

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC DỤNG CỤ HÀN TRONG QUÁ TRÌNH HÀN MA SÁT KHUẤY

EFFECT OF FRICTION STIR TOOL ON THE QUALITY OF THE STIR WELDING

Mai Đăng Tuấn¹, Trần Trung Hoàng², Đào Duy Quý²,
Trương Minh Nhật², Lưu Phương Minh²,

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Mục tiêu là xây dựng cơ sở để chế tạo dụng cụ hàn ma sát khuấy và tối ưu các thông số hàn, nhằm đảm bảo được chất lượng của mối hàn. Trong bài này, phân tích các quy luật hình học, quy luật động học, bao gồm: Quy luật về thể tích, quy luật bề mặt và quy luật về vận tốc dòng chảy trong quá trình hàn. Xây dựng lưu đồ giải thuật cho việc tính toán, tối ưu các thông số hình học dụng cụ, các thông số công nghệ trong quá trình hàn, thực nghiệm kiểm tra mô hình.

Từ khóa: Hàn ma sát khuấy; Đầu hàn ma sát khuấy; Thông số hàn ma sát khuấy.

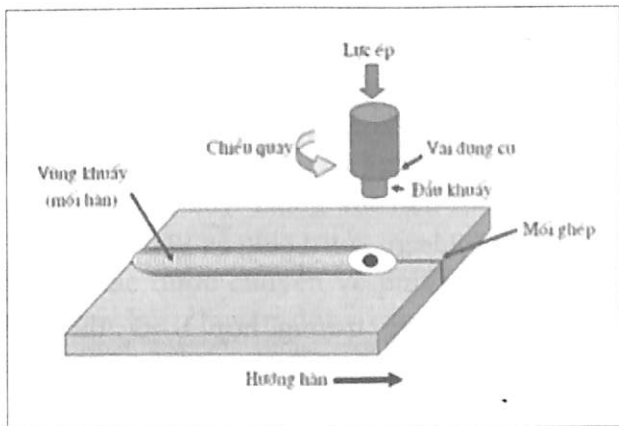
ABSTRACT

The objective of this work was to build a base to manufacture friction stir tools and optimize welding parameters so that the quality of the weld is guaranteed. This paper analysed the laws of geometry and dynamics, including the law of volume, the law of surface and the law of vectology in the welding process. Built algorithm flowchart for calculation, optimize geometrical parameters of tools as well as technological parameters in this process.

Keywords: Friction stir welding, FSW Tool Design, Friction Stir Welding Parameters.

1. GIỚI THIỆU

Dụng cụ hàn vừa xoay vừa tịnh tiến xuống tiếp xúc với bề mặt vật hàn nhằm tạo nguồn nhiệt cần thiết ban đầu, kế tiếp là đi xuyên vào vật hàn (chiều sâu bằng với chiều sâu ngấu) tạo những thay đổi về tổ chức vật liệu; Làm cho quá trình biến dạng dẻo mảnh liệt ở vùng khuấy, sau đó di chuyển dọc theo hướng hàn tạo thành mối hàn (để lại phía sau dụng cụ phân kim loại vừa kết tinh lại, đẳng hướng, cấu trúc dạng hạt mịn).



Hình 1. Mô hình nguyên lý hàn ma sát khuấy.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Quá trình sinh nhiệt khi hàn

2.1.1. Đặc điểm chung

Cơ chế tạo nhiệt bị ảnh hưởng bởi: Các thông số hàn, tính dẫn nhiệt của vật liệu phối, đầu khuấy và vai dụng cụ, đặc tính hình học của dụng cụ.

Khi nhiệt độ vật hàn tăng lên làm mềm kim loại, moment xoắn giảm và một lượng nhiệt được truyền đi bởi công việc cơ học. Điều này tạo thành một cơ chế nhiệt tương đối ổn định và tránh tối đa hiện tượng nóng chảy của kim loại mối hàn [4].

