

BIẾN DẠNG ỐNG TRONG QUY TRÌNH HÀN HỒ QUANG TRƯỜNG HỢP HÀN SỬ DỤNG CORE NỐI

TUBE DEFORMATION DURING THE WELDING PROCESS
IN THE CASE OF WELDING USING A FUSION SPLICER

Trần Minh Thế Uyên, Dương Thị Vân Anh

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Sau khi mô phỏng và thí nghiệm hàn ống có đường kính Ø60 và các chiều dày lần lượt là 2.5 mm, 3.2 mm, 4 mm và 5.2 mm bằng cách sử dụng core nối, chúng ta rút ra các kết luận quan trọng như sau: Phân tích phương pháp mô phỏng cho thấy phân bố nhiệt tại mặt cắt của kết cấu hàn có sự thay đổi đáng kể về nhiệt độ. Tổng thể, với ống có chiều dày nhỏ hơn, nhiệt độ tại vị trí cuối cùng của quá trình hàn sẽ cao hơn. Khi mô phỏng các trường hợp này, kết quả cho thấy, với chiều dày 2.5 mm, nhiệt độ cao nhất tập trung ở vùng cuối của đường hàn, đạt giá trị 1279 °C. Trong khi đó, với chiều dày 5.2 mm, giá trị nhiệt độ cao nhất cũng tập trung ở vùng cuối của đường hàn, nhưng chỉ đạt giá trị 829 °C. Sự chênh lệch nhiệt độ này cũng là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự biến dạng khác nhau của kết cấu hàn, tùy thuộc vào các chiều dày khác nhau của ống.

Từ khóa: Hàn hồ quang; Biến dạng; Ứng suất; Liên kết ống.

ABSTRACT

After simulating and conducting experiments on Ø60 pipes with thicknesses of 2.5 mm, 3.2 mm, 4 mm, and 5.2 mm using a core joint, we draw the following important conclusions: The analysis of the simulation method reveals significant variations in temperature distribution at the cross-section of the weld structure. Overall, for pipes with smaller thicknesses, the temperature at the final position of the welding process is higher. In these simulations, with a thickness of 2.5 mm, the highest temperature is concentrated at the end region of the weld, reaching 1279 °C. On the other hand, for a thickness of 5.2 mm, the highest temperature is also concentrated at the end region of the weld but only reaches 829 °C. This temperature difference is one of the causes of the varying deformations in the weld structure, depending on the different thicknesses of the pipes.

Keywords: Welding; Deformation; Stress; Pipe connection.



1. TỔNG QUAN

Hàn hồ quang điện trong môi trường có khí bảo vệ (GSAW: Gas Shielded Arc Welding) là công nghệ hàn được sử dụng rất rộng rãi hiện nay. Trong nền công nghiệp hiện đại, hàn hồ quang bằng điện trong môi trường có khí bảo vệ chiếm một vị trí rất quan trọng. Nó không những có thể hàn các loại thép kết cấu thông thường mà còn có thể hàn các loại thép hợp kim cao, kim loại màu và hợp kim của chúng.

Ngoài ra, phương pháp hàn này không những có thể thao tác bằng tay mà còn có thể tự động hóa, tạo mối hàn có chất lượng cao đối với hầu hết các kim loại và hợp kim.

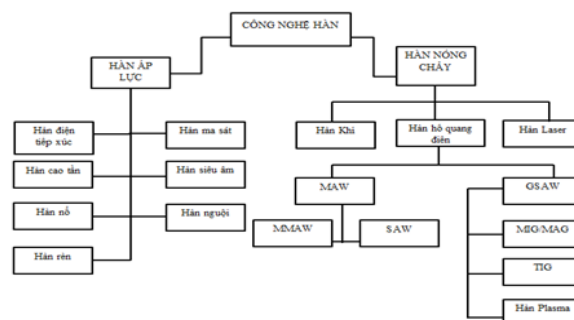
Hàn hồ quang trong môi trường có khí bảo vệ còn gọi là GSAW (Gas Shielded Arc Welding) xuất hiện do nhu cầu về hàn kim loại màu (nhôm, magiê và hợp kim của chúng) trong ngành chế tạo máy bay và ngành hóa chất từ thập kỷ 40. Công nghệ hàn này được chia ra làm hai loại chính gồm: Hàn hồ quang bằng điện cực nóng chảy (GMAW: Gas Metal Arc Welding) và hàn hồ quang bằng điện cực không nóng chảy (GTAW: Gas Tungsten Arc Welding).

