

ỨNG DỤNG NHIỄU XẠ X-QUANG TRONG KHẢO SÁT PHÂN BỐ ỨNG SUẤT DƯ TRONG MỐI HÀN MA SÁT HỢP KIM NHÔM 1060 RESIDUAL STRESS DETERMINATION OF FRICTION STIR WELDING OF 1060 ALUMINUM ALLOY USING X-RAY DIFFRACTION

Lê Chí Cường¹, Nguyễn Đức Thành²
Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM¹,
Trung tâm Hạt nhân Tp. HCM².

TÓM TẮT

Sự phân bố ứng suất trong mối hàn ma sát của hợp kim nhôm ASTM 1060 sử dụng phương pháp nhiễu xạ X-quang đã được khảo sát. Vùng ảnh hưởng nhiệt có đồ thị \sin^2 tuyến tính, cho thấy tinh thể có kích thước hạt nhỏ, phân bố đẳng hướng của các hạt tinh thể, phù hợp với kết quả đo bằng SEM. Do đó quá trình đo ứng suất bằng tia X không cần dùng phương pháp dao động góc. Vùng ảnh hưởng nhiệt có ứng suất lớn hơn các vùng khác. Giá trị này là rất nhỏ so với các phương pháp hàn nóng chảy truyền thống.

ABSTRACT

The residual stress distribution in friction stir welding of aluminum alloy 1060 was investigated by using X-ray diffraction. The heat-affected zone had linear \sin^2 diagram, showing that the crystal is isotropic having small size, which agreed to the microstructure using SEM. Therefore the stress measurement can be carried out without using the oscillated- method. The heat-affected zone had smaller stress value in comparison to other area. In general, the residual stress of friction stir welding give small stress value in comparison to traditional welding methods.

Keywords: Friction Stir Welding, X-ray diffraction, Residual Stress, Aluminum alloy.

1. GIỚI THIỆU

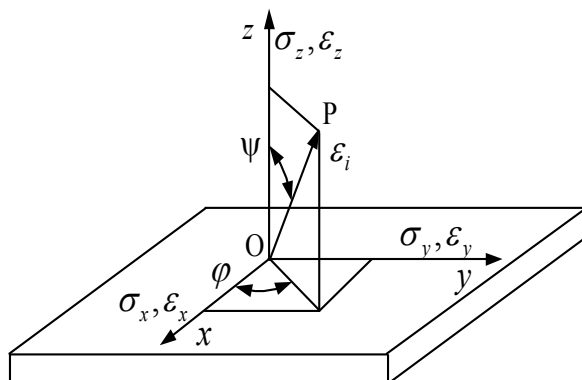
Hàn ma sát (*friction stir welding*–FSW), được phát minh bởi Viện hàn Châu Âu vào năm 1991, là một quá trình hàn nối kim loại ở trạng thái dẻo và được ứng dụng đầu tiên trên hợp kim nhôm [1]. Bản chất của phương pháp này là tạo ra nhiệt do ma sát giữa dụng cụ hàn và đến lượt giữa các lớp vật liệu với nhau, và khi đạt đến khoảng 80% của nhiệt độ nóng chảy, lúc này kim loại trở nên

mềm và dễ khuếch tán và kết nối với nhau dưới áp lực kẹp [2]. Hàn ma sát có những ưu điểm vượt trội so với các phương pháp hàn truyền thống, cho chất lượng mối hàn và bề mặt tốt, giảm thiểu hiện tượng thoát carbon và biến đổi cấu trúc tinh thể, giảm ứng suất dư, vốn là mối nguy hại đối với các kết cấu hàn, hiệu quả năng lượng cao, thân thiện với môi trường [3, 4, 5], và đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong ngành hàng không, tàu cao tốc [2, 3, 6].

