

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ НЕПРОВАРІВ НА ОЦИФРОВАНИХ РЕНТГЕНОГРАМАХ ЗВАРНИХ ШВІВ

І. Б. Івасенко

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

E-mail: ivasenko@ipm.lviv.ua

Запропоновано метод визначення геометричних розмірів непроварів. Для цього локалізовано канавковий еталон чутливості, оцінено глибину перепадів канавок у рівнях сірого, визначено параметр нерізкості зображення. Сегментовано непровари в зоні зварного шва, визначено їх розміри за еталоном чутливості. Метод апробовано на реальних зображеннях зварних швів.

Ключові слова: зварні шви, дефекти, обробка зображень, сегментація.

DETERMINING THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF LACK OF PENETRATION ON DIGITAL RADIOGRAPHIC IMAGES OF WELDED JOINTS

I. B. Ivasenko

H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

Radiographic control of joint welds is often used to test the quality of oil and gas pipelines, technological and industrial pipes. The problem of automatic welding quality control is still not fully solved. The method of determining the geometric dimensions of lack of penetration on scanned X-ray films of tubes is proposed. For this aim, we locate the groove-type standard, estimate the groove depth in gray levels and determine the image blur parameter. Then we divide the lacks of penetration in the weld zone using superposition of single-scale implementations of retinex on the basis of local smoothing, evaluate defects size and depth by the groove-type standard. The method was tested on real images of welded joints and compared with measurements by a cathetometer.

Keywords: weld joints, defects, image processing, segmentation.

Радіографічний контроль зварних швів найчастіше застосовують для перевірки якості магістральних газо- і нафтопроводів, технологічних та промислових трубопроводів, металоконструкцій тощо. Задача автоматизації контролю якості зварювання досі повністю не розв'язана. Багато дослідників зосереджують увагу на задачах локалізації та класифікації дефектів [1–6]. Визначенню глибини дефектів зварних з'єднань за сканованими рентгенівськими знімками присвячено небагато публікацій. Зокрема, Круглова та Князюк [7] встановили, що середня відносна похибка обчислення глибини дефекту, розміщеного з боку плівки, складала 13%, а розташованого від джерела – 30%. Мета цього дослідження – розробка та апробація методу визначення геометричних розмірів непроварів за канавковим еталоном чутливості. Непровар – це відсутність сплаву між зварюваними елементами, металом шва і основним металом або між окремими шарами зварних швів. Розрізняють непровари кореня шва і його краю. Причиною їх утворення є погане зачищення металу від окалини, іржі і забруднень, малий проміжок (зазор) під час складання. Нижче дослідимо непровар у корені зварного шва.

Першим етапом обробки зображення знімка є локалізація та аналіз калібрувального еталона чутливості. Існує багато типів еталонів [8], для кожного з яких необхідні різні методи обробки зображень. Розглянемо канавковий – найпоширеніший під час радіографічного контролю зварних швів труб нафто- і газопроводів. Він має шість канавок, що імітують дефекти різної глибини. Його зображення згідно з ГОСТ 7512 наведено на рис. 1, а розміри – в табл. 1.

© І. Б. Івасенко, 2016

Щоб обчислити розміри дефектів, потрібно проаналізувати зображення еталона, оскільки його розміри, ширина і глибина канавок відомі [8–10], а також знайти параметр нерізкості.

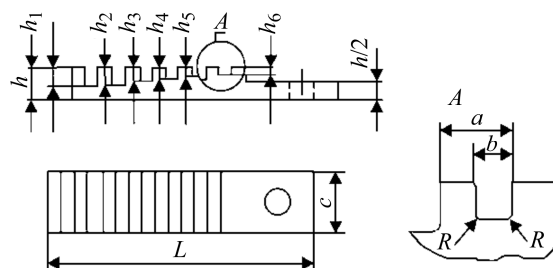


Рис. 1. Схематичне зображення канавкового еталона чутливості.

Аналіз канавкового еталона чутливості. Для локалізації еталона використали комбінацію структурно-адаптивного методу та локальної функції зображення, що набуває більших значень у точках, що належать об'єкту, ніж у точках фону. Ділянка з максимальним перепадом яскравості є ділянкою з канавковим еталonom. Контури еталона можна виділити методом Канні [11, 12], а оскільки розміщення канавок відоме, то їх контури також можна нанести на зображення. Результати локалізації канавкового еталона та його канавок наведено на рис. 2а. В околі його краю перепад функції інтенсивності зображення розтягується на деяку відстань, розмір якої називають нерізкістю. Параметр нерізкості визначає мінімальні розміри дефектів, які можна аналізувати на рентгенографічному зображенні зварного шва. Коли нерізкість перевищує ширину дефекту, то контраст зменшується, і він втрачає свої справжні розміри. Відповідно безпосереднє визначення глибини дефекту буде помилковим.

