

## ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC VÁT ĐẾN ỨNG SUẤT DƯ VÀ BIẾN DẠNG KHI HÀN GIÁP MỐI HAI TẤM THÉP SS400 BẰNG PHẦN MỀM SYSWELD

Nguyễn Hồng Thanh\*, Hoàng Trọng Ánh, Vũ Văn Khánh, Ngô Mạnh Hà  
*Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định*

### TÓM TẮT

Ngày nay công nghệ hàn được ứng dụng rộng rãi trong tất cả các ngành công nghiệp như: chế tạo kết cấu thép, bồn bể chứa chất lỏng, công nghiệp ô tô, chế tạo tàu thủy,... Phương pháp hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (MAG) được áp dụng tại nhiều nhà máy, công ty, xí nghiệp chế tạo kết cấu hàn, đặc biệt trong đóng tàu. Ứng suất dư và biến dạng hàn là kết quả của việc giãn nở và co ngót kim loại mối hàn và một phần kim loại cơ bản do nung nóng và làm nguội không đều trong quá trình hàn. Khi hàn 1 phía thì biến dạng lớn hơn rất nhiều so với hàn 2 phía. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích, dự đoán, đánh giá mức độ biến dạng và sự phân bố ứng suất dư khi hàn giáp mối hai tấm thép SS400 có kích thước 200×150×10 mm với các cách chuẩn bị mép vát khác nhau. Nhận thấy rằng, góc vát càng lớn thì biến dạng càng lớn. Góc vát 50° biến dạng là 3,2 mm ứng suất dư 589,76 MPa; biến dạng 4,29 mm và ứng suất dư là 572,99 MPa khi góc vát 70°.

**Từ khóa:** *Mô phỏng số; Ứng suất dư; Biến dạng hàn; Hàn giáp mối; Vát mép chữ V.*

*Ngày nhận bài: 18/7/2019; Ngày hoàn thiện: 22/8/2019; Ngày đăng: 23/8/2019*

## THE EFFECTS OF BEVEL ANGLE ON RESIDUAL STRESS AND DISTORSION OF TWO SS400 STEEL PLATES BY SYSWELD SOFTWARE

Nguyen Hong Thanh\*, Hoang Trong Anh, Vu Van Khanh, Ngo Manh Ha  
*Nam Dinh University of Technology and Education*

### ABSTRACT

Today, welding technology is widely used in all industries such as fabrication of steel structures, liquid tank, automobile technology, shipbuilding, etc. In which, Gas metal arc welding (MAG) process is used in many plants, companies that manufacture welding structures, especially shipbuilding. Residual stress and distortion in a weld results from the expansion and contraction of the weld metal and adjacent base metal during the heating and cooling cycle of the welding process. Doing all welding on one side of a part will cause much more distortion than if the welds are alternated from one side to the other. In this study, using the finite element method to analyze, predict and evaluate the degree of distortion and the residual stress distribution when welding the two SS400 steel plates 200×150×10 mm with different ways to prepare the bevel. It is noticed that the larger the beveled angle is, the greater the distortion is. The beveled angle of 50°, the distortion is 3,2 mm and residual stress is 589,76 MPa; deformation is 4,29 mm and residual stress is 572,99 MPa when beveled angle is 70°.

**Keywords:** *Welding simulation; Residual stress; Welding distortion; Butt welded; V – bevel*

*Received: 18/7/2019; Revised: 22/8/2019; Published: 23/8/2019*

\* Corresponding author. Email: thanh.we@gmail.com

## 1. Giới thiệu

Ứng suất dư và biến dạng hàn là hiện tượng song hành luôn xuất hiện trong quá trình hàn do sự nung nóng và làm nguội không đều của mối hàn dưới tác dụng của nguồn nhiệt hồ quang hàn. Hiện tượng tập trung ứng suất dư tại chân mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt là rất nguy hiểm đối với kết cấu. Điều này sẽ làm kết cấu giảm khả năng chịu tải, đặc biệt là tải trọng biến đổi. Khi kết cấu hàn mất khả năng làm việc sẽ bị phá huỷ cục bộ hoặc hoàn toàn gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến tính mạng con người, tài sản và huỷ hoại môi trường tự nhiên [1].