Cũng như các công nghệ hàn khác, ứng suất dư trong mối hàn ảnh hưởng đến tuổi thọ và tính năng làm việc của mối hàn, nên việc xác định ứng suất dư của mối hàn cũng là một khâu quan trọng trong quá trình kiểm định mối hàn. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ứng suất của mối hàn ma sát vẫn còn giới hạn. Hơn nữa, Việt Nam đang trong quá trình đầu tư xây dựng đường sắt cao tốc, sử dụng hợp kim nhôm tiêu chuẩn ASTM 1060 được ứng dụng rộng rãi trong ngành hàng không, tàu cao tốc... Ở những nơi này có yêu cầu cao về tính ổn định của kích thước và cơ tính của vật liệu. Do đó bài nghiên cứu này ứng dụng nhiễu xạ tia X để mục đích xác định phân bố ứng suất dư của mối hàn ma sát của hợp kim nhôm ASTM 1060, làm cơ sở cho việc kiểm định chất lượng mối hàn và đề xuất phương pháp xử lý cần thiết.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT DÙNG NHIỄU XẠ X-QUANG

2.1 Môi quan hệ ứng suất-biến dạng



Hình 1 Ứng suất và biến dạng trên bề mặt mẫu thử.

Hình 1 cho thấy ứng suất và biến dạng trên bề mặt mẫu thử, trong đó OP là phương đo biến dạng và ứng suất, hợp với pháp tuyến và trục x một góc lần lượt là ψ và ϕ . Vật liệu tại

các vùng của mối hàn được nung nóng lên đến nhiệt độ dẻo, nên khi nguội đến nhiệt độ thường, vật liệu có trạng thái đẳng hướng. Hơn nữa ta giả định hợp kim nhôm là đồng nhất nên ứng suất dư được xác định bằng phương pháp $\sin^2\psi$. Do tia X chỉ nhiễu xạ trên lớp bề mặt mỏng khoảng vài μm , ta bỏ qua các thành phần ứng suất theo phương pháp tuyến của bề mặt mẫu và tính theo công thức chỉ có thành phần ứng suất phẳng:

$$\frac{d_{\phi\psi} - d_0}{d_0} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{\phi} \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22})$$

(1)

trong đó: $d_{\phi\psi}$ và d_0 là khoảng cách mặt nhiễu xạ đối với trường hợp có và không có ứng suất; E và ν là mô đun đàn hồi và hệ số Poisson của vật liệu, và σ_{ϕ} là thành phần ứng suất dọc theo phương cần đo, được tính theo công thức:

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{11} \cos^2 \phi + \sigma_{22} \sin^2 \phi$$

(2)

Từ công thức (1), ứng suất theo phương cần biết được tính toán từ hệ số góc của đường thẳng được nội suy từ các đỉnh nhiễu xạ trong đồ thị $\sin^2\psi$ như sau:

2.2 Xác định mặt nhiễu xạ

Hợp kim nhôm 1060 có kiểu mạng lục giác xếp chặt, thông số mạng a và c . Khoảng cách nguyên tử được tính bằng công thức:

$$\lambda = 2d_{(hkl)} \sin \theta$$

trong đó λ là bước sóng tia X, θ là góc Bragg (2θ là góc nhiễu xạ); h, k, l là các chỉ số Miller. Từ công thức định luật Bragg, ta có $\theta = \arcsin(\lambda/2d)$, ta xác định mặt nhiễu xạ cho hợp kim nhôm là mặt (422), có góc nhiễu xạ 2θ là $137,5^\circ$.

3. TRÌNH TỰ THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu hợp kim nhôm

Thành phần hóa học của hợp kim nhôm được trình bày trong Bảng 1. Vật liệu được hàn trong nghiên cứu này là hợp kim nhôm

1060 tiêu chuẩn ASTM, có hệ số Poisson ν là 0,33 và môđun đàn hồi $E = 75$ GPa. Mẫu thí nghiệm có kích thước 30x100x5 mm theo như Hình 2. Cấu trúc vi mô tại mỗi hàn của mẫu thí nghiệm được quan sát trên kính hiển vi SEM.

