

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TẦN SỐ RUNG ĐỘNG ĐẾN NHIỆT ĐỘ KHI HÀN SIÊU ÂM NHÔM AL6061

STUDY ON THE EFFECT OF VIBRATION FREQUENCY ON TEMPERATURE DURING ULTRASONIC WELDING OF ALUMINUM AL6061

Huỳnh Văn Nam, Đinh Lê Cao Kỳ

Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Hàn siêu âm đang được sử dụng rộng rãi trong việc liên kết các vật liệu tấm mỏng như các tấm liên kết trong quá trình sản xuất các cụm pin Lithium-ion cho ô tô với hiệu suất tốt, tốc độ sản xuất cao, chất lượng hàn tốt, v.v.. Việc kiểm soát các thông số của quá trình hàn siêu âm đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng đạt được mối nối có chất lượng tốt. Tần số rung động, một trong ba thông số chính trong quá trình hàn siêu âm, được xem là có ảnh hưởng nhiều nhất trong quá trình sinh nhiệt, hình thành mối hàn cũng như quyết định chất lượng mối hàn. Trong báo cáo này, mô hình phần tử hữu hạn ba chiều được xây dựng trên phần mềm Abaqus để mô phỏng quá trình hàn siêu âm nhằm quan sát sự biến thiên nhiệt độ khi tần số rung động thay đổi. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng tần số rung động có ảnh hưởng lớn đến sự tạo nhiệt trong quá trình hàn, đây là kết luận quan trọng để xác định chất lượng cuối cùng của mối hàn.

Từ khóa: Hàn siêu âm; Phần tử hữu hạn; Mô phỏng; Biến thiên nhiệt độ; Abaqus.

ABSTRACT

Ultrasonic welding offers a highly efficient and rapid solution for joining thin sheets, making it ideal for applications like lithium-ion battery pack assembly in automobiles. This process delivers exceptional weld quality, but achieving optimal results hinges on precise control of its parameters. Vibration frequency, one of the three critical parameters, exerts the strongest influence on heat generation, weld formation, and ultimately, the quality of the final joint. This report details the development of a 3D finite element model using Abaqus software to simulate ultrasonic welding and examine temperature variations under different vibration frequencies. The simulations demonstrate a significant correlation between vibration frequency and heat generation, highlighting its crucial role in achieving high-quality welds.

Keywords: Ultrasonic Welding; Finite Element; Simulation; Temperature Variation; Abaqus. 

1. TỔNG QUAN

Với nhu cầu phát triển không ngừng về việc sử dụng năng lượng hiệu quả, đáp ứng tiêu chuẩn khí thải thấp, xe điện hybrid và xe điện (PHEV, EV) đã tạo ra những khả năng mới trong lĩnh vực sản xuất. Những loại xe này cần các cụm pin Lithium-ion như giải pháp để lưu trữ năng lượng cần thiết nhằm thực hiện các chuyển động đạt được công suất mong muốn. Cụm pin thường được tạo thành từ một lượng lớn các ô pin đơn lẻ. Với tính dẫn điện và dẫn nhiệt cao, nhôm là vật liệu rất thích hợp cho việc tạo mối nối giữa các ô pin đơn lẻ lại với nhau trong quá trình sản xuất pin. Việc sử dụng để nối các tấm nhôm mỏng lại với nhau bằng các quy trình hàn truyền thống gặp nhiều khó khăn vì nhiệt độ cao làm suy giảm cơ tính vật liệu tại vùng tạo thành mối hàn và dẫn đến giảm khả năng liên kết của các mối hàn được gia công.