Chính vì vậy, việc phân tích và dự đoán sự phân bố ứng suất dư và biến dạng hàn là một trong những việc làm hết sức quan trọng ngay từ khi thiết kế quy trình hàn. Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển vượt bậc của ngành khoa học máy tính việc sử dụng kỹ thuật mô phỏng số dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để dự đoán sự phân bố ứng suất dư và biến dạng hàn đã và đang được nghiên cứu một cách bài bản.

Một trong những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến biến dạng khi hàn những tấm có chiều dày lớn đó là góc vát, trình tự hàn và năng lượng nhiệt cấp vào bề hàn,... Để giảm biến dạng hàn ta có thể sử dụng các biện pháp về công nghệ hoặc kết cấu. Đối với kết cấu phức tạp việc giảm biến dạng hàn gặp rất nhiều khó khăn [1].

Ngoài ảnh hưởng do nung nóng và làm nguội không đều khi hàn thì thông số chế độ hàn và các điều kiện gá kẹp, trình tự hàn, góc vát,... cũng ảnh hưởng tới sự hình thành và phân bố ứng suất dư và biến dạng trong bộ phận hoặc toàn kết cấu hàn.

Bài báo này sử dụng phần mềm Sysweld® [2] để phân tích, dự đoán sự phân bố ứng suất dư và biến dạng trong liên kết hàn giáp mối vát mép hai tấm thép SS400 kích thước 200×150×10mm với góc vát ( $\alpha$ ) lần lượt là 50°, 60°, 70°.

## 2. Kỹ thuật mô phỏng

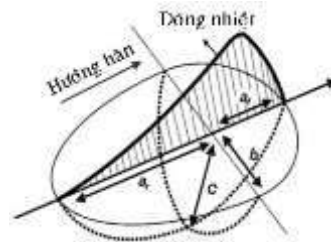
### 2.1. Mô hình nguồn nhiệt

Trong nghiên cứu này, tại bất kỳ thời điểm (t) nào năng lượng của hồ quang hàn được mô tả bằng sự phân bố nguồn nhiệt mặt Gau xơ [1]. Vì thế, điểm thuộc bề mặt vật hàn có bán kính của cột hồ quang là ra sẽ nhận được sự phân bố nhiệt  $q_t$  theo công thức (1):

$$q_t = \frac{3Q}{\pi r_a^2} \exp\left[-\left(\frac{r_a}{r_t}\right)^2\right] \quad (1)$$

Trong đó:  $r_t$  bán kính của cột hồ quang và Q là năng lượng của cột hồ quang.  $Q = \eta \cdot U \cdot I$  (W), trong đó U - là điện áp hồ quang (V); I - là cường độ dòng điện hàn (A) và  $\eta$  là hiệu suất hồ quang hàn (0,6 ÷ 0,9).

Mô hình nguồn nhiệt có mật độ phân bố ellipsoid kép [1], [2] 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 MAG [2]

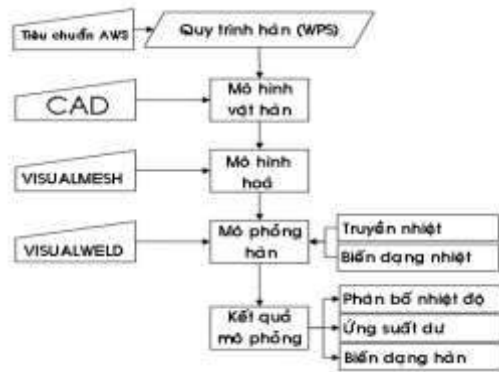
Trong đó  $a_f$ ,  $a_r$ , b và c là các thông số hình học của nguồn nhiệt hàn MAG.

**Bảng 1.** Thông số nguồn nhiệt hàn

Thông số	Giá trị
$a_f$	6 mm
$a_r$	10 mm
b	8 mm
c	5 mm

Bảng 1 là các thông số nguồn nhiệt hàn sử dụng trong mô phỏng số trường nhiệt độ và ứng suất dư.

Hình 2 là trình tự thực hiện mô phỏng quá trình hàn giáp mối vát mép hai tấm thép SS400, dày 10 mm. Mô hình vật hàn được chia lưới và mô phỏng số dựa trên bộ phần mềm Sysweld®.