Таблиця 1. Параметри канавкового еталона чутливості (мм) № 1 [8]

Глибина канавок						R , не більше	a	b	c	h	L
h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6						
0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	2,5	0,5	10	2	30

Обчислення рівнів сірого канавок та фону навколо них. Ці характеристики визначали за зрізаними середніми значеннями рівнів сірого вздовж еталона для кожного ряду пікселів (рис. 2б). Серед рядів пікселів кожної канавки шукаємо з найменшим зрізаним середнім значенням рівня сірого:

$$I_k^r = \min_{i \in b_r} \frac{\sum_{j=0}^c I(i, j)}{c}, \quad (1)$$

де $I(i, j)$ – рівень сірого в точці (i, j) ; r – номер канавки; b_r – індекси рядів пікселів канавки з номером r ; c – ширина еталона в пікселях.

Для обчислення рівнів сірого фону як характеристики r -ої канавки використовуємо середнє значення рівнів сірого справа і зліва від неї:

$$I_f^r = \frac{I_{f_l}^r + I_{f_r}^r}{2}, \quad (2)$$

де $I_{f_l}^r, I_{f_r}^r$ – зрізане середнє значення фону зліва та справа від r -ої канавки.

Далі, щоб розрахувати глибину r -ої канавки в рівнях сірого, знаходимо різницю

$$D^r = I_f^r - I_k^r. \quad (3)$$

Подібні обчислення виконуємо і для круглого наскрізного отвору на канавковому еталоні. Тепер можемо встановити залежність між глибиною канавок в рівнях сірого і в міліметрах (див рис. 2в) і оцінити глибину дефектів.

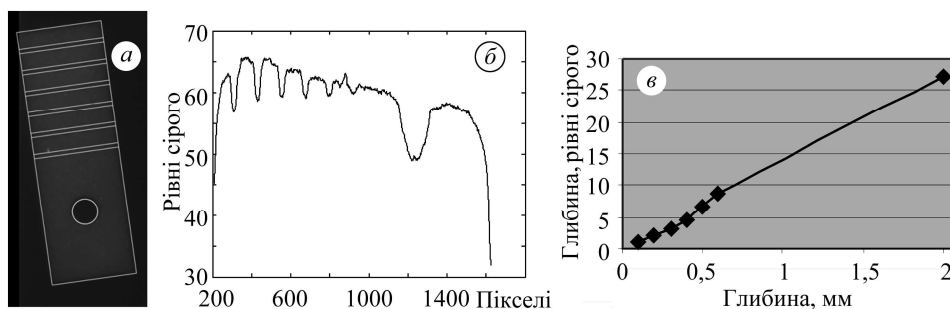


Рис. 2. Виділений канавковий еталон на рентгенографічному зображенні (а), його усереднений профіль перерізу в рівнях сірого (б) та залежність глибини канавок в рівнях сірого від глибини в мм (в).

Суттєвою перешкодою, що виникає під час роботи з радіографічними зображеннями, є нерівномірність фону, що призводить до великого розкиду локальних контрастів та порушення різкості. Тому для поліпшення якості зображень використали метод, який є модифікацією ретинекс-перетворень і побудований на суперпозиції одномасштабних реалізацій ретинексу, які описує вираз

$$R(x, y) = \ln I(x, y) - \ln[f(x, y) * I(x, y)], \quad (4)$$

де $I(x, y)$ – вхідне зображення; $F(x, y)$ – функція околу (як правило, гауссівська); * – оператор згортки, а $R(x, y)$ – результуюче зображення.

На рис. 3 подано результати попередньої обробки радіографічного зображення з локалізацією непроварів. Нумерацію дефектів використовуватимемо далі для визначення їх геометричних розмірів.

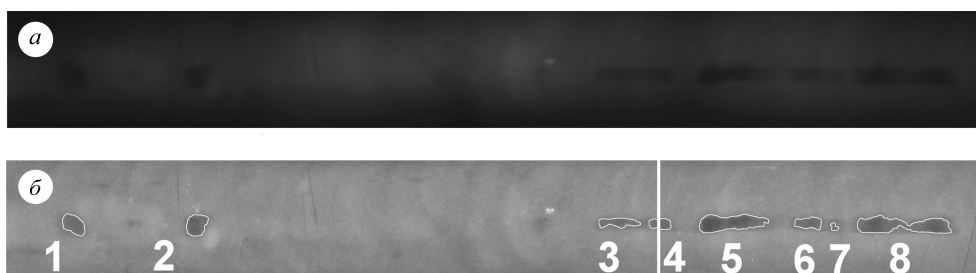


Рис. 3 Фрагмент зображення зварного шва (а) та результат попередньої обробки з локалізацією непроварів (б).

Для апробації запропонованого методу обчислення геометричних розмірів непроварів за рентгенографічними зображеннями зварних швів виконали такий експеримент. Пластину зі сталі 09Г2С зі зварним швом, що містить непровари, просвітили (див. рис. 4), а оцифроване зображення зварного шва обробили методами пошуку та оцінювання розмірів непроварів (табл. 2). Далі пластину розрізали в місцях непроварів та катетометром виміряли їх ширину та глибину (рис. 5). Виявили, що відносна похибка визначення ширини дефектів, розмішених від джерела випромінювання, складає 1,7%, а глибини – 16%.