Bảng 1: Thành phần hóa học của hợp kim nhôm ANSI 1060 (%).

| Al | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | V | Ti |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 99.7 | 0.08 | 0.12 | 0.01 | <0.01 | <0.02 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

Bảng 2 Điều kiện thí nghiệm hàn ma sát

| | |
|--------------------------|-------------------|
| Đường kính chốt hàn | Φ5mm |
| Tốc độ quay | 650–750 vòng/phút |
| Tốc độ di chuyển đầu hàn | 0,5m/phút |



Hình 2: Mẫu hợp kim 1060 sau khi hàn ma sát.

2.2. Thực nghiệm nhiễu xạ X-quang:

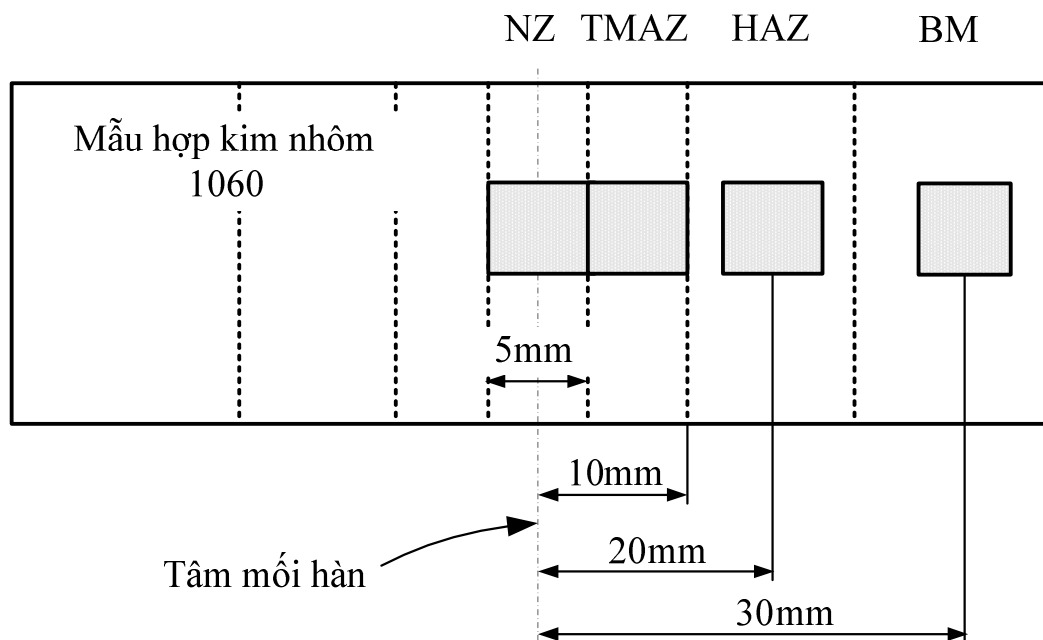
Mẫu hợp kim nhôm 1060 sau khi hàn được phay một lớp mỏng 0,5mm, sau đó được mài và đánh bóng bằng giấy nhám đến cấp độ 2000 để loại bỏ lớp biến cứng bề mặt có chiều dày khoảng 1 μ m. Trước khi đo bề mặt mẫu được tẩy sạch bằng dung dịch axêton. Điều kiện đo ứng suất bằng nhiễu xạ X-quang được cho trong Bảng 3. Vị trí đỉnh

nhiễu xạ của mặt (422) được xác định bằng hàm Gauss nội suy từ các điểm nằm trên 60% giá trị đếm cực đại [7]. Đường nhiễu xạ X-quang được hiệu chỉnh bằng hệ số Lorentz-phân cực và hấp thụ LPA [8]. Vật liệu sau khi hàn được giả định là đồng nhất và đẳng hướng, nên ứng suất dư được xác định từ độ dốc của đường thẳng nội suy từ đồ thị $\sin^2 \psi$.

