

DỰ ĐOÁN ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG KHI HÀN THÉP KHÔNG GI BẰNG PHẦN MỀM SYSWELD

PREDICTION OF RESIDUAL STRESS AND DEFORMATION WHEN WELDING THE DUPLEX STAINLESS STEEL BY SYSWELD SOFTWARE

NGUYỄN HỒNG THANH*, HOÀNG TRỌNG ÁNH

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

*Email liên hệ: thanh.we@gmail.com

Tóm tắt

Thép không gỉ 316L là loại vật liệu có khả năng chống ăn mòn tốt khi được tiếp xúc với nhiều loại hóa chất khác nhau, có độ bền tương đối cao và thường được sử dụng để làm thùng, bồn bể chứa hóa chất,... Như chúng ta biết, vật hàn được nung nóng bởi nguồn nhiệt của hồ quang hàn và các điều kiện gá kẹp,... dẫn đến sự xuất hiện ứng suất dư trong bộ phận hoặc toàn kết cấu hàn. Chính vì vậy, việc kiểm soát ứng suất dư và biến dạng hàn là vấn đề đang được rất nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm. Bài báo này, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng ứng suất dư và biến dạng khi hàn giáp mối hai tấm thép không gỉ 316L, có chiều dày 10mm bằng phương pháp hàn Plasma với các nguồn nhiệt lần lượt là: 1000J/mm và 1200J/mm, 1400J/mm.

Từ khóa: Hàn Plasma, thép không gỉ duplex, phương pháp phần tử hữu hạn, năng lượng đường.

Abstract

Stainless steel 316L is a material that has demonstrated excellent corrosion resistance when exposed to a variety of chemicals, has relatively high durability, and is often used to make chemical tanks and tanks,... As we know, weldment is heated by heat source of arc welding, and clamp conditions,... leading to the occurrence of residual stress in the part or whole welded structure. Therefore, the control of residual stress and deformation is a problem that many domestic and foreign scientists are interested. This paper, using the finite element method to simulate the residual stress and deformation when welding two plates of 316L stainless steel with 10mm of thickness by Plasma welding process with heat input respective: 1000J/mm and 1200J/mm, 1400J/mm.

Keywords: Plasma arc welding, duplex stainless steel, finite element method, heat input.

1. Mở đầu

Thép 316L [1] là loại vật liệu có thể làm việc trong môi trường chịu ăn mòn hóa học, có độ bền cao và thường được sử dụng để làm thùng, bồn bể chứa hóa chất, các loại dụng cụ, thiết bị y tế...

Như đã biết, sự co ngót không đồng đều hình thành khi kim loại vật hàn bị nung nóng cục bộ bởi nguồn nhiệt hàn. Kim loại mối hàn (KLMH) thường bị nung tới nhiệt độ cao nhất và khi nguội có xu hướng co nhiều hơn kim loại vùng ảnh hưởng nhiệt (VAHN) và kim loại cơ bản liền kề. Sự co ngót của KLMH bị hạn chế bởi các vùng kim loại liền kề có nhiệt độ thấp hơn. Vì vậy, KLMH sẽ chịu ứng suất kéo theo chiều dọc đường hàn ngay khi nhiệt độ hạ xuống đủ thấp để cho giới hạn chảy của nó bắt đầu phục hồi. Ứng suất kéo này tiếp tục tăng trong khi nhiệt độ giảm dần tới nhiệt độ môi trường. Điều này có thể tạo ra biến dạng dẻo nếu như ứng suất nhiệt kéo hình thành có trị số lớn hơn giới hạn chảy của vật liệu [1].

Thêm vào đó, phương pháp hàn cũng ảnh hưởng tới quá trình hình thành và phân bố ứng suất và biến dạng hàn. Chính vì vậy, kiểm soát ứng suất dư và biến dạng hàn là vấn đề đang được rất nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm. Hàn hồ quang Plasma (PAW) có thể được sử dụng cho mọi kim loại và hợp kim thường được hàn bằng quá trình TIG, phương pháp này có tính linh hoạt cao hơn, chất lượng ổn định và cao hơn, tiết kiệm năng lượng và chi phí. Đây là quy trình được sử dụng nhiều trong đóng tàu, kỹ thuật hạt nhân, điện tử, không gian và nhiều lĩnh vực công nghiệp khác. Hàn hồ quang Plasma có thể cơ khí hóa cho năng suất, chất lượng cao, cho phép ứng dụng trong nhiều lĩnh vực.