2.1.2. Sự truyền nhiệt vào vật hàn

Trong hàn FSW, hầu hết nguồn nhiệt được phân bố trên khắp dụng cụ. Theo [3], dòng nhiệt phân bố trên một đơn vị diện tích của vai được xác định:

$$q_1 = q_2 = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{Q_1 \cdot r}{R_S^3 - R_p^3} [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

Ở đây q_1, q_2 là một hàm của bán kính vai, cường độ nhiệt tăng khi bán kính r tăng vì $R_p \leq r \leq R_S$. Tuy nhiên, để đơn giản ta xem như sự phân bố nhiệt trên cả bề mặt vai là đồng đều.

$$r = \frac{R_S + R_p}{2}$$

Đối với đầu khuấy lượng nhiệt vào có thể phân bố khắp thể tích của nó:

$$q_3 = \frac{Q_3}{\pi \cdot R_p^2 \cdot L_p} [\text{W/m}^3] \quad (2)$$

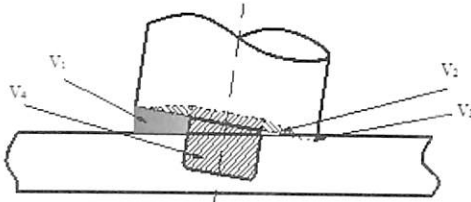
2.2. Mô hình động học trong quá trình FSW

Trong suốt quá trình hàn phải luôn đảm bảo duy trì sự liên tiếp vật liệu giữa vai dụng cụ và bề mặt vật hàn. Nếu trường hợp xuất hiện khoảng trống giữa vai dụng cụ và vật hàn là do tổn thất vật liệu, tạo thành bavaria, hay là do thiết kế không chính xác vai dụng cụ sẽ dẫn tới giảm lực cắt dưới vai dụng cụ, quá trình hàn sẽ trở nên khó khăn,... Từ những suy luận đó, suy ra rằng trong quá trình hàn ma sát khuấy, các thông số hàn cần phải thỏa mãn các quy tắc về mặt động học và hình học cụ thể như sau: Quy luật thể tích, quy luật bề mặt và quy luật về dòng vật liệu.

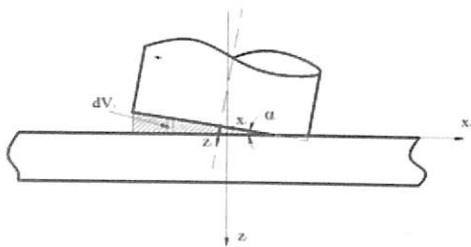
2.2.1 Quy luật thể tích

Gọi V_1 là phần thể tích giữa vai dụng cụ và bề mặt vật hàn không kể khoảng lõm của dụng cụ, V_2 là phần thể tích vai lõm của dụng cụ, V_3 là phần thể tích ngập trong vật hàn của vai dụng cụ, do nghiêng đi một góc, V_4 là phần thể tích đầu khuấy của dụng cụ (hình 2). Điều kiện về hình dáng hình học thiết kế của dụng cụ cần thỏa mãn phương trình sau:

$$\underbrace{(V_1 + V_2)}_{V_i} - \underbrace{(V_3 + V_4)}_{V_e} = 0 \quad (3)$$

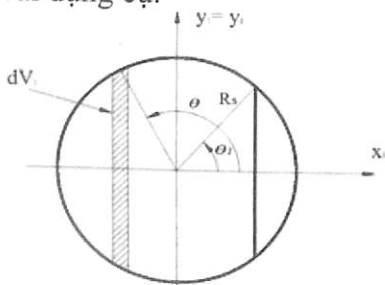


Hình 2. Các phần thể tích phân chia

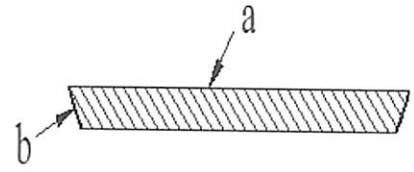


Hình 3. Vi phân thể tích V_1

- Phần thể tích V_1 : Phần thể tích giữa vai dụng cụ và bề mặt vật hàn không kể khoảng lõm trên vai dụng cụ.



Hình 4. Hình chiếu V_1 lên hệ trục $x_1y_1z_1$



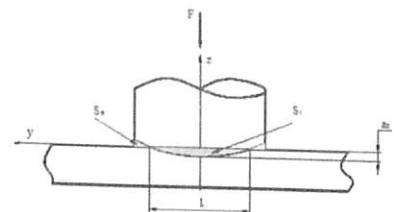
Hình 5. Phần vi phân diện tích chiếu lên $x_1y_1z_1$