(*) Đặc điểm chung của các loại hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ:

- Mức độ tập trung cao của nguồn nhiệt hàn đảm bảo chiều rộng nhỏ của vùng ảnh hưởng nhiệt, và khả năng biến dạng thấp;
- Năng suất hàn cao, hiệu quả bảo vệ kim loại nóng chảy cao (đặc biệt khi sử dụng khí trơ);
- Không cần sử dụng thuốc hàn hoặc vỏ bọc như của que hàn;
- Khả năng cơ giới hóa và tự động hóa cao;
- Có thể đạt được mối hàn có cùng tính chất hóa lý, luyện kim như kim loại cơ bản;

- Không cần phải làm sạch mối hàn sau khi hàn (không có kim loại bắn tóe, xỉ hàn);
- Có thể hàn hầu hết kim loại thông dụng trong công nghiệp. Còn có thể dùng để hàn kim loại không đồng nhất, và hàn đắp.

Trong những năm gần đây, kỹ thuật hàn đã có những bước phát triển mạnh mẽ, đáp ứng được các yêu cầu ngày cao về công nghệ và vật liệu. Nhiều phương pháp hàn mới đã xuất hiện, các công nghệ mới đã được áp dụng rộng rãi trong kỹ thuật hàn, từ chỗ chủ yếu sử dụng công nghệ hàn hồ quang tay, đến nay có khoảng 130 phương pháp hàn khác nhau được sử dụng rộng rãi. Có thể chia công nghệ hàn thành hai nhóm như sau:



Hình 1. Phân loại công nghệ hàn

Qua các nghiên cứu trước đây, chưa có công trình nghiên cứu nào tập trung mô phỏng về biến dạng của ống trong quá trình hàn sử dụng phương pháp hàn hồ quang. Vì vậy, trong công trình nghiên cứu này sẽ tiến hành mô phỏng sự biến dạng của ống, ứng suất dư tập trung trên ống do nhiệt của quá trình hàn hồ quang gây ra, để từ đó có thể dự báo trước các biến dạng có hại trong quá trình hàn nhằm giảm thiểu chúng, góp phần tiết kiệm được chi phí khi hàn. Ngoài ra, tác giả sẽ thực hiện các thí nghiệm trên các vật hàn để so sánh với quá trình mô phỏng, các vật hàn là các ống có kích thước chiều dài là 200 mm, đường kính 60, 50; bề dày là 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm.

2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Phương trình cấu thành điển hình, được cung cấp bởi các gói chương trình FE thương mại, định luật Fourier cho trường hợp dẫn nhiệt của:

$$\underline{q} = -\underline{k} \cdot \underline{\nabla T} \quad (4)$$

Phương trình trạng thái nhiệt:

$$\frac{de}{dt} = C_p \frac{dT}{dt}, (\text{áp suất } p = \text{const}) \quad (5)$$

Định luật Hooke cho chất rắn đẳng hướng.

$$\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{\sigma}}^{el} = 2\mu \underline{\underline{\varepsilon}} + \lambda (Tr \underline{\underline{\varepsilon}}) \underline{\underline{I}} - (3\lambda + 2\mu) \underline{\underline{\varepsilon}}^{th} \quad (6)$$

Đường tuyến tính nhiệt như sau (cho kích thước một chiều):