Bảng 3: Điều kiện đo ứng suất dùng nhiễu xạ x-quang.

| | |
|----------------|--|
| Phương pháp đo | Kiểu Ω cố định η |
| Đặc tính tia X | Cu- K_{α} , $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$ |
| Mặt nhiễu xạ | (422) |
| Thời gian đo | 3giây |
| Góc nhiễu xạ | $137,5^{\circ}$ |
| Phạm vi đo | $137,1^{\circ}$ - $137,8^{\circ}$ |
| Bước quét | $0,02^{\circ}$ |

Hình 3 là vị trí bốn vùng của mối hàn ma sát, được đo ứng suất bằng nhiễu xạ X quang, bao gồm: vùng kim loại cơ bản (*basic metal*-BM), vùng ảnh hưởng nhiệt (*heat-affected zone*-HAZ), vùng ảnh hưởng cơ-nhiệt (*thermo-mechanically affected zone*-TMAZ), vùng khuấy (*nugget zone*-NZ). Đường nhiễu xạ được đo tại các góc phương vị ψ là 0° , 1° , $17,5^{\circ}$ và 25° .



Hình 3 Diện tích nhiễu xạ tại các vùng hàn trên mẫu 1060.

3. Kết quả và Khảo sát

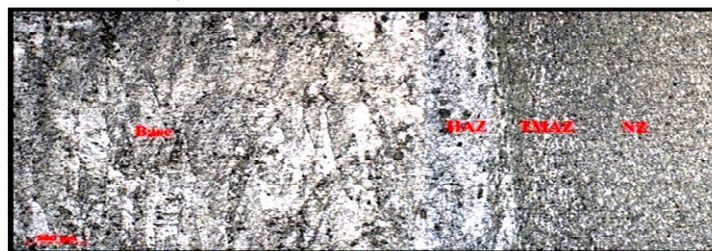
3.1. Cấu trúc tế vi của mối hàn

Hàn ma sát tạo ra liên kết không có các khuyết tật và biến dạng thường thấy như trong các phương pháp hàn truyền thống. Hình 4 và 5 cho thấy cấu trúc vi mô theo phương dọc và ngang của kết cấu hàn. Hình 4 cho thấy cấu trúc tế vi của mặt cắt dọc mối hàn, bao gồm bốn vùng hàn NZ, TMAZ,

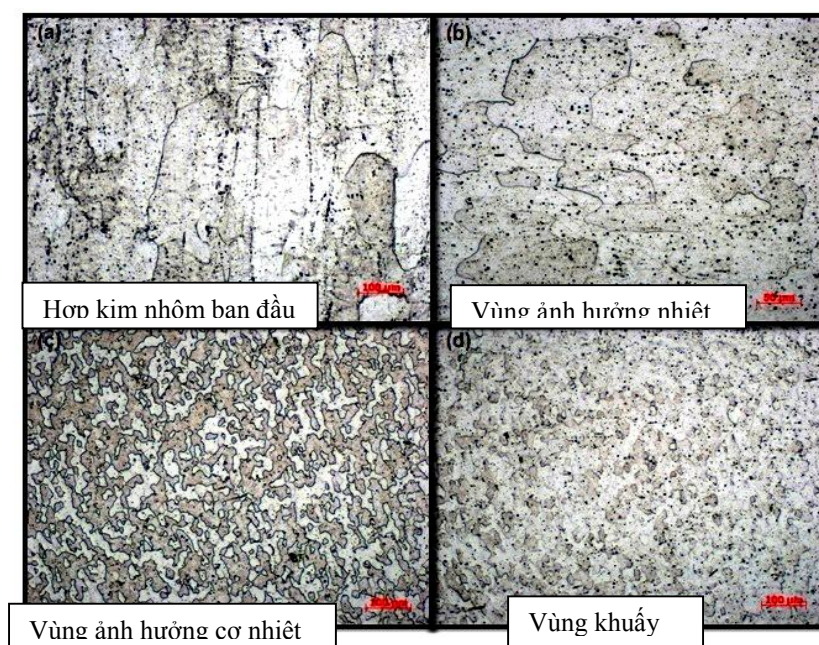
HAZ và BM. Hình 5 là cấu trúc tế vi của bốn vùng nêu trên nhìn theo mặt phẳng ngang. Kim loại cơ bản (trước khi hàn) trong hình 5-a có cấu trúc hạt lớn nhất khoảng $100 \mu\text{m}$ do quá trình đúc và cán tạo hình theo mặt phẳng ngang. Kích thước hạt nhỏ dần ở các vùng ảnh hưởng nhiệt HAZ (khoảng $20\text{-}30 \mu\text{m}$), vùng ảnh hưởng cơ-nhiệt TMAZ (khoảng $15\text{-}20 \mu\text{m}$), và vùng khuấy NZ có kích thước hạt nhỏ nhất (khoảng $10 \mu\text{m}$). Kết quả này là do

