

THIẾT KẾ CHẾ TẠO ĐẦU RUNG SIÊU ÂM ỨNG DỤNG CHO HÀN VẮY THIẾT BẰNG THÉP HỢP KIM CRÔM

DESIGNING AND FABRICATING ULTRASONIC VIBRATION HORNS FOR TIN SOLDERING WELDING USING CHROMIUM STEEL ALLOY

Nguyễn Thanh Hải^{1*}, Trương Đăng Khoa¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM

*Tác giả liên hệ: haint@hcmut.edu.vn

(Nhận bài: 11/10/2020; Chấp nhận đăng: 05/12/2020)

Tóm tắt - Hàn vảy thiết có hỗ trợ siêu âm được ứng dụng để hàn các vật liệu khó hàn bằng công nghệ hàn vảy mềm như đồng với nhôm, nhôm với kính. Dưới tác dụng của sóng dao động siêu âm, lớp oxit trên bề mặt vật liệu nền bị xâm thực do hiện tượng cavitation. Vảy thiết khi đó sẽ bám và dính chặt trên bề mặt kim loại nền xâm thực, tạo thành mối hàn vảy thiết. Bài báo này trình bày phương pháp thiết kế đầu rung siêu âm bằng vật liệu thép hợp kim crom độ bền cao. Đầu rung siêu âm hoạt động ở tần số 28kHz, chiều dài đầu rung là bội số của nửa bước sóng được tính toán và mô phỏng bằng phần mềm Abaqus. Đầu rung siêu âm được chế tạo và kiểm tra hoạt động trên nguồn phát siêu âm công suất 400W. Kết quả mối hàn vảy thiết siêu âm dính chặt trên bề mặt kính.

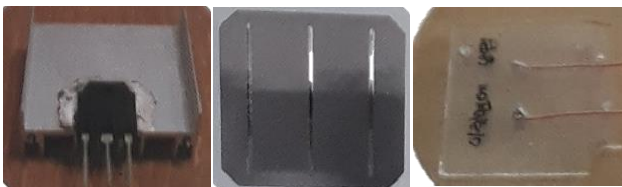
Từ khóa - Hàn vảy thiết; siêu âm; dao động; dây nhôm; Abaqus

Abstract - Ultrasonic-assisted soldering welding is widely applied in joining tough materials using the soft joint technology such as copper-aluminium, aluminium-glass wires or plates. Under the impact of ultrasonic vibration, the oxide layer on the surfaces of the materials are eroded by cavitation, thus forming ultrasonic soldering joints. This article presents a method for designing the ultrasonic vibration horn using high strength chromium steel alloy. The ultrasonic horn operates with its frequency of 28 kHz and its length equal to a multiple of a half-wavelength by means of the Abaqus software. The ultrasonic horn is fabricated and controlled via a source of ultrasonic emission with a capacity of 400W. As a result, ultrasonic soldering welding joint stick closely to the glass surface.

Key words - Tin soldering welding; ultrasonic; vibration; Al wires; Abaqus

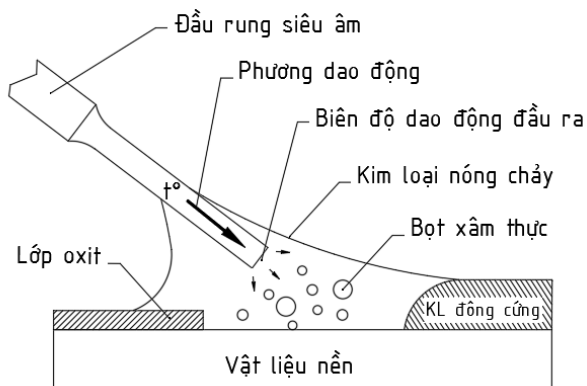
1. Giới thiệu

Hàn vảy thiết hàn các vật liệu khó hàn như nhôm-nhôm, kính-dây đồng, tấm solar – dây đồng, Hình 1.



Hình 1. Ứng dụng của hàn vảy thiết cầm tay

Hàn vảy thiết siêu âm tạo ra liên kết liên kim được hình thành khi lớp oxit của vật liệu nền bị xâm thực thông qua tác nhân siêu âm, Hình 2.