2.2.2 Quy luật bề mặt

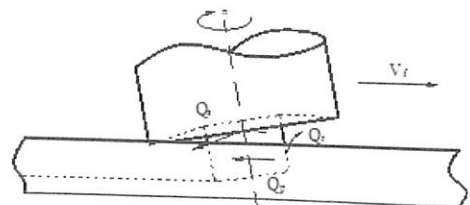
Giả thiết rằng, vận tốc của dòng lưu lượng này là hằng số, thì điều kiện để không xuất hiện bavia là phần diện tích mặt cắt vuông góc (theo hướng đường hàn) lớn nhất của phần ngập của vai dụng cụ S_i phải cân bằng với phần diện tích rìa hai bên tâm đường hàn S_e như hình 6. Như vậy, quy luật bề mặt chính là điều kiện để mỗi hàn không xuất hiện bavia.

$$S_i - S_e = 0 \quad (4)$$

Nếu trong trường hợp $S_i > S_e$ thì quá trình tiến của dụng cụ sẽ làm mất vật liệu, có thể sinh ra khuyết tật thiếu hụt trên đường hàn và đồng thời làm giảm chiều dài đường hàn có thể thực hiện được. Ngược lại khi $S_e > S_i$ thì dẫn tới phần thể tích trống giữa vai dụng cụ và vật hàn khá lớn, không thỏa mãn điều kiện quy luật thể tích đã nêu.



Hình 6. Các diện tích S_i, S_e .



Hình 7. Lưu lượng các dòng chảy vật liệu.

• Công thức tính xác định S_i :

$$S_i = \frac{1}{2} \pi R_s^2 \sin \alpha \quad (2.15)$$

Công thức xác định S_c :

$$S_c = a.b = 2R_s \cdot (R_p \sin \alpha + h \cos \alpha + \delta - t_p) \quad (5)$$

Thế phương trình 2.15 và 2.16 vào phương trình 2.14:

$$\frac{1}{2} \pi R_s^2 \sin \alpha - 2R_s \cdot (R_p \sin \alpha + h \cos \alpha + \delta - t_p) = 0 \quad (6)$$

2.2.3. Quy luật vận tốc dòng chảy

Trong quá trình hàn, quá trình quay và tịnh tiến của đầu khuấy sẽ “cắt” vật liệu xung quanh đầu khuấy. Dòng vật liệu một phần bị đầu khuấy đẩy về phía trước của hướng hàn Q_r , phần khác được chuyển về phía sau điền đầy rãnh tạo bởi chuyển động của đầu khuấy Q_p (hình 7).

Nếu xem dòng chảy lùi của vật liệu quanh đầu khuấy là không đáng kể so với giá trị của dòng chảy tới Q_r và dòng vật liệu điền đầy chủ yếu là Q_s dòng vật liệu chuyển dời qua khe hở giữa vai dụng cụ và bề mặt vật hàn. Đối với khoảng trống giữa vai dụng cụ với bề mặt vật hàn S_s và tốc độ quay của dụng cụ là rất quan trọng trong việc cân bằng giá trị dòng chảy tới Q_r do đầu khuấy tác dụng và giá trị của dòng Q_s tạo ra bởi vai dụng cụ (hình 8). Từ đó, suy ra được điều kiện dòng chảy vật liệu như sau:

$$Q_r - Q_s = 0 \quad (7)$$

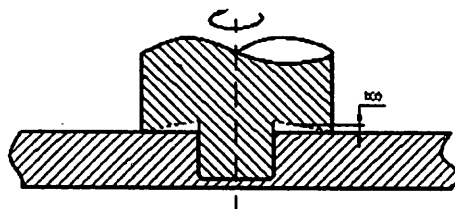
Nếu điều kiện trên không thỏa mãn sẽ dẫn tới dòng kim loại sẽ không điền đầy được đường hàn.

❖ Công thức xác định lưu lượng dòng

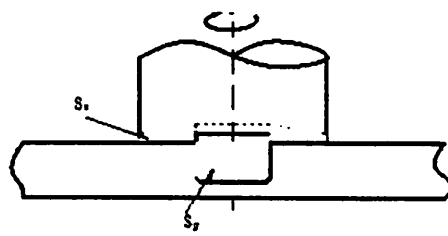
vật liệu tạo ra bởi vai dụng cụ Q_s :

Lưu lượng dòng vật liệu tạo ra bởi vai dụng cụ có thể xác định được giá trị cụ thể nếu ta biết trước hai thông số là vận tốc dòng vật liệu và diện tích mặt cắt S_s chảy qua khe hở của vai dụng cụ.

Trong hình 8, đưa ra trường hợp mặt cắt 90° giữa đầu khuấy và mặt phẳng thẳng đứng.



Hình 8. Mặt cắt thẳng góc giữa dụng cụ và vật hàn.



Hình 9. Phần diện tích S_s và S_p .

