиску повітря у баці на рівні 26...39 % протягом 10 хв, а згодом короточасне підняття тиску до 65 %  $\delta P$  та витримка протягом 2 хв.

Кількісно оцінити розміри виявлених дефектів типу непровару та пор можна розрахунком:

$$\text{умовний радіус пори (см)} R = \frac{4\sigma}{\delta P \cdot k}, \text{ ширина непровару(см)} b = \frac{2\sigma}{\delta P \cdot k}, \quad (7)$$

де  $k$  – коефіцієнт приведення фізичної атмосфери (покази манометра) у розмірність дн/см<sup>2</sup>.

Отже, для першого ступеня підняття контрольного тиску розміри дефектів нещільності шва становлять: пори –  $1,1 \cdot 10^{-4}$  см; непровари –  $5,4 \cdot 10^{-5}$  см, а для другого – підвищення тиску відповідно  $8,7 \cdot 10^{-5}$  см і  $4,4 \cdot 10^{-5}$  см.

**Висновки:** 1. Запропонований і впроваджений варіант компресійного методу неруйнівного контролю якості з повним зануренням бака в акваріум та одночасним 100 % оглядом зварних швів виробу; 2. Розроблене технологічне обладнання для контролю передбачає деформування бака надлишковим тиском повітря до  $1,65P_{\text{атм}}$ ; 3. Залежність кількості виявлених дефектів від надлишкового тиску повітря коректно описується нормальним розподіленням з дещо деформованими асиметрією та ексцесом, що свідчить про позитивний вплив тиску на додаткове розкриття дефектів та їхню кращу фіксацію; 4. Для цього виробу оптимальним є двоступеневий цикл задавання рівня підвищеного тиску у баці: виявлення дефектів при тискові  $1,26 \dots 1,39 P_{\text{атм}}$  (витримка 10хв), надалі  $1,65 P_{\text{атм}}$  (витримка 2хв); 5. За цього варіанта контролю можливе виявлення граничних за розмірами дефектів: пори – до  $8,7 \cdot 10^{-5}$  см, непровари –  $4,4 \cdot 10^{-5}$  см.

1. Волченко В.Н. *Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции.* – М.: Металлургия, 1979. 2. *Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко* – М.: Машиностроение, 1975. 3. *Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича* – М.: Машиностроение, 1976. 4. Грановский В.А., Сирая Т.Н. *Методы обработки экспериментальных данных при измерениях.* – Л.: Энергоатомиздат, 1990. 5. Новицкий П.В., Зограф И.Л. *Оценка погрешностей результатов измерений.* – Л.: Энергоатомиздат, 1985. 6. *Справочник по прикладной статистике: В 2-х т. Т.1. / Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина.* – М.: Финансы и статистика, 1990.

УДК 681.51.

В.І. Білобородченко, С.В. Білобородченко\*

Національний університет “Львівська політехніка”,

\*Військовий інститут ім. П. Сагайдачного

## КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ПАЛИВНИХ БАКІВ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

© Білобородченко В.І., Білобородченко С.В., 2006

Розглянуто питання керування якістю шовного зварювання за результатами контролю компресійним методом. Встановлено, що показники виявлення дефектів залежать від тиску залишкового повітря у клин-шпарині відбортовки, утвореної під час дії термодеформаційного циклу зварювання. Рівень залишкових напружень у металі біляшовної зони є недостатнім для формування дефектів типу наскрізної нещільності шва баку.

The questions of reliability of control of quality of the welded stitches of fuel tank are considered by a compression method. It is set, that at existent technology of control exactness of results is limited by the presence of remaining air in sheli-kappilyare, created by influencing of thermo-deformation cycle of welding in the gap of the welded leaves. The level of remaining tensions in a metal after welding is insufficient for education in the metal of defects violating impermeability of tank.

Під час розроблення оптимальної технології шовного контактного зварювання паливних баків [1] основними критеріями якості формування зварного замкненого шва слугували його геометричні параметри та механічна міцність з'єднання.