

# ĐO THỰC NGHIỆM SỰ PHÂN BỐ ỨNG SUẤT DƯ TRONG QUÁ TRÌNH HÀN HỖ QUANG TRONG MÔI TRƯỜNG KHÍ BẢO VỆ BẰNG PHƯƠNG PHÁP NHIỄU XẠ NEUTRON

• Hà Xuân Hùng

## ABSTRACT

*Residual stresses are those stresses that would exist in a body if all external loads were removed. Three different sources of residual stresses due to welding can be identified according to Macherauch and Wohlfahrt [1], all contributing to the inelastic strain. One is the difference in shrinkage of differently heated and cooled areas of a weld joint. This caused a formation of high longitudinal stresses,  $\sigma_L$ , in the weld metal. Similar tensile stresses,  $\sigma_T$ , arise in the transverse direction too, but of smaller magnitude. A second source is the uneven cooling in the thickness direction of the weld, which can lead to heterogenous plastic deformations and hence to residual stresses (normal residual stresses,  $\sigma_N$ ). The final source of residual stresses will come from the phase transformations of austenite to ferrite, bainite, or martensite occurring during cooling. These transformations are accompanied by an increase in specific volume, resulting in compressive stresses of the transformed material and tensile in the other regions. The total residual stresses will thus be a combination of the above. These stresses can affect the structure life in service as they may add to applied loads causing fatigue and failure.*

*In this study, the automatic GMAW was used to create multi-pass weld of API 5L X70 pipeline steel of thickness 14.7mm. Experimental measurements on the residual stress distributions were carried out using neutron diffraction technique, which is non-destructive method and enables in-depth measurements. Therefore, the residual stress distributions at near-surface plane, middle-plane and near-bottom plane of welded specimen were completely investigated. The residual stress distributions of longitudinal direction (welding direction), transverse direction (perpendicular to welding direction) and through-thickness direction were measured.*

**Key words:** Neutron diffraction method; Residual stress; GMAW; API 5L X70 pipeline steel; Longitudinal, Transverse and Through-thickness directions.

## 1. LỜI MỞ ĐẦU

Khả năng xác định ứng suất dư bên trong và xung quanh mối hàn đã tăng lên đáng kể vào đầu những năm 80 của thế kỷ trước khi việc sử dụng phương pháp nhiễu xạ neutron cho phép xác định được những biến dạng đàn hồi ở trong (dưới một độ sâu lớn) những mẫu thử bằng thép mà không cần phải phá hủy mẫu thử.

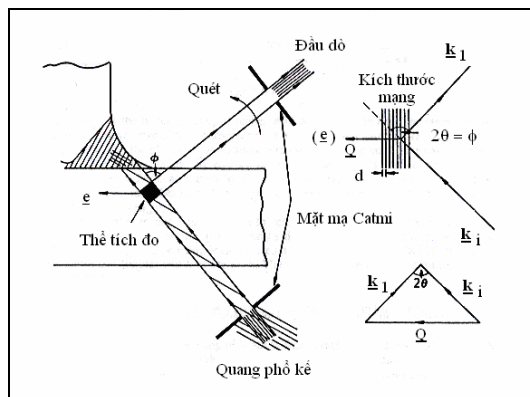
Trong bài viết này, phương pháp nhiễu xạ neutron được dùng để xác định ứng suất dư trong quá trình hàn sẽ được miêu tả. Kỹ thuật này lần đầu tiên được phát triển vào năm 1980 và được thực hiện cùng lúc ở Anh [2,3], ở Đức [4] và ở Mỹ [5]. Ngày nay, phương pháp nhiễu xạ neutron được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới và ứng dụng của nó ngày càng một gia tăng.

Những kỹ thuật khác thường được sử dụng để nhận biết những thông tin về ứng suất dư có thể là những phương pháp cần phải phá hủy mẫu thử như: phương pháp cắt mẫu thử, phương pháp khoan lỗ,... hoặc cũng có thể là những phương pháp không cần phá hủy mẫu thử khác như: phương pháp siêu âm, phương pháp nhiễu xạ tia X quang, phương pháp từ tính, ...