Hình 2. Trình tự thực hiện mô phỏng

2.2. Mô hình truyền nhiệt

Công thức 2 là mô hình truyền nhiệt theo 3 chiều (3D) ở trạng thái giả ổn định. Công thức 3 mô tả sự mất nhiệt do trao đổi và bức xạ nhiệt ra môi trường xung quanh [1], [2].

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

$$h(T - T_0) + \beta \epsilon (T^4 - T_0^4) = q_s \quad (3)$$

Trong đó: Q là năng lượng nhiệt toả ra hoặc năng lượng đường (J/mm), q<sub>s</sub> là nhiệt lượng thất thoát, T là nhiệt độ khảo sát, T<sub>0</sub> là nhiệt độ ban đầu, 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 và ε là hệ số phát xạ [1],[ 3]. Liên quan đến trạng thái giả ổn định, công thức 2 có thể viết lại như sau:

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - v \frac{\partial Q}{\partial x^2} = -V_h \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

V<sub>h</sub> là vận tốc hàn, (mm/s)

2.3. Mô hình biến dạng

Trong quá trình mô phỏng biến dạng nhiệt của kết cấu hàn, sự biến thiên nhiệt độ tại mỗi

nút lưới được định nghĩa như một dạng tải nhiệt đặt vào nút lưới đó [4]. 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), công thức 5.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (5)$$

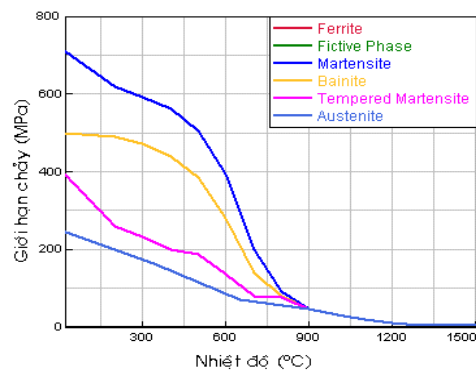
Biến dạng tổng (ε) gồm: biến dạng đàn hồi (ε<sup>e</sup>), biến dạng dẻo (ε<sup>p</sup>) và biến dạng nhiệt (ε<sup>th</sup>) được xác định theo công thức 6 [3].

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon^{th} \quad (6)$$

Biến dạng đàn hồi được mô hình hoá dựa theo định luật Hook [3]. Với loại biến dạng này thì nhiệt độ phụ thuộc vào mô đun đàn hồi Young và hệ số Poisson (bảng 3). Đối với biến dạng dẻo của mô hình thì tốc độ chảy dẻo phụ thuộc vào nhiệt độ, cơ tính của vật liệu và động lực học vật liệu.

2.4. Các thông số của vật liệu

Thành phần hóa học và cơ lý tính của thép SS400 được cho trong bảng 2 và 3 [5].



Hình 3. Giới hạn chảy của thép SS400 [2]

Hình 3 mô tả giới hạn chảy tương ứng với từng pha của thép SS400 biến thiên theo nhiệt độ [6].

Bảng 2. Thành phần hoá học của thép SS400

C	Si	Mn	P	S
0,15	0,12~0,3	0,25~0,50	0,04	0,045

Bảng 3. Cơ lý của thép SS400

Đặc tính	Giá trị
Mô đun đàn hồi (GPa)	210
Giới hạn bền kéo (MPa)	470
Giới hạn chảy (MPa)	230 min
Hệ số Poisson	0,29
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	1500
Nhiệt độ đông đặc (°C)	1400

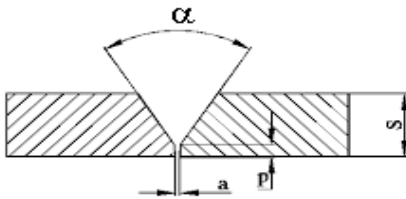
### 2.5. Mô hình hoá liên kết hàn

Mô hình liên kết hàn giáp mối vát mép được thiết kế trên phần mềm VisualMesh để tạo mô hình solid (3D). Các thông số cơ bản của mối ghép được cho hình 4 [7].