vùng khuấy có tốc độ nguội nhanh trong quá trình hàn, ít xảy ra hiện tượng kết tinh lại và sát nhập các hạt tinh thể lại với nhau, cho cơ

tính đồng đều và tốt hơn kim loại nguyên thủy.



Hình 4: Cấu trúc vi mô ở mặt cắt dọc mối hàn.



Hình 5 Cấu trúc vi mô các vùng của mối hàn

3.2. Tính toán ứng suất trên mẫu thí nghiệm

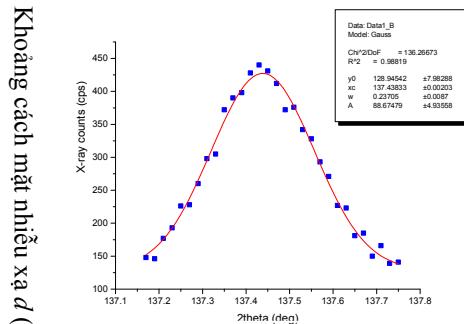
Hình 6 cho thấy đường nhiễu xạ của vùng HAZ tại góc $\psi = 0^\circ$ được nội suy bằng đường cong Gauss để xác định vị trí đỉnh nhiễu xạ. Ứng suất dư tại các vùng được xác định bằng phương pháp $\sin^2\psi$. Đồ thị $\sin^2\psi$ của vùng HAZ được trình bày trên Hình 7. Đối với các phương pháp hàn nóng chảy thông thường cho kết cấu hạt lớn, yêu cầu việc đo lường tính toán ứng suất gặp khó khăn lớn nếu không sử dụng phương pháp góc ψ dao động để tăng số lượng hạt tinh thể nhiễu xạ, vốn dĩ phức tạp và không sẵn có đối với các thiết bị nhiễu xạ thông thường.

Đối với hàn ma sát hợp kim nhôm 1060, các đỉnh nhiễu xạ trong Hình 7 phân bố trên một đường thẳng cho thấy vật liệu có tính đẳng hướng phù hợp với hình ảnh kim tương cho thấy kết cấu hạt tương đối nhỏ. Do đó, trình tự thực hành đo đạc và công thức tính toán ứng suất cho vật liệu đẳng hướng được đơn giản rất nhiều.

Kết quả tính toán ứng suất dư trong các vùng hàn được thể hiện trên Hình 8. Kết quả thực nghiệm cho thấy trên mối hàn ma sát hợp kim nhôm 1060 ứng suất thay đổi trong khoảng từ $-31 \div 0,99$ MPa và nằm trong giới hạn bền của vật liệu. Cũng như kích thước hạt tại các vùng hàn, ứng suất dư tại vùng

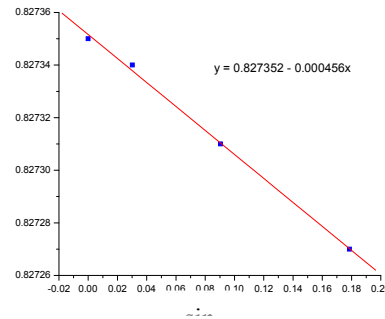
HAZ có giá trị lớn nhất so với vùng TMAZ. Sự thay đổi lớn nhất về ứng suất trước và sau khi hàn khoảng chừng 31% và phân bố trong

vùng HAZ. Nhìn chung, giá trị này là rất nhỏ so với các phương pháp hàn nóng chảy.