So sánh với các phương pháp kể trên, phương pháp nhiễu xạ neutron gần gũi và có phần bổ khuyết cho phương pháp nhiễu xạ bằng tia X quang [6]. Sự khác biệt lớn nhất giữa hai phương pháp này là khả năng xác định được những biến dạng đàn hồi ở các độ sâu khác nhau do khả năng xuyên qua vật thể của tia neutron và tia X có sự khác nhau. Nếu như phương pháp nhiễu xạ bằng tia X chỉ cho phép xác định được những biến dạng ở lớp gần bề mặt của mẫu thử (độ sâu tối đa không quá 100  $\mu\text{m}$ ) thì phương pháp nhiễu xạ bằng tia neutron có thể cho phép xác định được các biến dạng ở độ sâu lớn hơn rất nhiều. Nhưng để xuyên qua được những mẫu thử có chiều dày lớn cần phải có chùm tia neutron có cường độ mạnh và điều này chỉ có thể thực hiện được bên cạnh những lò phản ứng hạt nhân có công suất trung bình và công suất lớn. Đây cũng chính là hạn chế làm cho phương pháp nhiễu xạ neutron chỉ có thể thực hiện được đối với các mẫu thử có thể di chuyển dễ dàng và tháo lắp thuận tiện (kích thước lớn nhất khoảng 50~100 cm).

## II. NGUYÊN LÝ CHUNG

Trong phần này, nguyên lý chung của phương pháp nhiễu xạ neutron dùng để xác định ứng suất dư sẽ được mô tả thông qua Hình 1.



Hình 1: Nguyên lý chung của phương pháp nhiễu xạ neutron

Chùm tia neutron phát ra từ lò phản ứng đầu tiên sẽ đi qua một quang phổ kế để chọn ra chùm tia đơn sắc có bước sóng  $\lambda$ . Chùm tia này (chùm tia tới mẫu thử) có kích thước được xác định bởi chiều cao và chiều rộng của khe hở mà nó được đi qua ở quang phổ kế. Tiếp theo, chùm tia tới sẽ đi xuyên vào mẫu thử và tại vị trí cần xác định ứng suất dư người ta dùng một đầu dò để thu lại các chùm tia bị nhiễu xạ dưới một góc nhiễu xạ  $\phi$ . Đầu dò sẽ đếm các neutron bị hấp thụ bởi mặt nạ làm bằng catmi. Ở đây có một khái niệm “thể tích đo” hay là “thể tích thử”, được xác định là phần giao nhau của hai chùm tia tới (mẫu thử) và chùm tia nhiễu xạ.

Vật liệu kim loại nói chung và vật liệu hàn nói riêng đều có cấu trúc mạng tinh thể với đặc trưng là các nguyên tử được bố trí tại các nút mạng và khoảng cách giữa các nút là kích thước mạng hay hằng số mạng  $d$ . Khi chùm tia neutron xuyên vào vật liệu loại này những tia đập vào các nút có nguyên tử sẽ bị nhiễu xạ và chuyển động lệch đi dưới một góc  $\phi$ . Mối quan hệ giữa kích thước mạng và góc nhiễu xạ được xác định bởi định luật Bragg:  $2d_{hkl} \cdot \sin\theta_{hkl} = \lambda$

Trong đó:

- $d_{hkl}$  là kích thước mạng trong những mặt phẳng có chỉ số Miler là  $hkl$ ;
- $\phi_{hkl} = 2\theta_{hkl}$  là góc nhiễu xạ và
- $\lambda$  là bước sóng của chùm tia neutron.

Nhìn vào công thức trên ta thấy: vì  $\lambda$  luôn là một hằng số, do đó bất cứ sự thay đổi nhỏ nào của kích thước mạng  $d$  cũng gây ra sự

thay đổi của góc nhiễu xạ  $\phi$  (tương ứng với góc  $\theta$ ).

Nếu một mẫu thử không có ứng suất dư thì khoảng cách mạng sẽ là  $d_{0hkl}$  và góc nhiễu xạ là  $\phi_{0hkl}$ , nhưng nếu trong vật có tồn tại ứng suất dư thì dưới tác dụng của ứng suất này, kích thước mạng sẽ thay đổi thành  $d_{hkl}$  và để bảo toàn định luật Bragg, góc nhiễu xạ sẽ thay đổi thành  $\phi_{hkl}$ . Như vậy, nguyên lý của phương pháp nhiễu xạ neutron là đo sự thay đổi của góc nhiễu xạ của vật có ứng suất dư và vật chuẩn không có ứng suất dư, từ đó tính được sự biến dạng đàn hồi của mạng tinh thể (sự thay đổi kích thước mạng) và trên cơ sở của sự biến dạng này tính được ứng suất dư trong mẫu thử.