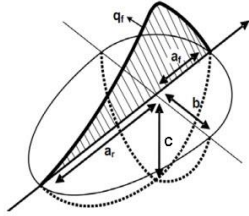
Bài báo này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích, dự đoán sự phân bố trường nhiệt độ, ứng suất và biến dạng dư hàn trong liên kết hàn giáp mối hai tấm thép không gỉ 316L bằng phương pháp hàn Plasma.

2. Kỹ thuật mô phỏng

2.1. Mô hình nguồn nhiệt hàn Plasma

Nguồn nhiệt hồ quang làm nóng chảy vật hàn và dây hàn được tính theo công thức $P = \eta \cdot U_h \cdot I_h$ (W),

trong đó: U_h - là điện áp hồ quang (V); I_h - là cường độ dòng điện hàn (A) và η là hiệu suất hồ quang hàn. Goldak và cộng sự [3, 4, 5] đã đưa ra mô hình nguồn nhiệt có mật độ phân bố ellipsoid kép được xác định khi kết hợp hai khối bán ellipsoid khác nhau để tạo thành một nguồn nhiệt (Hình 1).



Hình 1. Mô hình nguồn nhiệt hàn Plasma

Mật độ nguồn nhiệt bên trong khối bán ellipsoid phía trước nguồn nhiệt được biểu diễn bởi phương trình (1).

$$Q_R(x, y, z) = Q_f \exp\left(-\frac{x^2}{a_f^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2}\right) \quad (1)$$

Mật độ nguồn nhiệt bên trong khối bán ellipsoid phía sau nguồn nhiệt được biểu diễn bởi phương trình 2.

$$Q_R(x, y, z) = Q_r \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{a_r^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2}\right) \quad (2)$$

Trong đó: a_f , a_r , b và c là các thông số hình học của nguồn nhiệt, Hình 1; Q_R là hàm mật độ nguồn nhiệt [4, 5].

Hình 2 là trình tự thực hiện mô phỏng quá trình hàn Plasma. Dựa trên quy trình hàn được xây dựng theo chuẩn AWS. Vật hàn được chia lưới phần tử và mô phỏng số bằng phần mềm Sysweld [6].

Bảng 1. Thông số nguồn nhiệt hàn mô phỏng

Thông số	Giá trị
a_f	6mm
a_r	10mm
b	6,5mm
c	4mm

2.2. Mô hình truyền nhiệt

Trong công thức 3 là mô hình truyền nhiệt theo 3 chiều (3D) ở trạng thái giả ổn định. Công thức 4 mô tả sự mất nhiệt do trao đổi và bức xạ nhiệt ra môi trường xung quanh [3].

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + k \frac{\partial Q}{\partial x} = \rho C k \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

$$h(T - T_0) + \beta \epsilon (T^4 - T_0^4) = q_s \quad (4)$$

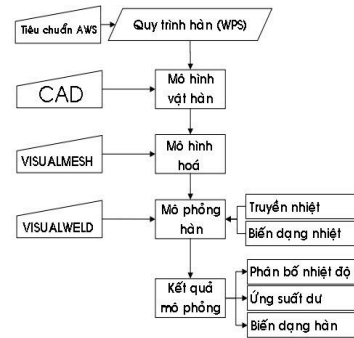
Trong đó: Q là năng lượng đường (J/mm), q_s là nhiệt lượng thất thoát, T là nhiệt độ nóng chảy của vật liệu, T_0 là nhiệt độ môi trường, t là thời gian (s), k là hệ số dẫn nhiệt (W/mm.°C), ρ là khối lượng riêng, C là nhiệt dung riêng (J/g °C), h là hệ số nhiệt đối lưu, β là hằng số Stefan-Boltzman, [4] và ϵ là hệ số phát xạ. Liên quan đến trạng thái giả ổn định, công thức 3 được viết lại như sau:

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - v \frac{\partial Q}{\partial x} = -v_h \rho C \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5)$$

2.3. Mô hình biến dạng

Ứng suất nhiệt hình thành trong vật hàn được xác định trên cơ sở các ứng suất thành phần theo 3 chiều (x, y, z) như công thức (6).