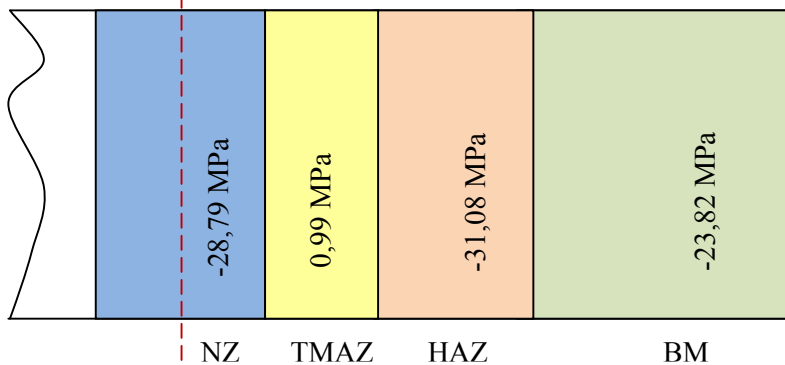


Khoảng cách mặt nhiễu xạ d (Å)

Hình 6 Đường nhiễu xạ



Hình 7 Đồ thị $\sin^2\psi$ của



Hình 8: Ứng suất dư trong các vùng hàn.

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu khảo sát ứng suất mỗi hàn ma sát hợp kim nhôm 1060, các kết luận sau được rút ra:

- Các vùng ảnh hưởng nhiệt, vùng ảnh hưởng cơ nhiệt và vùng khuấy có kích thước hạt nhỏ dần, cho ra đồ thị $\sin^2\psi$ tuyến tính nên quá trình đo đặc ứng suất

không cần sử dụng phương pháp dao động góc ψ .

- Ứng suất dư tại vùng ảnh hưởng nhiệt là cao hơn các vùng khác, nhưng nhìn chung các vùng của mỗi hàn có giá trị tương đối nhỏ so với các phương pháp hàn truyền thống khác, khẳng định ưu điểm của phương pháp hàn mới này.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến TS. Lưu Phương Minh – Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM, đã cung cấp mẫu thí nghiệm cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- W. M. Thomas, et al., *Friction stir welding*, International Patent Application No. PCT/GB92102203 and Great Britain Patent Application No. 9125978.8,1991.

2. Eur.Ing, C.E.D.Rowe, Wayne Thomas, et. al., *Advances in tooling materials for friction stir welding*, TWI and Cedar Metals Ltd.
3. The ESAB group, *Friction Stir Welding - the ESAB Way*, ESAB, 2010, pp 18-31.
4. Defalco, J., and Steel, R., *Friction stir process now welds steel pipe*, *Welding Journal*, 2009, pp 44-48.
5. Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, *Friction Stir Welding and Processing*, Chap 1, ASM Internationa, 2007, pp 1-5.
6. Kevin J. Colligan, *Friction stir welding for ship construction*, Concurrent Technologies Corporation No. N0014-06-D-0048, 2007, pp 2-5.
7. Masanori Kurita, *X-Ray Stress Measurement by the Gaussian Curve Method*, Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka 940-21, Japan, 2001.
8. Le Chi Cuong, Kurita, M, “LPA Factor in the Stress Measurement of Crystalline Materials Using the X-Ray Diffraction”, *Journal of Experimental Mechanics*, Japan, Mar 30th, 2004, pp. 7-14.