Ứng suất dư không thể đo được mà chỉ có thể tính được thông qua việc đo biến dạng đàn hồi.

Trong Hình 1, việc thu nhận các số đo diễn ra đối với cả một “thể tích đo”, do vậy kích thước mạng ở đây được hiểu là giá trị trung bình của cả khối “thể tích đo” và như vậy biến dạng trung bình của “thể tích đo” được tính như sau:

$$e_{hkl} = (d_{hkl} - d_{0hkl})/d_{0hkl} \\ = -(\cot\theta_{0hkl}) \cdot (\phi_{hkl} - \phi_{0hkl})/2$$

Trong đó  $d_{0hkl}$  và  $\phi_{0hkl} = 2\theta_{0hkl}$  là kích thước mạng và góc nhiễu xạ tương ứng của mẫu thử “không có ứng suất dư”.

Hướng tác dụng của biến dạng  $e_{hkl}$  được đo chính là hướng của vectơ nhiễu xạ  $Q$ . Trong phần lớn các trường hợp, biến dạng và ứng suất là những đại lượng ba chiều và được đại diện bằng tensor biến dạng  $\varepsilon$  và tensor ứng suất  $\sigma$ . Trong trường hợp, hệ trục tọa độ Oxyz được đưa vào trong mẫu thử và các thành phần chính của tensor ứng suất và biến dạng trên trùng với các hướng x, y và z của hệ trục tọa độ Oxyz, khi đó các ứng suất chính được xác định như sau:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)]$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_y + (\varepsilon_x + \varepsilon_z)]$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_z + (\varepsilon_x + \varepsilon_y)]$$

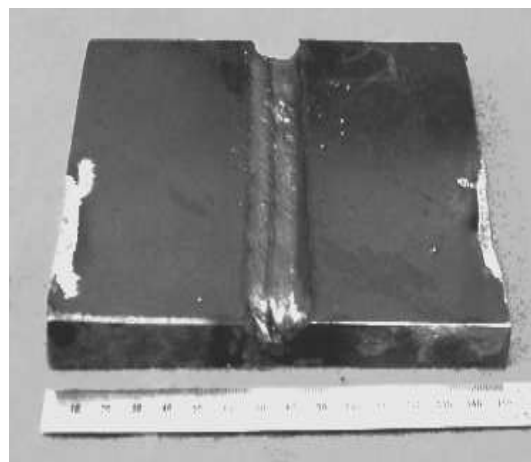
Trong đó :  $E$  là môđun đàn hồi.

$\nu$  là số truyền Poisson.

### III. TIẾN TRÌNH THỰC NGHIỆM

#### 1. Chuẩn bị mẫu thử

Để kết quả của phép đo nhiễu xạ neutron không bị ảnh hưởng, mẫu thử sử dụng trong thí nghiệm này là vật hàn nguyên thủy có kích thước 130 x 154 x 14.7 mm (xem Hình 2).



Hình 2: Mẫu thử 130x154x14.7 mm

Mẫu thử được hàn từ hai miếng thép AIP5L70X đã được vát mép chữ V (góc vát  $60^\circ$ ), kích thước 130 x 76 x 14.7 mm. Đây là loại thép có độ bền cao, chuyên dùng để chế tạo các ống dẫn khí đốt xuyên quốc gia, làm việc dưới áp suất cao. Thành phần hoá học của kim loại mẫu thử (%): 0.061 C; 0.2 Si; 1.6 Mn; 0.344 (Nb+V+Ni); 0.018 Ti; 0.018 N và 0.22 Mo. Dây hàn được sử dụng là dây E70S-6 có đường kính 1.2mm và thành phần hoá học như sau (%): 0.07 C ; 0.52 Si và 1.1 Mn.