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \quad (6)$$



Hình 2. Trình tự thực hiện mô phỏng

Biến dạng đàn hồi tổng (ϵ) tuân theo định luật Hook [3, 7] gồm: Biến dạng đàn hồi (ϵ^e), biến dạng dẻo (ϵ^p) và biến dạng nhiệt (ϵ^{th}) được xác định theo công thức (7).

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon^{th} \quad (7)$$

2.4. Các thông số của vật liệu

Thành phần hóa học và cơ tính của thép 316L được cho trong Bảng 2 và 3. Trong nghiên cứu này vật liệu được coi có tính liên tục và đẳng hướng.

Bảng 2. Thành phần hoá học của thép 316L

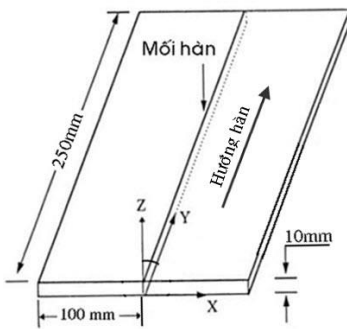
Thành phần hoá học, %							
C	Si	Mg	P	S	Cr	Ni	Mo
0,03	0,75	2,0	0,04	0,03	16÷18	10÷14	2,0

Bảng 3. Tính chất vật lý của thép 316L

Đặc tính	Giá trị
Mô đun đàn hồi (GPa)	193
Giới hạn chảy (MPa)	290
Giới hạn bền (MPa)	627
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	1399
Nhiệt độ đông đặc (°C)	1350

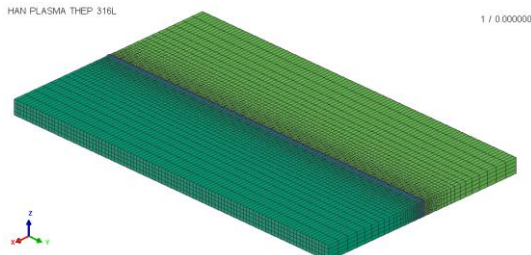
2.5. Thiết kế và chia lưới vật hàn

Mỗi ghép hàn được thiết kế bằng phần mềm VisualMesh [6], dựa theo tiêu chuẩn AWS [8], xem Hình 3. Sau đó vật hàn được chia lưới với 44558 phần tử (element) và 35352 nút (node).



Hình 3. Liên kết hàn giáp mối

Để kết quả mô phỏng được chính xác vùng mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt sẽ được chia lưới mịn hơn, các vùng còn lại ít chịu tác động bởi nhiệt độ cao sẽ được chia lưới thưa hơn, Hình 4.

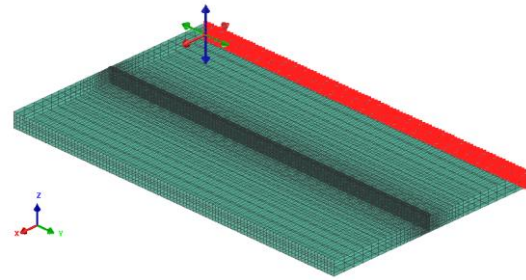


Hình 4. Mô hình hoá liên kết hàn

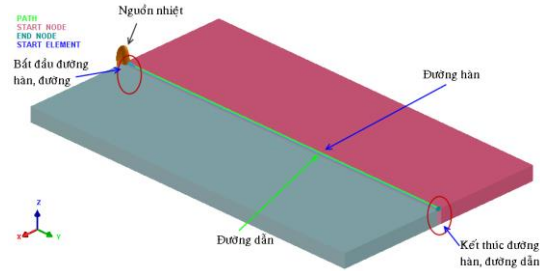
2.6. Điều kiện gá kẹp

Liên kết hàn được kẹp chặt theo 3 chiều x, y, z một tám, trong tất cả các trường hợp, xem Hình 5.