Để khắc phục các khuyết tật như nứt do hóa rắn nhanh, nứt vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và lỗ rỗng ở mối nối khi hàn MIG và TIG, hàn siêu âm được sử dụng để nối các tấm mỏng hợp kim nhôm AA6061-T6 lại với nhau [1]. Fujii [2] sử dụng phương pháp hàn siêu âm để liên kết hợp kim nhôm và thép không gỉ. Quá trình này làm tăng độ bền mối hàn khi năng lượng hàn ở một mức độ nhất định. Zhou [3] sử dụng hàn siêu âm để liên kết hiệu quả các tấm hợp kim nhôm (Al) với tấm titan (Ti). Điều đáng chú ý là tại vùng hàn không chứa bất kỳ kim loại trung gian nào. Zhang et al. [4] đã tiến hành đánh giá độ cứng, khả năng chịu cắt và năng lượng phá hủy của mối hàn AA2139-TiAl6V4 được liên kết bằng phương pháp hàn siêu âm. Nhờ đặc tính không hình thành hợp chất kim loại giòn trong trường hợp hợp kim nhôm-titan (Al-Ti), mối hàn Al-Ti thể hiện độ bền vượt trội so với các mối nối không đồng loại khác như Al-Mg và Al-Fe.

Từ các công trình đã công bố, ảnh hưởng của tần số tác động như thế nào lên quá trình hàn vẫn chưa được làm rõ. Cũng cần lưu ý rằng các công trình được công bố chỉ xem xét các mô hình đơn giản, khó để áp dụng cho sản xuất công nghiệp, đặc biệt là ô tô với sự yêu cầu cao về năng suất, độ chính xác và chất lượng thành phẩm. Do đó, mô hình 3D kết hợp nhiệt – cơ được xây dựng để xác định ảnh hưởng của tần số lên sự biến thiên nhiệt độ trong quá trình hàn siêu âm giữa các tấm nhôm mỏng. Các mô phỏng phần tử hữu hạn được thực hiện với phần mềm Abaqus.

2. MÔ HÌNH HÀN SIÊU ÂM

2.1. Quá trình hàn siêu âm

Hàn siêu âm là một phương pháp hàn sử dụng năng lượng siêu âm để tạo mối liên kết giữa hai hoặc nhiều vật liệu với nhau mà không cần sử dụng nhiệt từ bên ngoài hoặc thêm chất kết dính. Phương pháp này thường được sử dụng cho các vật liệu như nhựa, composite và kim loại, đặc biệt là rất hiệu quả khi có yêu cầu nối các vật liệu mỏng hay các vật liệu có tính chất khác nhau.

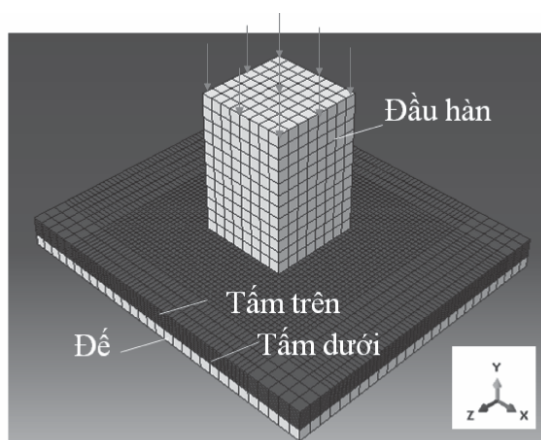
Quá trình hàn này bao gồm hai giai đoạn chính là kẹp và tạo rung động. Với giai đoạn kẹp, áp lực được tác dụng lên bề mặt tấm thông qua đầu hàn nhằm giữ cố định các tấm và gây biến dạng dẻo hỗ trợ cho việc liên kết giữa các tấm. Với giai đoạn tạo rung động, rung động của đầu hàn với biên độ và tần số xác định tạo ra nhiệt do ma sát và làm tăng nhiệt độ tại mặt tiếp xúc giữa các tấm với nhau. Do đó, ảnh hưởng đồng thời cơ – nhiệt được xem xét chi tiết trong quá trình hàn.