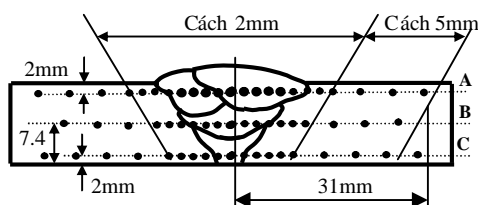
Phương pháp hàn được sử dụng là phương pháp hàn tự động trong môi trường khí bảo vệ Argon (Ar). Các thông số hàn được trình bày tại Bảng 1.

**Bảng 1: Các thông số hàn**

| Lớp hàn     | Dòng điện (A) | Điện áp (V) | Tốc độ (cm/min) | Lưu tốc (l/min) |
|-------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Lớp lót (1) | 230           | 25          | 35              | 15              |
| Lớp 2, 3, 4 | 350           | 27          | 30              | 15              |

## 2. Vị trí đo và hướng đo

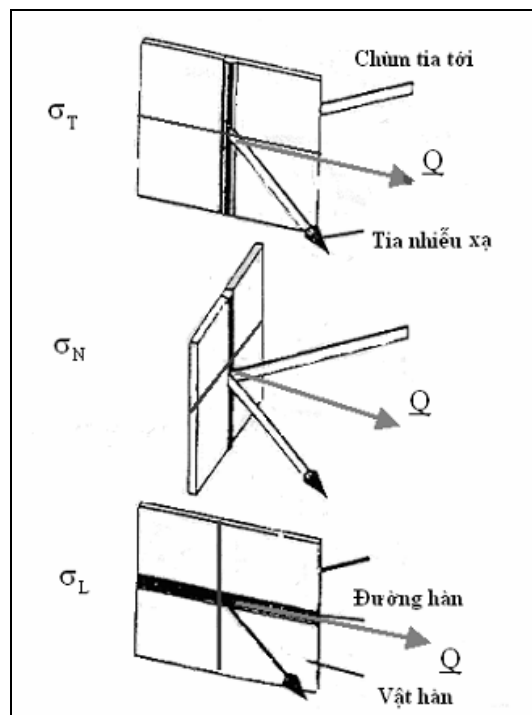
Phương pháp nhiễu xạ neutron cần phải thực hiện phép đo trong một “thể tích đo”, do vậy phép đo này không thể thực hiện trên bề mặt mẫu thử. Trong thí nghiệm này, phép đo được thực hiện tại các vị trí trên ba mặt phẳng nằm sâu trong mẫu thử: 1) Mặt phẳng A (cách bề mặt mẫu thử 2mm); 2) Mặt phẳng B (gần giữa mẫu thử, cách đáy mẫu thử 7.4mm) và 3) Mặt phẳng C (cách đáy mẫu thử 2 mm). Tại mỗi mặt phẳng, phép đo được tiến hành ở 20~24 điểm, trong đó các điểm nằm trong vùng kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) cách nhau 2 mm; các điểm ở ngoài khu vực này cách nhau 5 mm (xem Hình 3).



**Hình 3: Sơ đồ sắp xếp vị trí đo**

Việc đo biến dạng trong mẫu thử được tiến hành trên mặt cắt vuông góc với trục đường hàn và đi qua tâm của mẫu thử.

Cách gá mẫu thử để đo biến dạng theo các hướng dọc trục đường hàn ( $\sigma_L$ ), hướng ngang đường hàn ( $\sigma_T$ ) và vuông góc với mặt phẳng vật hàn ( $\sigma_N$ ) được mô tả trong Hình 4.



**Hình 4 : Hướng của mẫu thử trong mỗi tương quan với chùm tia neutron**

Mẫu so sánh - mẫu “không có ứng suất dư”, được làm từ cùng loại vật liệu và có kích thước 4x4x50 mm. Mẫu này phải được đo ngay sau khi đo các biến dạng theo hướng ngang và hướng pháp.

## 3. Sắp đặt phép đo

Phương pháp đo nhiễu xạ neutron trong bài viết này được thực hiện tại Viện nghiên cứu năng lượng nguyên tử Hàn Quốc (KAERI – Deajon).



**Hình 5. Lò phản ứng hạt nhân và thiết bị đo tại KAERI - Deajon, Hàn Quốc**

Chùm tia neutron có bước sóng  $\lambda = 0.1835 \text{ \AA}$  sau khi đi qua tinh thể Ge được chiếu vào

mẫu thử sẽ bị nhiễu xạ dưới một góc  $2\theta = 103.5^\circ$  trong mặt phẳng [112] đối với thép ferit có cấu trúc mạng lập phương thể tâm (trường hợp thép API5L70X).