Hình 6, minh họa mô hình nguồn nhiệt Plasma, đường hàn, đường dẫn; điểm bắt đầu và kết thúc đường hàn và đường dẫn.



Hình 5. Vị trí gá kẹp khi mô phỏng



Hình 6. Quỹ đạo đường hàn và đường dẫn

2.7. Thông số mô phỏng

Bảng 4. Thông số hàn mô phỏng

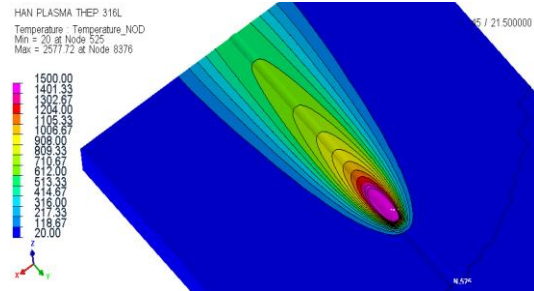
Trường hợp hàn	Năng lượng đường (J/mm)	Vận tốc hàn (mm/s)
1	1000	5
2	1200	5
3	1400	5

Chế độ mô phỏng bằng phương pháp hàn Plasma được mô tả trong Bảng 4.

3. Kết quả và luận bàn

Sau khi chia lưới xong, lưu file dưới định dạng *.vdb và chuyển sang modul Visualweld để mô phỏng quá trình hàn Plasma. Giải bài toán ta thu được kết quả sau:

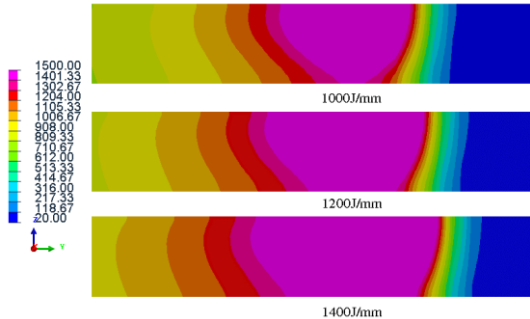
3.1. Trường nhiệt độ



Hình 7. Hình dạng bề hàn

Hình 7, thể hiện hình dạng kích thước bề hàn khi

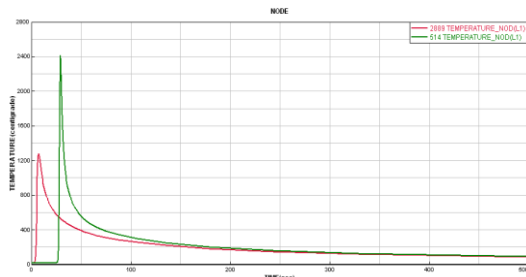
mô phỏng với nguồn nhiệt 1200J/mm. Nhiệt độ tại nút 8376 (tâm vũng hàn) khoảng 2578°C và nhiệt độ phía trước nguồn nhiệt hàn là 20°C tại nút 525.



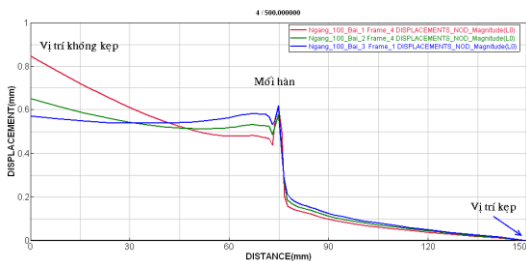
Hình 8. Hình dạng bề hàn

Hình 8 thể hiện hình dạng bề hàn với 3 nguồn nhiệt lần lượt là 1000J/mm, 1200J/mm và 1400J/mm. Nhận thấy rằng, với năng lượng nguồn nhiệt hợp lý 1000J/mm là vừa đủ để ngấu suốt chiều dày tấm hàn. Còn các nguồn nhiệt khác cho kích thước bề hàn và chiều sâu ngấu lớn hơn.