2.2. Mô hình 3D

Để nghiên cứu biến thiên nhiệt độ của

vật liệu trong quá trình hàn siêu âm, mô hình 3D được xây dựng trên phần mềm Abaqus. Mô hình được phát triển có khả năng thay đổi các thông số đầu vào nhằm quan sát sự thay đổi nhiệt độ trong khi hàn. Hình 1 minh họa mô hình 3D cho quá trình hàn. Cả đầu hàn và đế đều có dạng mặt phẳng và được xem là cứng tuyệt đối trong khi hàn. Tấm nhôm được đặt như trên hình 2 với kích thước 30×26 mm và độ dày 0,8 mm. Kích thước của đầu hàn được đặt là 8×8 mm với chiều cao là 12 mm, trong khi kích thước 30×26 mm với độ dày 1 mm cho đế. Bảng 1 trình bày Tính chất nhiệt và cơ lý của nhôm Al 6061 (2 tấm trên-dưới) và thép (đầu hàn và đế).

Tính chất nhiệt	Vật liệu	
	Al 6061	Thép
Hệ số dẫn nhiệt	235 W/m.K	80 W/m.K
Hệ số giãn nở vì nhiệt	$23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Nhiệt dung riêng	896 J/kg.K	440 J/kg.K
Khối lượng riêng	2700 kg/m ³	7800 kg/m ³
Tính chất cơ		
Mô-đun đàn hồi	66,24 GPa	200 GPa
Hệ số Poisson	0,33	0,27

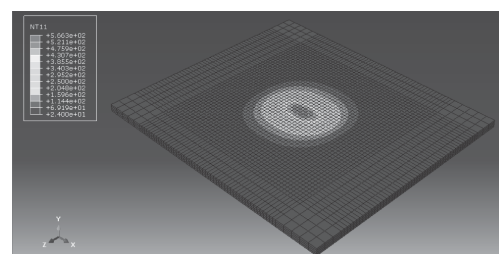


Hình 1 Mô hình phần tử hữu hạn trên Abaqus

Để được cố định hoàn toàn trong cả hai giai đoạn khi hàn. Tấm trên và tấm dưới không bị giới hạn chuyển vị theo phương Y ở giai đoạn kẹp và không bị giới hạn chuyển vị theo phương X và Y ở giai đoạn tạo rung động. Đầu hàn thực hiện việc kẹp bằng việc đặt áp lực ở mặt trên trong giai đoạn kẹp, giữ nguyên áp lực này và tạo rung động với tần số và biên độ mong muốn ở giai đoạn tiếp theo.

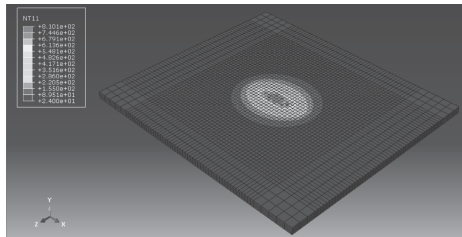
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tính chất của mối hàn siêu âm phụ thuộc rất nhiều với sự thay đổi của các thông số đầu vào như áp lực kẹp, tần số và biên độ. Trong quá trình hàn siêu âm giữa các tấm kim loại, tần số từ 15 đến 60 kHz thường được sử dụng [5, 6]. Trong bài báo này, quá trình hàn siêu âm được phân tích trong 0,03 giây với ba giá trị tần số rung động khác nhau bao gồm 15, 20 và 25 kHz. Phân bố nhiệt độ với các tần số rung động khác nhau được minh họa trong hình 2. Có thể thấy từ hình 2 rằng tần số có ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ trong quá trình hàn. Sự tăng nhiệt độ là do tần số liên quan trực tiếp đến lượng nhiệt ma sát sinh ra do vận tốc trượt giữa các tấm nhôm với nhau. Khi tần số rung động tăng lên, nhiệt sinh cũng tăng theo. Hình 3 minh họa sự biến thiên nhiệt độ tại tâm vùng hàn. Nhiệt độ tối đa ở tần số 25 kHz quan sát là 886°C cao hơn khoảng 320°C so với nhiệt độ tối đa ở tần số 15 kHz là 566°C . Cũng nên chú ý rằng, phân bố nhiệt độ cao nhất xảy ra ở tâm của các tấm, là nơi tiếp xúc giữa đầu hàn và đế.