Chùm tia neutron nhiễu xạ được đếm bởi thiết bị PSD (*position sensitive detector*) có chiều dài 100mm và đặt cách tâm của bàn gá 1140mm. Đầu dò PSD sẽ đo tất cả các góc nhiễu xạ dưới dạng các đỉnh chồng lên nhau trên một đường dốc. Để phép đo được chính xác cần phải đếm ít nhất 200 đỉnh tại mỗi điểm cần đo. Thời gian đo tại mỗi điểm sẽ kéo dài 3 phút đối với hướng ngang và hướng pháp (do thể tích đo là  $2 \times 2 \times 4\text{mm}$ ); còn đối với hướng dọc trục là 40 phút (do thể tích đo là  $2 \times 2 \times 24\text{mm}$ ). Các dữ liệu thu được sẽ được xử lý bằng hàm điều chỉnh Gaussian/Lorentzian.

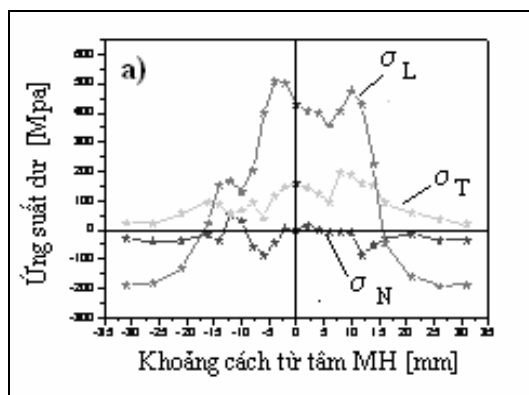
Mẫu thử được kẹp chặt vào bàn gá có thể dịch chuyển theo các hướng XYZ nhờ vào các mô tơ được điều khiển bằng phần mềm Labview chạy trong môi trường Macintosh. Vị trí của mẫu thử được thiết đặt đạt độ chính xác tới 0.01mm.

#### IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

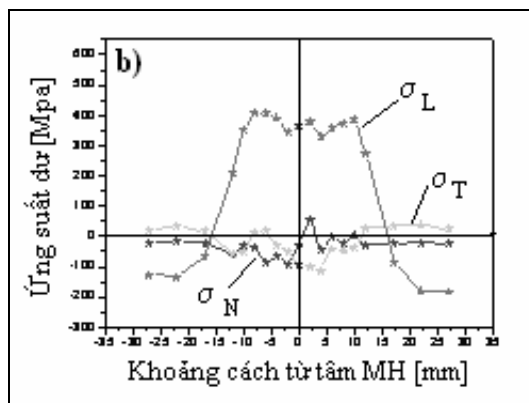
Mục đích của thí nghiệm này là xác định độ lớn và sự phân bố ứng suất dư trong quá trình hàn mỗi hàn nhiều lớp thép AIP5L70X bằng phương pháp hàn tự động GMAW. Hình 6 a, b và c mô tả các kết quả thu được về sự phân bố ứng suất dư trong các mặt phẳng A, B và C. Ở đây cần lưu ý rằng: khi hàn lớp thứ 4 của đường hàn nhiều lớp, tâm của nguồn nhiệt nằm cách trục đường hàn 4 mm về phía bên phải. Do vậy, giá trị cực đại của ứng suất dọc trục ( $\sigma_L$ ) nằm cách trục đường hàn 12 mm.

Ở mặt phẳng A - sát với bề mặt mẫu thử (Hình 6a), thành phần ứng suất dọc trục mỗi hàn biến thiên từ kéo sang nén với các giá trị cực đại là (+509 Mpa) và (-192 Mpa). Ứng suất dọc trục ở khu vực tâm mỗi hàn và vùng liền kề là ứng suất kéo, đi dần về phía hai biên ứng suất chuyển thành nén. Thành phần ứng suất ngang, đúng như dự đoán, là ứng suất kéo với giá trị cực đại đạt được là (+196Mpa) tại điểm cách trục đường hàn 8mm. Ứng suất pháp (theo chiều dày của vật