2.3. Xây dựng lưu đồ giải thuật

Việc lựa chọn các thông số quá trình hàn và các thông số hình học của dụng cụ dựa vào lưu đồ giải thuật.

Các thông số nhiệt nhập vào liên quan đến nhiệt độ hàn T_s ứng suất của vật liệu σ , hệ số biến dạng vật liệu ϵ_e , khối lượng riêng của vật liệu hàn ρ , nhiệt dung riêng của vật liệu hàn c . Thường thì ta chọn nhiệt độ vào khoảng 0.75 nhiệt độ đường rắn của vật liệu T_s ở nhiệt độ K. Nếu bán kính ban đầu không đạt được nhiệt độ mong đợi trong mô hình nhiệt [6] mô hình tính toán sẽ tự động gia tăng số gia bán kính cho tới

khi đạt được nhiệt độ cần thiết.

3. THỰC NGHIỆM

3.1. Thiết bị dùng để thực nghiệm

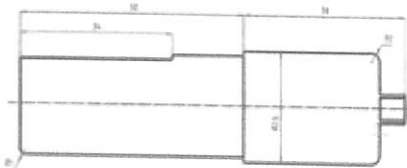
Thiết bị dùng để thực nghiệm là máy phay CNC:



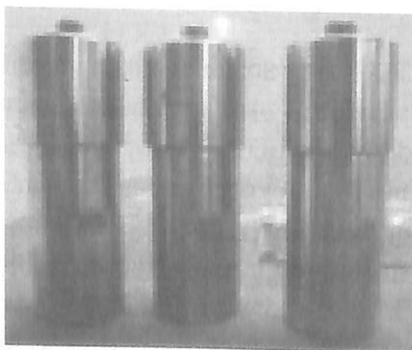
Hình 10. Máy phay CNC

3.2. Dụng cụ hàn và phi hàn

Từ cơ sở lý thuyết trên, nên dụng cụ được chọn để hàn là có vai lõm, biên dạng đầu khuấy là hình trụ có ren. Hình dưới là các dụng cụ được dùng để thực nghiệm và kiểm chứng mô hình:



Hình 11. Hình vẽ dụng cụ điển hình



Hình 12. Một số dụng cụ hàn đã dùng

Thép chế tạo dụng cụ hàn là SKD61. Hàn giáp mí phi nhôm tấm 1050 dày 5mm.

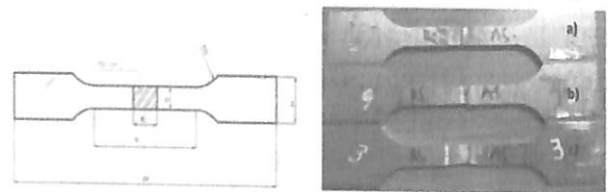
3.3. Phương pháp hàn và chế độ hàn

Mỗi hàn thực hiện là liên kết giáp mí. Miền quy hoạch của các thông số đầu vào được giới hạn như sau: Đường kính vai D: 16,18, 20 (mm). Số vòng quay dụng cụ n: 600, 700, 800 (v/ph). Vận tốc hàn V_h : 60,90,120 (mm/ph). Chiều sâu vai xâm nhập là 0,15 mm. Số thí nghiệm cần thực hiện là: $N = 3^3 = 27$ (thí nghiệm).

3.4. Phương pháp thực nghiệm

Giới hạn bền kéo và giới hạn bền uốn sẽ được chọn là hàm mục tiêu của hệ thống.

Các mẫu thử kéo được cắt ra từ các mối hàn, gia công theo kích thước như hình 2.5 và thử kéo đứt theo tiêu chuẩn TCVN 197: 2002 tại Khoa Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.

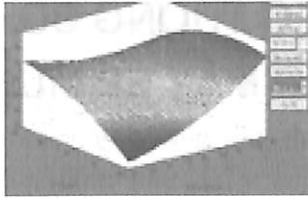


Hình 13. Kích thước mẫu thử và mẫu đã thử kéo

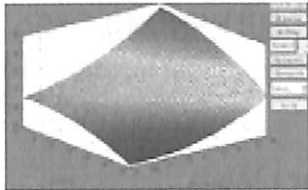
Các phép biến đổi và tính toán phân tích sẽ được giải quyết bằng phần mềm Matlab. Phương trình liên hệ giữa 3 thông số hàn và chất lượng mối hàn:

$$y'' = -359.8796 - 3.7917X_1 + 1.2203X_2 + 0.8667X_3 - 0.0321X_1X_2 + 0.0222X_1X_3 - 0.0009X_2X_3 + 0.7639X_1^2 - 0.0004X_2^2 - 0.0027X_3^2 \quad (8)$$

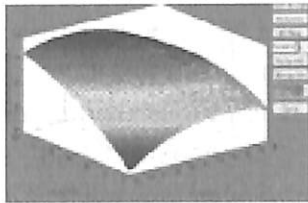
Đồ thị biểu diễn mối liên hệ của từng cặp yếu tố của thông số hàn với hàm mục tiêu như sau:



Hình 14. Sự ảnh hưởng của n và D đến hàm mục tiêu.