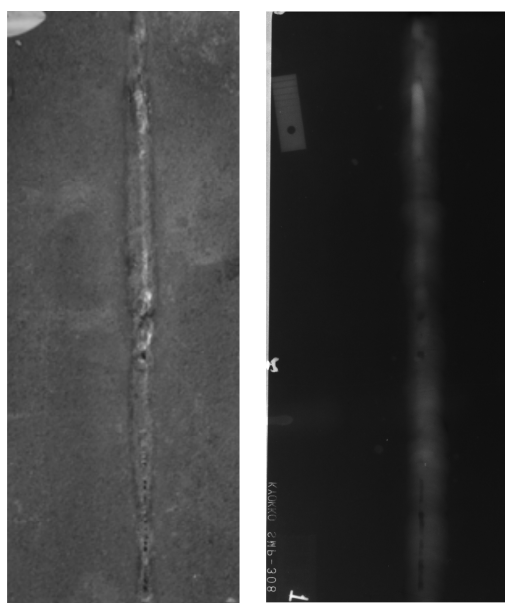


Рис. 4. Фрагмент зварного шва та його рентгенографічне зображення.

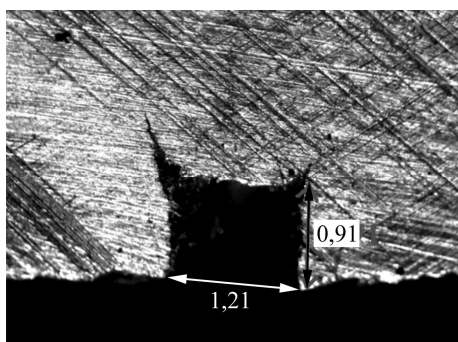


Рис. 5. Зображення перерізу зварного шва, отримане на оптичному мікроскопі. Нанесені розміри отримані під час вимірювання на катетометрі.

Таблиця. 2. Розміри локалізованих дефектів

№ дефекту/ розмір	Ширина дефекту, мм	Глибина дефекту, мм
1	2,07	0,91
2	2,46	1,06
3	0,97	0,76
4	1,23	0,76
5	1,78	1,57
6	1,27	0,91
7	0,76	0,69
8	1,74	1,13

ВИСНОВКИ

Запропоновано і обґрунтовано метод визначення геометричних розмірів не-проварів за канавковим еталоном чутливості на радіографічних зображеннях зварних швів. Простежено ефективність його застосування та встановлено відносні похибки вимірювань.

1. *Nizam M. S. H., Marizan S., Zaki S. A.* Vision based Identification and Classification of Weld Defects in Welding Environments: A Review // *Indian J. of Sci. and Tech.* – 2016. – **9**, № 20. – P. 1–15.
2. *Kumar G. S., Natarajan U., Ananthan S. S.* Vision inspection system for the identification and classification of defects in MIG welding joints // *Int. J. of Adv. Manufacturing Technology.* – 2012. – **61**, № 9. – P. 923–933.
3. *Chen W., Miao Z., Ming D.* Automated Inspection Using X-Ray Imaging // *Proc. of IEEE 10th Int. Conf. on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*. – 2011. – P. 1769–1772.
4. *Analysis of Image Segmentation for Radiographic Images* / B. Karthikeyan, V. Vaithyanathan, B. Venkatraman, M. Menaka // *Indian J. of Sci. and Tech.* – 2012. – **5**, № 11. – P. 3660–3664.

5. *Automatic detection of welding defects / R. K. Kountchev et al. // Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems.* – 2011. – **3**, № 1. – P. 34–43.
6. *Mery D. Automated Detection of Welding Discontinuities without Segmentation // Materials Evaluation.* – 2011. – **69**, № 6. – P. 657–663.
7. *Круглова Е. В., Князюк Л. В. Определение размеров дефектов сварных соединений по сканированным рентгеновским снимкам // Дефектоскопия.* – 2004. – № 1. – С. 71–75.
8. *ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.* – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 18 с.
9. *Kapustin A. E., Bardusova I. I. Computer technologies and X-ray flaw detection of welds // Proc. 15th World Conf. on Nondestructive Testing.* – Roma (Italy), 15–21 October 2000. – P. 48–49. <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn329/idn329.htm>
10. *Івасенко І. Б., Бавда Г. І. Визначення параметра нерізкості на рентгенівських зображеннях конструкційних матеріалів // Відбір і обробка інформації.* – 2007. – № 27 (103). – С. 75–78.
11. *Sanny. J. F. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence.* – 1986. – **8**, № 6. – P. 679–698.
12. *Компьютерная технология определения чувствительности рентгенографического контроля по изображению канавочного эталона / Р. А. Воробель, Н. В. Опыр, З. А. Бернык, О. Р. Берегуляк // Дефектоскопия.* – 2009. – №5. – С. 81–89.

Одержано 15.06.2016