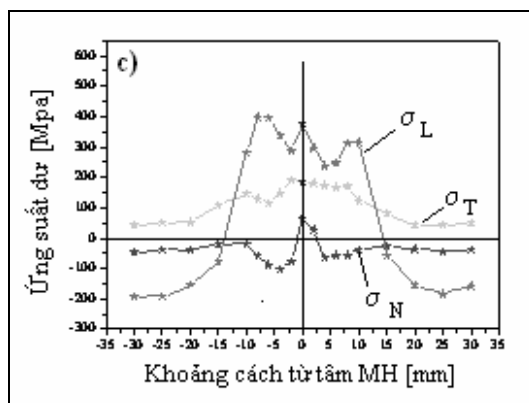
hàn) có độ lớn không đáng kể và tính chất của nó gần như là ứng suất nén.



Hình 6a : Ứng suất dư phân bố tại mặt phẳng A



Hình 6b : Ứng suất dư phân bố tại mặt phẳng B



Hình 6c: Ứng suất dư phân bố tại mặt phẳng C

Ở mặt phẳng trung tâm (B) và mặt phẳng sát đáy (C) của mẫu thử (Hình 4b,c), hình dáng

của các đường miêu tả các thành phần ứng suất không có gì thay đổi lớn nhưng độ lớn cực đại của thành phần ứng suất dọc trục giảm mạnh (+409/-182 Mpa và +399/-192 Mpa). Trong khi đó các thành phần ứng suất ngang và ứng suất theo chiều dày vật hàn tăng đáng kể giá trị cực đại của mình.

Trong cả ba hình vẽ trên, dễ dàng nhận thấy sự hỗn loạn, lộn xộn của các giá trị ứng suất ở khu vực kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt. Điều này khẳng định ảnh hưởng của các chuyển biến pha trong kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt đến trạng thái cuối cùng của ứng suất dư.

## **V. KẾT LUẬN**

- Trong quá trình hàn, ứng suất dư dọc trục đường hàn có giá trị tuyệt đối lớn nhất. Nó có thành phần ứng suất kéo phân bố dọc trục đường hàn và vùng lân cận, thành phần ứng suất nén phân bố ở hai biên mẫu thử (khu vực xa trục đường hàn).
- Ứng suất kéo cực đại đạt đến giá trị +509Mpa và xuất hiện tại điểm cách trục đường hàn khoảng 10mm – là ranh giới giữa vùng mối hàn và vùng kim loại cơ bản.
- Ứng suất ngang và ứng suất hướng theo chiều dày vật hàn xuất hiện như là các ứng suất ngược, đối lại với ứng suất dọc trục. Trong phần lớn các trường hợp ứng suất ngang thường là ứng suất kéo.
- Sự hỗn loạn, lộn xộn trong sự phân bố ứng suất ở vùng mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt được quan sát thấy và nguyên nhân là do sự biến đổi pha trong quá trình nung nóng và làm lạnh vật hàn.

## **VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. E. Macherauch and H. Wohlfahrt. Defferent sources of residual stress as a result of welding. In '1 Con. on Residual Stresses in Welded Construction and their Effect, the Welding Institute, London, paper 11, pp 267-282. 1977.
2. Allen, A.J., Andreani, C., Hutchings, M.T. and Windsor, C.G. Measurement of internal stress within bulk material using neutron diffraction. NDT International, October, pp 249-254. 1981.
3. Allen, A.J., Andreani, C., Hutchings, M.T. and Windsor, C.G. Neutron diffraction method for the study of residual stress fields. Adv. in Physic 34, pp 445-473. 1985.
4. L. Pinschovius, V. Jung, E. Macherauch, R. Schafer and O. Vohringer. Determination of residual stress distribution in the interior of technical parts by man of neutron diffraction. Residual Stress and Stress Relaxation, Plenum, in E. Kula and V. Weiss (eds.), New York, pp 467-482. 1982.
5. A.D. Krawitz, J.E. Brune and M.J. Schmarnk. Measurement of stress in the interior of solids with neutron. Residual Stress and Stress Relaxation, Plenum, in E. Kula and V. Weiss (eds.), New York, pp 139-155. 1982.
6. J. H. Root, T. M. Holden, J. Schroder, C. R. Hubbard, S. Spooner, T. A. Dodson, and S. A. David. Residual stress mapping in multipass ferritic steel weld. Materials Science and Technology, Vol. 9, pp. 754-759. September 1993.