**Bảng 4. Thông số mối ghép hàn**

Trường hợp	P (mm)	a (mm)	S (mm)	$\alpha$ (độ)
1	2	3,2	10	50
2	2	3,2	10	60
3	2	3,2	10	70

Trong đó: P – là lượng dư gia công (mm); a – là khe hở lắp ghép (mm); S – chiều dày tấm hàn (mm);  $\alpha$  – góc vát (°)



**Hình 4. Thông số mối hàn giáp mối [8]**

Sau đó liên kết hàn được mô hình hoá bằng phần mềm VisualMesh với 40.554 element và 32.125 node, hình 5.

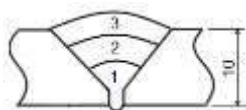


**Hình 5. Mô hình hoá liên kết hàn**

Để kết quả mô phỏng được chính xác, đồng thời giảm thời gian tính toán mô phỏng lưới vùng mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt sẽ được chia mịn hơn, vùng lân cận ít chịu tác động bởi nhiệt độ cao lưới sẽ được chia thưa hơn. Kiểu lưới sử dụng trong bài toán cơ-nhiệt chủ yếu là Hexa Linear 8.

### 2.6. Trình tự thực hiện các đường hàn

Trong nghiên cứu này tác giả chọn tấm hàn có chiều dày 10mm, vát mép chữ V, phương pháp hàn MAG. Để đạt được kích thước mối hàn cũng như chiều sâu ngấu chọn hàn 3 lớp và được bố trí như hình 6 [7].

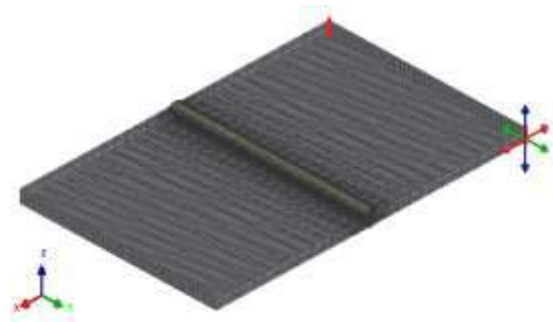


**Hình 6. Bố trí các đường hàn**

Tổng thời gian mô phỏng và làm nguội của toàn liên kết là 1500s, sau thời gian này vật hàn được làm nguội xuống nhiệt độ môi trường.

### 2.7. Điều kiện gá kẹp

Liên kết hàn được kẹp chặt một tấm theo 3 chiều x, y, z trong tất cả các trường hợp, hình 7 với mục đích các kết quả mô phỏng tương đồng với các kết quả khi làm thực nghiệm.



**Hình 7. Vị trí gá kẹp khi mô phỏng**

### 2.8. Thông số hàn và mô phỏng

Thông số mô phỏng được cho trong bảng 5 với  $q_0$  là năng lượng đường (J/mm),  $V_h$  là vận tốc hàn (mm/s).

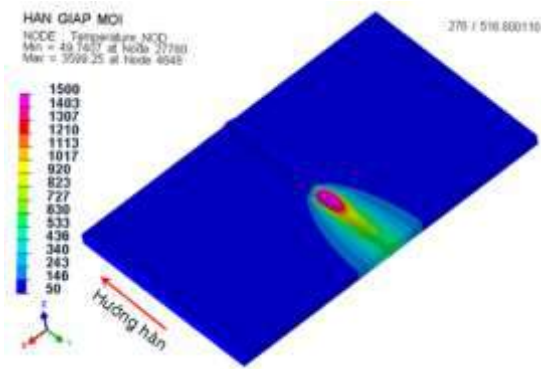
**Bảng 5. Thông số mô phỏng**

Đường hàn	$q_0$ (J/mm)	$V_h$ (mm/s)
1	850	5,0
2	1.190	5,0
3	1.360	5,0

### 3. Kết quả và thảo luận

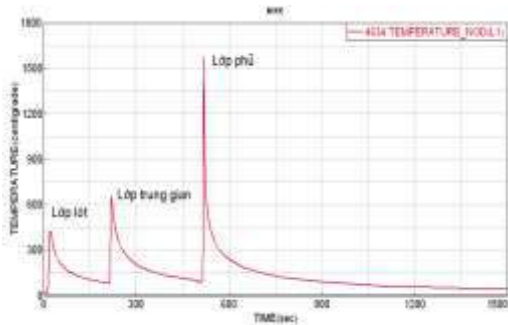
Tiến hành khai báo: các thuộc tính của vật liệu, kiểu phần tử phân tích, công suất nguồn nhiệt, thiết lập các điều kiện tính toán, điều kiện gá kẹp,... và giải bài toán ta thu được kết quả:

3.1. Trường nhiệt độ



Hình 8. Trường nhiệt độ khi hàn lớp phủ

Hình 8 thể hiện kích thước bề hàn nóng chảy, vùng HAZ khi mô phỏng. Khi hàn hai vật liệu do chúng có cùng tính chất nên sự phân bố nhiệt độ giữa hai tấm là như nhau.



Hình 9. Chu trình nhiệt hàn nút 4634

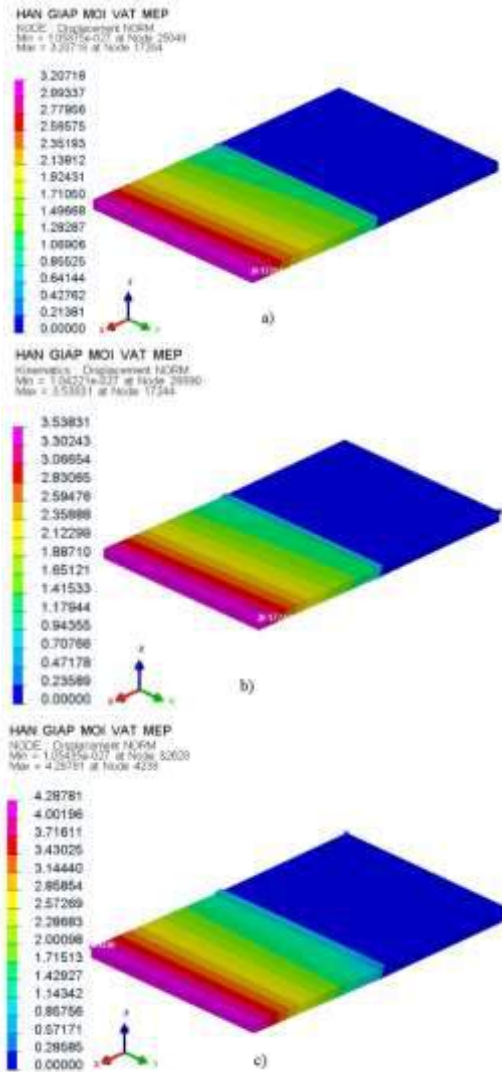
Hình 9 biểu diễn chu trình nhiệt hàn tại nút 4634 tại chân đường hàn phủ. Ta thấy rằng khi hàn lớp lót nhiệt độ tại nút này gần 450°C, khi hàn lớp trung gian nhiệt độ tăng lên trên 620°C và khi hàn lớp phủ do nguồn nhiệt đi qua nút vừa khảo sát nên nhiệt độ tại nút này lên tới hơn 1500°C.

3.2 Biến dạng

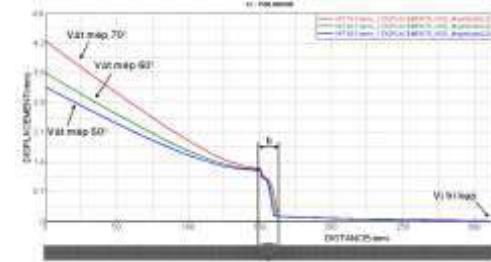
Hình 10 thể hiện biến dạng tổng của liên kết hàn giáp mối có vát mép. Dựa trên kết quả thu nhận được thông qua mô phỏng số, thấy rằng góc vát càng lớn thì biến dạng càng lớn. Trong trường hợp góc vát 70° biến dạng góc lớn nhất là 4,28781 mm thuộc nút 4238.

Bảng 6 và hình 11 thể hiện kết quả mô phỏng biến dạng góc của liên kết hàn giáp mối với 3 trường hợp vát mép như đã nêu ở trên. Đường

lấy kết quả biến dạng cách đầu đường hàn 100mm. Thấy rằng biến dạng tỷ lệ thuận với góc vát, nghĩa là góc vát càng lớn thì biến dạng càng lớn. Điều này có thể do lượng kim loại bổ sung vào mỗi hàn lớn dẫn đến việc co ngót nhiều làm chi tiết bị biến dạng nhiều.