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \frac{1}{2} (\underline{\underline{\nabla}} u + (\underline{\underline{\nabla}} u)^T) \text{ hoặc } \varepsilon = \frac{(x-X)}{X}$$

$$\text{và } \underline{\underline{\varepsilon}}^{th} = \underline{\underline{\varepsilon}}^{th} \underline{\underline{I}} = \alpha (T - T_0) \underline{\underline{I}}$$

Hơn nữa, vật liệu phụ thuộc vào k , C_p , λ , α xác định tính dẫn nhiệt, năng lượng nhiệt, các hằng số của LAME, và hệ số giãn nở nhiệt. Phương trình cấu thành có dạng: $\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{\sigma}}(\underline{\underline{u}})$ hoặc $\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{\sigma}}(\underline{\underline{\varepsilon}})$. Đối với vật liệu cơ tính dẻo của vật liệu, tương ứng với phương trình (6).

Ứng suất Vonmiss:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{3}{2} dev \underline{\underline{\sigma}} : dev \underline{\underline{\sigma}}} \text{ và } \sigma_v = \sqrt{\frac{3}{2} \underline{\underline{\varepsilon}} : \underline{\underline{\varepsilon}}} \quad (7)$$

Trong đó: $\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{\sigma}} - p \underline{\underline{I}}$

Gọi Φ là năng suất chức năng, nó có thể quyết định, cho dù ứng suất hiện tại có ảnh hưởng đến năng suất hay không:

$$\Phi(\sigma) = \sigma_v^2(\underline{\underline{\sigma}}) - \sigma_y^2 = 0 \quad (8)$$

Trong đó, σ_y đặc trưng cho giới hạn chảy.

Giới hạn chảy σ_y tăng khi biến dạng dẻo tăng, được gọi là độ cứng của vật liệu.

Gọi độ cứng của vật liệu là k , $\sigma_y = \tilde{\sigma}_y(k)$ do đó $\Phi(\underline{\underline{\sigma}}) \rightarrow \Phi(\underline{\underline{\sigma}}, k)$ cho độ cứng đẳng hướng.

$$\dot{k} = \dot{p} = \underline{\underline{\sigma}} \cdot \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{pl}$$

Do đó, phương trình (8) có thể được sử dụng để lấy một điều kiện nhất quán, nó đóng vai trò quan trọng trong việc xác định biến dạng dẻo.

$$\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial \underline{\underline{\sigma}}} \dot{\underline{\underline{\sigma}}} + \frac{\partial \Phi}{\partial k} \dot{k} = 0 \quad (9)$$

$\underline{\underline{\dot{\sigma}}}, \dot{k}$ có thể được tính toán bằng định luật Hook kết hợp với $\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{\varepsilon}}^{el} + \underline{\underline{\varepsilon}}}^{pl}$

$$\underline{\underline{\dot{\sigma}}} = \underline{\underline{C}}_4 \cdot (\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}} - \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{pl}) \text{ và } \dot{k} = \underline{\underline{C}}_4 \cdot (\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}} - \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{pl}) \cdot \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{pl} \quad (10)$$

$\underline{\underline{C}}_4$: biểu thị ma trận độ cứng bậc 4.

Còn lại một đại lượng vẫn chưa biết $\underline{\underline{\varepsilon}}}^{pl}$, bằng việc rời rạc $\underline{\underline{\varepsilon}}$, ta có:

$$\underline{\underline{\dot{\vare}}}^{pl} = \dot{\Lambda} \frac{\partial \Phi}{\partial (dev \underline{\underline{\sigma}})} \text{ hoặc } d\underline{\underline{\vare}}}^{pl} = d\Lambda \frac{\partial \Phi}{\partial (dev \underline{\underline{\sigma}})} \quad (11)$$