Hình 9 mô tả trường nhiệt độ tại nút 2889 thuộc mối hàn và nút 514 thuộc vùng HAZ cách chân mối hàn 2mm. Nhận thấy rằng, nhiệt độ tại nút 514 đạt đến nhiệt độ của trạng thái biến dạng dẻo.



Hình 9. Nhiệt độ tại nút 2889 và nút 514

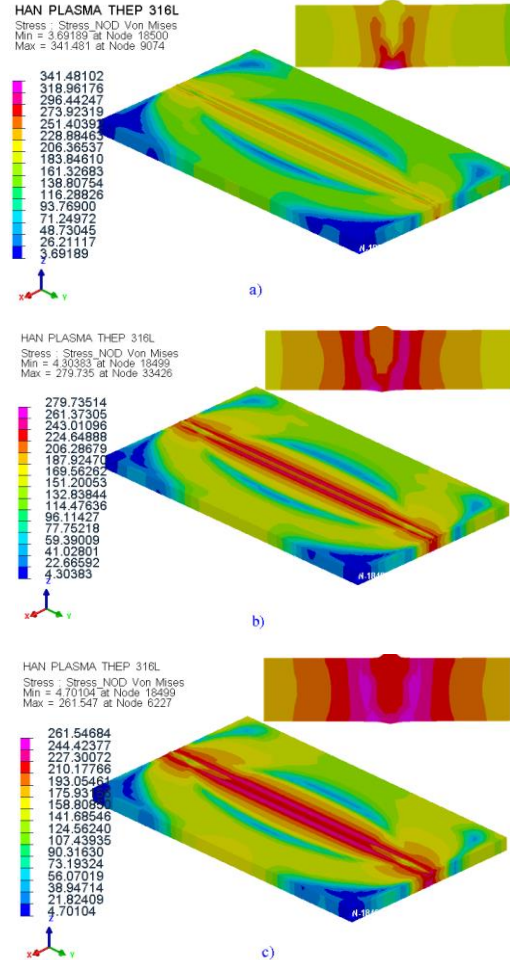


Hình 10. Biến dạng hàn

3.2. Biến dạng

Hình 10 mô tả biến dạng của cả 3 trường hợp hàn với các nguồn năng lượng đường như đã nói ở trên.

Nhận thấy rằng, khi hàn Plasma với nguồn năng lượng thấp biến dạng ở mép ngoài cùng của tấm hàn cao hơn 2 trường hợp còn lại. Ngược lại, tại vùng mối hàn và vùng HAZ lại nhỏ nhất.