Hình 10. Biến dạng tổng



Hình 11. Biến dạng góc

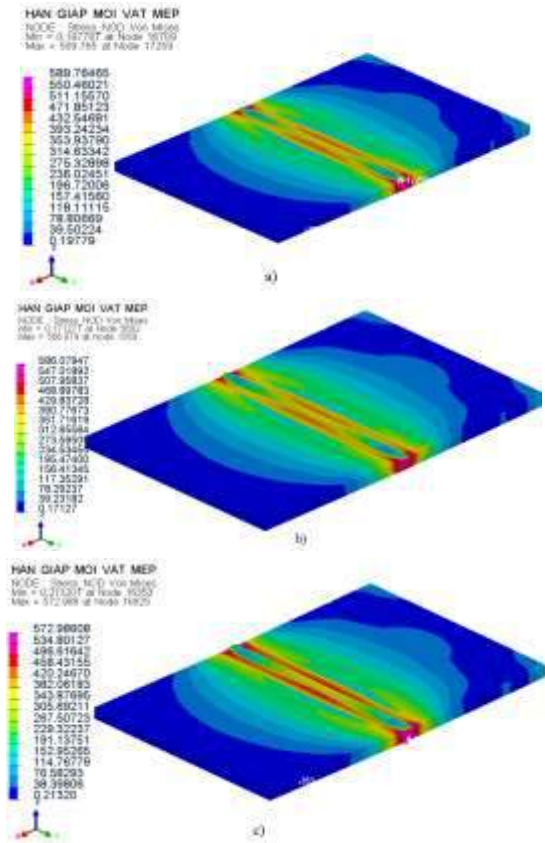


**Bảng 6. Biến dạng tổng của liên kết hàn**

Trường hợp	Vát 50°	Vát 60°	Vát 70°
Biến dạng (mm)	3,16	3,5	4,25

**3.3. Trường ứng suất dư**

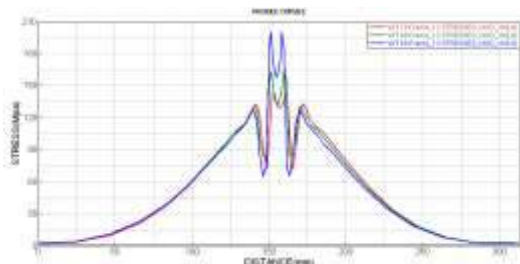
**3.3.1. Ứng suất tương đương (Von mises)**



**Hình 12. Ứng suất Von mises**  
a) Vát 50°; b) Vát 60°; c) Vát 70°

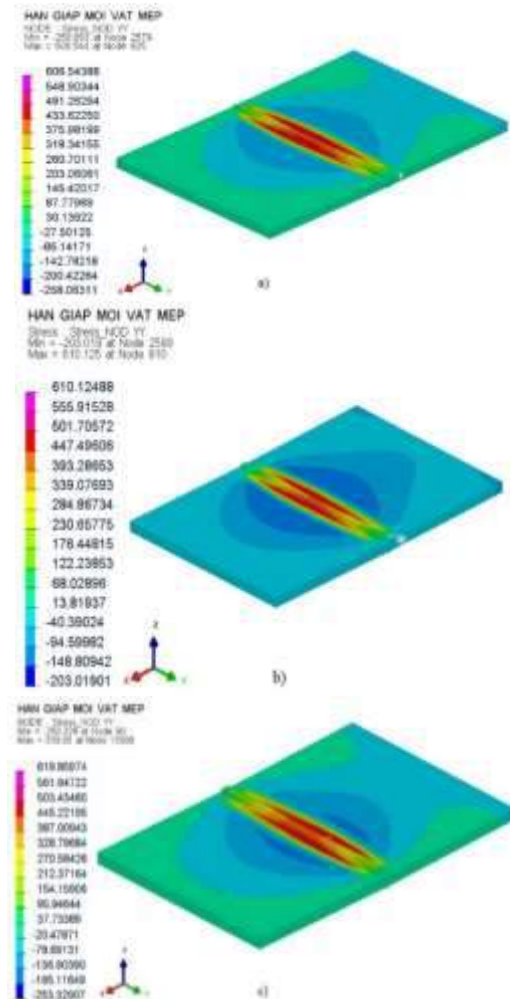
Hình 12 thể hiện sự phân bố ứng suất ứng suất tương đương (Von mises) với 3 trường hợp góc vát, nhận thấy rằng giá trị ứng suất dư chênh lệch giữa góc vát 50° và 70° khoảng 17 MPa; giữa góc vát 50° và 60° khoảng 3,7 Mpa; giữa góc vát 60° và 70° khoảng 14 MPa.