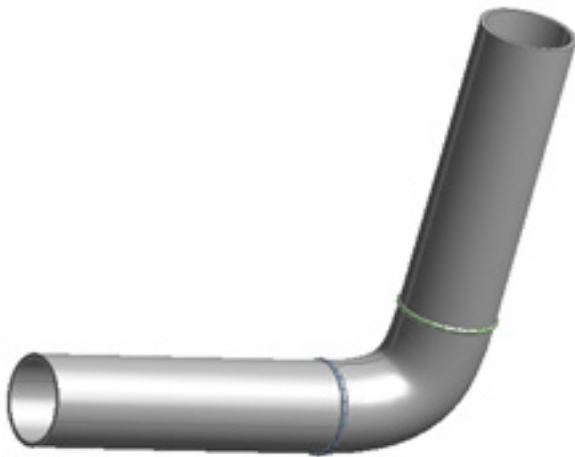
Trình tự các bước tính toán như sau:

Biến dạng toàn phần:

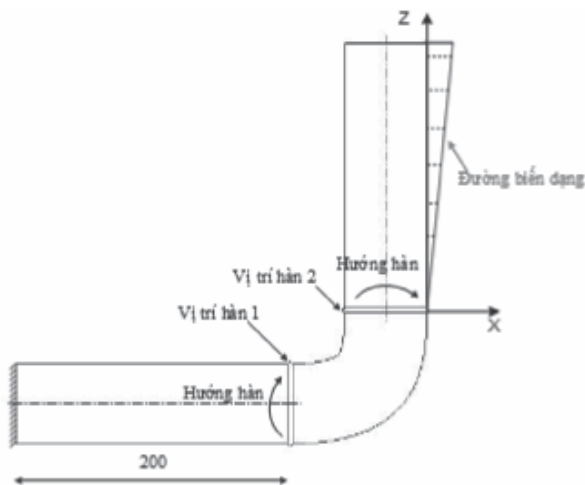
$$\underline{\underline{\vare}}} = \sum_n \underline{\underline{\vare}}} (n)$$



3. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU



Hình 2. Mô hình hình học bài toán



Hình 3. Tọa độ và vị trí đo biến dạng của liên kết hàn

Ta xét 04 trường hợp ống có đường kính 60 mm với 04 loại chiều dày.

- Đường kính ngoài: 60 mm;
- Bề dày: 2.5 mm, 3.2 mm, 4 mm, 5.2 mm;
- Chiều dài: 200 mm;
- Core hàn không ren, đường kính 60 mm, chiều dày 3 mm;
- Thông số hàn: Lấy đúng với thực tế trong quá trình làm thực nghiệm;
- Dòng: 90A;
- Voltage: 80V.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Bảng 1. Kết quả mô phỏng nhiệt độ, biến dạng và ứng suất

Mẫu	Nhiệt Độ (°C)	Biến Dạng (mm)	Ứng Suất (MPa)
2.5 mm			
5.2 mm			

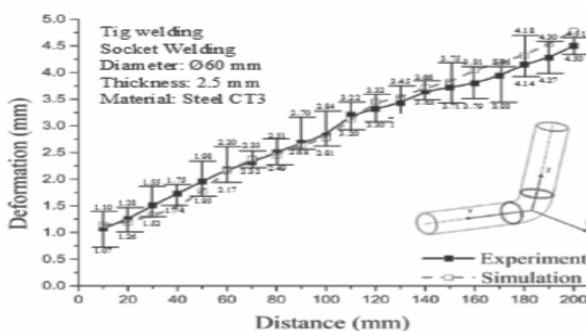
Sau khi mô phỏng và làm thí nghiệm hàn ống có Ø60, chiều dày lần lượt là 2.5 mm, 3.2 mm, 4 mm, 5.2 mm đối với trường hợp hàn sử dụng core nổi, các kết luận sau được rút ra:

- Với phương pháp mô phỏng, phân bố nhiệt tại mặt cắt của kết cấu hàn được trình bày như bảng 1. Trong nghiên cứu này, vì cùng sử dụng một bộ thông số hàn, do đó phân bố nhiệt độ tại mặt cắt kết cấu cho thấy có sự thay đổi rõ rệt về nhiệt độ. Nhìn chung, với ống có chiều dày nhỏ hơn, nhiệt độ tại cuối quá trình hàn sẽ cao hơn. Trong các mô phỏng này, với chiều dày 2.5 mm, nhiệt độ cao nhất tập trung tại vùng cuối của đường hàn với giá trị nhiệt độ 1279 °C. Trong khi đó, với chiều dày 5.2 mm, giá trị nhiệt độ cao nhất cũng tập trung tại vùng cuối của đường hàn, nhưng giá trị nhiệt độ chỉ ở mức 829 °C. Sự chênh lệch nhiệt độ này cũng là một trong những nguyên nhân dẫn đến biến dạng khác nhau của kết cấu hàn ứng với các chiều dày khác nhau.