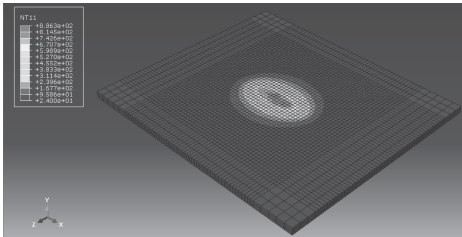


a) $f = 15$ kHz



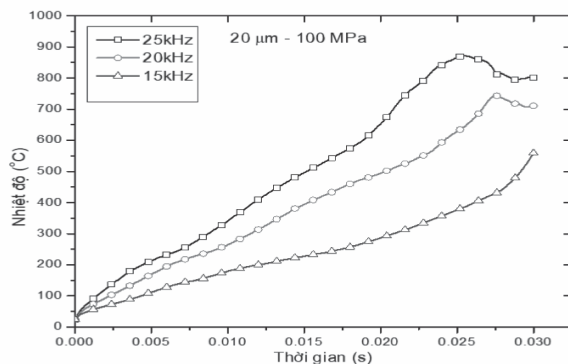


b) $f = 20 \text{ kHz}$



c) $f = 25 \text{ kHz}$

Hình 2. Phân bố nhiệt độ của tấm dưới với tần số 15, 20 và 25 kHz



Hình 3. Nhiệt độ tại tâm vùng hàn

4. KẾT LUẬN

Kiểm soát các thông số đầu vào trong quá trình hàn siêu âm nhằm đảm bảo rằng các tính chất sản phẩm cần thiết được đáp ứng với chi phí sản xuất tối thiểu. Trong bài báo này, các lý thuyết phân tử hữu hạn được sử dụng phân tích phân tử hữu hạn cho mô phỏng hàn siêu âm của các tấm nhôm đã được thực hiện. Phân bố nhiệt độ quan sát được bằng cách sử dụng phân tích phân tử hữu hạn trên phần mềm Abaqus. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng tần số

rung động có ảnh hưởng lớn đến khả năng sinh nhiệt trong quá trình hàn, đây là điều quan trọng để xác định chất lượng cuối cùng của mối hàn. Kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy rằng mô hình được đề xuất có khả năng dự đoán tác động của các thông số hàn khác nhau đối với các tính chất của mối nối được sản xuất bằng cách nghiên cứu phân bố nhiệt độ của các tấm nhôm. ❖

Ngày nhận bài: 10/4/2024

Ngày phản biện: 27/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Bakavos, D., & Prangnell, P. B. (2010). *Mechanisms of joint and microstructure formation in high power ultrasonic spot welding 6111 aluminium automotive sheet*. Materials Science and Engineering: A, 527(23), 6320-6334.
- [2]. Fujii, H. T., Goto, Y., Sato, Y. S., & Kokawa, H. (2016). *Microstructure and lap shear strength of the weld interface in ultrasonic welding of Al alloy to stainless steel*. Scripta Materialia, 116, 135-138.
- [3]. Zhou, L., Min, J., He, W. X., Huang, Y. X., & Song, X. G. (2018). *Effect of welding time on microstructure and mechanical properties of Al-Ti ultrasonic spot welds*. Journal of Manufacturing Processes, 33, 64-73.
- [4]. Zhang, C. Q., Robson, J. D., & Prangnell, P. B. (2016). *Dissimilar ultrasonic spot welding of aerospace aluminum alloy AA2139 to titanium alloy TiAl6V4*. Journal of Materials Processing Technology, 231, 382-388.
- [5]. Elangovan, S. (2014). *Experimental and theoretical investigations on temperature distribution at the joint interface for copper joints using ultrasonic welding*. Manufacturing Review, 1, 18.
- [6]. Kim, T. H., Yum, J., Hu, S. J., Spicer, J. P., & Abell, J. A. (2011). *Process robustness of single lap ultrasonic welding of thin, dissimilar materials*. CIRP Annals, 60(1), 17-20.