**3.3.2. Ứng suất pháp (Normal stress)**



**Hình 13. Ứng suất pháp theo X**

Hình 13 thể hiện sự phân bố ứng suất pháp (Normal stress) theo phương X với 3 trường hợp góc vát, ta thấy rằng ứng suất dư trong trường hợp vát mép 50° là lớn nhất giá trị đạt được khoảng 200 MPa, trường hợp vát 70° thì giá trị ứng suất dư là nhỏ nhất khoảng 140 MPa.



**Hình 14. Ứng suất pháp theo Y**

Hình 14 thể hiện giá trị ứng suất pháp theo phương Y. Nhận thấy rằng, giá trị ứng suất dư ở các trường hợp khảo sát có giá trị gần sát nhau. Tuy nhiên, khác với ứng suất tương đương, ứng suất pháp theo phương X và Y lại có xu hướng tăng khi góc vát thay đổi từ nhỏ tới lớn.

**Bảng 7. Mối quan hệ giữa ứng suất và góc vát**

	Vát 50°	Vát 60°	Vát 70°
Ứng suất tương đương (MPa)	589,76	586,08	572,99
Ứng suất pháp theo Y (MPa)	606,54	610,12	619,86

Bảng 7 thể hiện mối quan hệ giữa ứng suất dư và góc vát. Theo kết quả mô phỏng thấy rằng khi hàn nhiều đường nhiều lớp ứng suất dư dọc trục mỗi hàn thường tăng khi góc vát tăng. Trong khi đó ứng suất dư tương đương lại có xu hướng giảm khi góc vát tăng.

#### 4. Kết luận

Dựa vào việc phân tích, đánh giá ứng suất và biến dạng khi hàn giáp mối vát mép 2 tấm thép SS400 có chiều dày 10mm, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn tác giả đã:

1. Tính toán, phân tích và dự đoán được ảnh hưởng của góc vát đến sự phân bố ứng suất dư và biến dạng hàn;
2. Góc vát càng lớn thì biến dạng càng lớn;
3. Qua mô phỏng có thể dự đoán được sự phân bố ứng suất dư và biến dạng ở bất kỳ vị trí nào trên liên kết hàn.

Với những kết quả nghiên cứu về ứng suất và biến dạng khi hàn giáp mối có vát mép 2 tấm thép SS400, chiều dày 10mm như đã phân tích và dự đoán ở trên, tác giả hy vọng đây là

những thông tin khoa học hữu ích có thể áp dụng vào thực tế sản xuất hoặc trong lĩnh vực nghiên cứu về ứng suất dư và biến dạng hàn trong liên kết hàn giáp mối tấm có chiều dày lớn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thế Ninh, *Phân tích truyền nhiệt hàn và ứng dụng*, Nxb Bách khoa Hà Nội, 2011.
- [2]. Goldak, J., Chakravarti, A., and Bibby, "A new finite element model for welding heat source", *Metallurgical Transactions B*, 15B, pp. 299-305, 1984.
- [3]. Zhili Feng (2005), Processes and mechanisms of welding residual stress and distortion, page 185.
- [4]. Zienkiewicz O. C., *The Finite Element Method*, McGraw-Hill Company, London, 1977.
- [5]. Trần Văn Địch (2004), *Sổ tay thép thế giới*, Nxb Khoa học kỹ thuật Hà Nội, 2004.
- [6]. ESI User guide, 99 Rue Des, Solets Silic 112 94513 Rungis Cedex FRANCE.
- [7]. Ngô Lê Thông, *Công nghệ hàn nóng chảy*, Tập 1 Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [8]. AWS D1.1, *Structural Welding Code – Steel*, An American National Standard, 2010.