- Phương pháp mô phỏng cũng cho thấy phân bố ứng suất của kết cấu hàn như bảng 1.

Với phân bố này, ứng suất cao nhất sẽ tập trung tại vị trí bắt đầu và kết thúc của đường hàn. Ngoài ra, phương pháp số cũng cho thấy vùng lân cận đường hàn cũng tồn tại các giá trị ứng suất dư. Nhìn chung, với ống có chiều dày lớn hơn, ứng suất dư sẽ giảm đáng kể.

- Trong quá trình hàn, do ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ và ứng suất dư, các kết cấu hàn sẽ bị biến dạng. Trong nghiên cứu này, thông qua quá trình mô phỏng, biến dạng tại mặt cắt của hai ống hàn vuông góc sử dụng core nổi được trình bày như bảng 1. Kết quả này cho thấy biến dạng ứng với các chiều dày 2.5 mm, 3.2 mm, 4.0 mm và 5.2 mm lần lượt là 4.78 mm, 2.68 mm, 1.56 mm, và 1.39 mm. Với phương pháp đo biến dạng như Hình 4.3, biến dạng lớn nhất tồn tại ở vị trí cuối của ống. Tương tự như kết quả về phân bố nhiệt và phân bố ứng suất dư, biến dạng của kết cấu hàn ứng với các chiều dày lớn hơn sẽ tốt hơn. Kết quả này có thể được giải thích bởi độ cứng vững của kết cấu và hiện tượng dẫn nở và co rút nhiệt. Ứng với các trường hợp có chiều dày mỏng hơn, độ cứng vững của kết cấu sẽ giảm đáng kể, do đó, hiện tượng ống bị nghiêng sẽ xảy ra rõ ràng hơn. Ngoài ra, do cùng được hàn với một bộ thông số, do đó, các ống có chiều dày thành nhỏ hơn sẽ có nhiệt độ cao hơn như bảng 1. Đây cũng là lý do gây nên hiện tượng biến dạng nhiệt lớn hơn khi so sánh với các trường hợp chiều dày ống khác.



Hình 4. Biểu đồ biến dạng của mẫu dày 2.5 mm

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này mô phỏng và thực nghiệm quá trình hàn ống với các chiều dày khác nhau. Kết quả cho thấy nhiệt độ và ứng suất tập trung tại vị trí bắt đầu và kết thúc của đường hàn. Biến dạng của kết cấu hàn tăng theo chiều dày giảm.

Ngày nhận bài: **05/5/2023**

Ngày phản biện: **25/5/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hoàng Tùng, Nguyễn Thúc Hà, Ngô Lê Thông; *Cẩm nang hàn*, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2006.
- [2]. Mohd Shahar Sulaiman, Yupiter HP Manurung, Esa Haruman, Mohammad Ridzwan Abdul Rahim, Mohd Ridhwan Redza, Robert Ngendang Ak. Lidam, Sunhaji Kiyai Abas, Ghalib Tham and Chan Yin Chau, Simulation and experimental study on distortion of butt and T-joints using WELD PLANNER (June 23, 2011).
- [3]. Fanrong Kong, Junjie Ma, Radovan Kovacevic, *Numerical and experimental study of thermally induced residual stress in the hybrid laser – GMA welding process*, (January 2011).
- [4]. M. Seyyedean Choobi, M. Haghpanahi and M. Sedighi. *Investigation of the Effect of Clamping on Residual Stresses and Distortions in Butt-Welded Plates*, (2010).