Hình 11. Phân bố ứng suất Von mises

3.3. Ứng suất

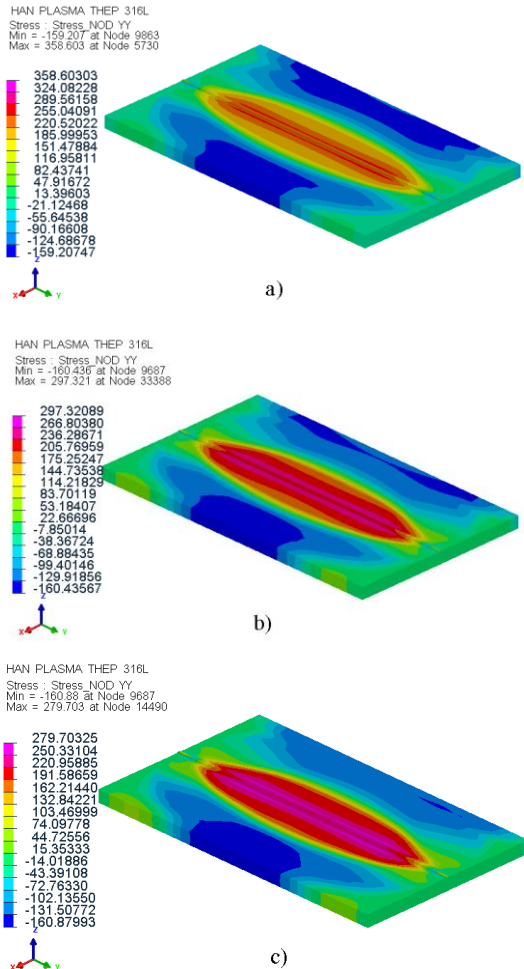
3.3.1. Ứng suất Von mises

Sự phân bố ứng suất dư Von mises của 3 trường hợp được mô tả trên Hình 11. Ta nhận thấy rằng, với nguồn năng lượng là 1000J/mm ứng suất dư là lớn nhất. Tuy nhiên, chỉ tập trung tại phía dưới mối hàn, Hình 11.a. Trường hợp 3, ứng suất nhỏ nhất (261,5MPa), Hình 11.c nhưng lại phân bố suốt chiều dày tấm hàn và cũng tương tự như trường hợp thứ 2, Hình 11.b với nguồn năng lượng đường là 1200J/mm.

3.3.2. Ứng suất pháp theo phương Y

Dựa vào phổ màu, Hình 12 cho ta biết được sự phân bố ứng suất dư pháp tuyến theo phương Y (đọc trục đường hàn) của 3 trường hợp hàn. Nhận thấy rằng, sự phân bố ứng suất dư kéo của trường hợp 1 đạt

358,6MPa, lớn hơn so với trường hợp 2 là 61MPa và trường hợp 3 là 78,8MPa. Tuy nhiên, ứng suất dư nén của cả 3 trường hợp chênh lệch nhau không đáng kể, giá trị đạt được khoảng ≈ 160 MPa.



Hình 12. Ứng suất pháp theo phương Y

4. Kết luận

Dựa vào phần mềm Sysweld tác giả đã mô phỏng được hình dạng kích thước bề hàn, trường nhiệt độ, ứng suất dư và biến dạng khi hàn Plasma hai tấm thép không gỉ 316L. Nhận thấy rằng, sự phân bố ứng suất dư phụ thuộc rất nhiều vào công suất nguồn nhiệt, mặc dù năng lượng nguồn nhiệt thấp ứng suất dư cao như trường hợp 1 (Hình 11.a) nhưng ứng suất dư chỉ tập trung ở phần mặt dưới của mối hàn. Điều này rất dễ dàng cho việc áp dụng phương pháp rung khử ứng suất dư. Với 2 trường hợp còn lại, ứng suất dư ngoài việc phân bố như trường hợp 1, lại phân bố theo chiều dày tấm hàn dẫn đến việc khử ứng suất là tương đối phức tạp, mất nhiều thời gian, tốn kém về kinh tế.

Bài báo này, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng ứng suất dư và biến dạng khi hàn

giáp mỗi hai tấm thép không gỉ 316L. Thông qua phần mềm mô phỏng, ta có thể quan sát được sự phân bố ứng suất dư kéo (nén) trong kết cấu hàn. Từ đó, có thể bố trí các đường hàn cho phù hợp nhằm giảm ứng suất và biến dạng hàn.

Với các kết quả nghiên cứu của mình, tác giả hy vọng sẽ áp dụng vào thực tế sản xuất nhằm giảm bớt những tác động đến môi trường, sức khỏe người lao động và tiết kiệm chi phí sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Văn Địch, *Sổ tay thép thế giới*, NXB Khoa học Kỹ thuật Hà Nội. 2004.
- [2] Ngô Lê Thông, *Công nghệ hàn nóng chảy*, Tập 1&2, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội. 2007.
- [3] Nguyễn Tiến Dương, *Mô phỏng quá trình truyền nhiệt khi hàn*, Hà Nội. 2008.
- [4] Zienkiewicz, O. C, *The Finite Element Method*, McGraw-Hill Company, London. 1977.
- [5] J. Goldak, M. Bibby, J. Moore and B. Patel, (1996s), *Computer Modling of Heat Flow in Welds*.
- [6] ESI Group, 99 Rue Des, Solets Silic 112 94513 Rungis Cedex FRANCE.
- [7] T. R Gruney, (1979), *Fatigue of Welded Structures*, Cambridge University Press.
- [8] AWS D1.1 2010, *Structural Welding Code - Steel*, An American National Standard.

Ngày nhận bài:	09/7/2021
Ngày nhận bản sửa:	08/8/2021
Ngày duyệt đăng:	15/8/2021