Hình 15. Sự ảnh hưởng của V_h và D đến hàm mục tiêu.



Hình 16. Sự ảnh hưởng của V_h và n đến hàm mục tiêu.

Tối ưu nghiệm phương trình (3.1) tìm được miền tối ưu của chế độ hàn như sau: $\sigma_k = 295$ Mpa. tại điểm có các yếu tố thành phần, $D = 20$ mm, $n = 750$ v/p, $V_h = 150$ mm/ph.

Cũng từ đây biết rằng với đường kính vai càng lớn, đòi hỏi số vòng quay càng nhỏ và vận tốc hàn phải phù hợp thì độ bền kéo của mối hàn càng cao.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, với mỗi thông số cụ thể về vật liệu hàn, đặc tính hình học của vật hàn sẽ xác định được các thông số hình học của dụng cụ hàn và thông số công nghệ tương ứng. Sử dụng phần mềm Matlab và các vòng lặp tính toán sẽ đưa ra những thông số hàn thích hợp với điều kiện thỏa mãn các quy tắc hình học và động học đã nêu. Tiến hành lựa chọn lại những giá trị thông số hình học tính toán bằng Matlab, từ đó đưa ra bản vẽ chi tiết dụng cụ hàn, kiểm nghiệm bền cho dụng cụ, chế tạo và thực nghiệm kiểm tra.

Đường kính vai và biên dạng đầu khuấy sẽ quyết định lượng vật liệu biến dạng dẻo và tốc độ hàn, do đó cũng sẽ quyết định đến chất lượng mối hàn.

Tác dụng của ren của đầu khuấy như những “cánh trộn” làm tăng vùng vật liệu bị biến dạng dẻo và sản sinh ra dòng chảy hỗn loạn của vật liệu dẻo sẽ cho mối hàn chất lượng tốt.

Với điều kiện hàn nóng (vòng quay lớn, V_h nhỏ) vật liệu ở vùng giữa vai và bề mặt vật hàn có thể bám vào vai dụng cụ làm cản trở quá trình hàn.

Với điều kiện hàn nguội (tốc độ quay thấp, V_h cao) khuyết tật dễ xảy ra, nguyên nhân là do vật liệu vùng tiến không được đáp ứng đầy đủ, khuyết tật này sẽ giảm khi lực ép tăng.

Từ các kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm cho thấy mô hình tính toán là phù hợp, mối hàn đạt chất lượng cao và không bị khuyết tật. ❖

Ngày nhận bài: 05/9/2018

Ngày phản biện: 18/9/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Mishra, R.S., Ma, Z.Y., “Friction stir welding and processing,” Mat. Sci. & Engr. R., Vol. 50, p.1-78, 2005.
- [2]. C J Dawes and W M Thomas “Development of Improved Tool Designs for Friction Stir Welding of Aluminum” TWI, Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB1 6AL, 1999.
- [3]. J.A. Schneider, A.C. Nunes, Jr. and M.S. Brendel, “The Influence of Friction Stir Weld Tool Form and Welding Parameters on Weld Structure and Properties: Nugget Bulge in Self-Reacting Friction Stir Welds”, 8th International Symposium on Friction Stir Welding MARITIM Seehotel Timmendorfer Strand, Germany, 2010.
- [4]. Aaron, *Experimental measurements of longitudinal load distributions on friction stir weld pin tools*, B. Y. University, 2005.
- [5]. F. Gratecap • G. Racineux • S. Marya, “A simple methodology to define conical tool geometry and welding parameters in friction stir welding”, Int J Mater Form (2008) 1:143–158 DOI 10.1007/s12289-008-0370-z.
- [6]. Lư Phương Minh, Mai Đăng Tuấn, Đào Duy Quý; “Mô hình nhiệt trong hàn ma sát khuấy hợp kim nhôm”, Hội nghị Toàn quốc về Cơ khí- Động lực, 2017.