Hình 2. Nguyên lý hàn vảy thiết siêu âm

Trên thế giới, việc hàn không chất khử oxit bằng siêu âm dường như đã được thử nghiệm lần đầu tiên ở Đức vào năm 1936. Kể từ đó nhiều thiết bị đã được chế tạo với mục đích chính là loại bỏ chất khử oxit trong quá trình hàn thông thường [1]. Năm 1996 nhóm của Vianco [2] đã nghiên cứu việc sử dụng xâm thực siêu âm để hàn phủ lên mặt kim loại mà không cần sử dụng chất khử oxit. Các nghiên cứu cơ bản trên đồng cho thấy việc loại bỏ oxit và hàn nhúng là kết quả của cả sự ăn mòn cơ học và của năng lượng siêu âm từ đầu rung vào chất nền. Hiệu quả hàn phụ thuộc vào mức công suất, khoảng cách đầu rung và hình dạng hình học. Nghiên cứu trường hợp sử dụng hàn vảy siêu âm trong băng đồng của mạch in và linh kiện điện tử. Năm 2012, nhóm của Hahnen [4] nghiên cứu hàn hợp kim niken-titan (NiTi) ứng dụng trong các bộ nhớ bán dẫn. Nghiên cứu này khảo sát sự liên kết của NiTi và Al 2024 bằng phương pháp hàn vảy siêu âm. Các mối hàn vảy được đánh giá thông qua kiểm tra độ bền, kính hiển vi quang học, kiểm tra độ cứng và ứng suất tương đương Von-Mises. Năm 2017, thiết bị hàn vảy thiết được thiết kế và chế tạo tại Việt Nam [5]. Năm 2019, nhóm của Maassen [6] đã phân tích phần tử hữu hạn của dao động siêu âm và so sánh với thực nghiệm. Tiếp cận qua 2 cách: (1) Sử dụng mô hình hoá một chiều để tối ưu hoá hình dạng đầu hàn, cộng hưởng với bộ chuyển đổi dao động siêu âm, để năng lượng truyền tối đa; (2) Sử dụng mô hình ba chiều để tính toán đáp ứng tần số trong cụm chất hàn và áp lực sóng âm trong chất hàn lỏng. Áp lực sóng âm là đại lượng cho sự xâm thực và do đó ảnh hưởng đến độ bền của liên kết. Các mô phỏng cho thấy, áp lực

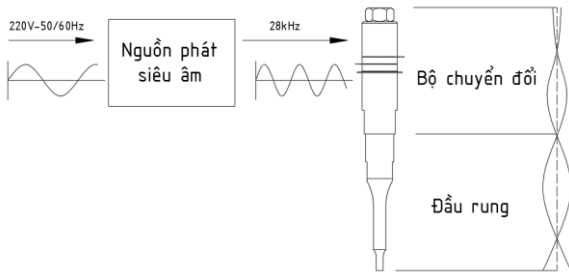
¹ Vietnam National University HCMC-University of Technology (Nguyen Thanh Hai, Truong Dang Khoa)

sóng âm giảm khi chiều cao của đầu hàn tăng, điều này tương quan với thực tế khi chất lượng liên kết môi hàn cũng giảm khi chiều cao đầu hàn tăng lên.

Thiết kế máy hàn siêu âm vậy thiếc, chi tiết quan trọng nhất là đầu rung siêu âm. Do đó, việc nghiên cứu thiết kế đầu rung siêu âm là thực sự cần thiết.

2. Thiết kế đầu rung siêu âm

Nguyên lý hoạt động của hệ siêu âm như Hình 3: Nguồn phát siêu âm nhận nguồn điện xoay chiều 220V/50Hz và biến chúng thành tần số 28 kHz. Năng lượng này được truyền tới bộ chuyển đổi gồm áp điện, giúp chuyển đổi dao động điện thành dao động cơ cùng tần số. Biên độ dao động cơ ở đầu ra của bộ chuyển đổi được khuếch đại và truyền qua đầu rung đến bề mặt làm việc.



Hình 3. Nguyên lý phát siêu âm

Đầu rung đóng vai trò rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm và khả năng công nghệ. Đầu rung được thiết kế tùy thuộc vào vị trí gá đặt, không gian sử dụng và sản phẩm ứng dụng.

Ở đây, đầu rung siêu âm dạng thanh làm việc theo nguyên lý truyền sóng dọc trên thanh trụ tròn tại tần số 28kHz, hệ số khuếch đại (gain) được xác định bởi tỷ lệ giữa biên độ đầu ra so với biên độ đầu vào bằng cách điều chỉnh mật cắt ở đầu vào và đầu ra. Đối với một tần số âm cố định, chiều dài đầu rung siêu âm được tính như sau:

$$l = \frac{n}{2f_n} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [3]$$

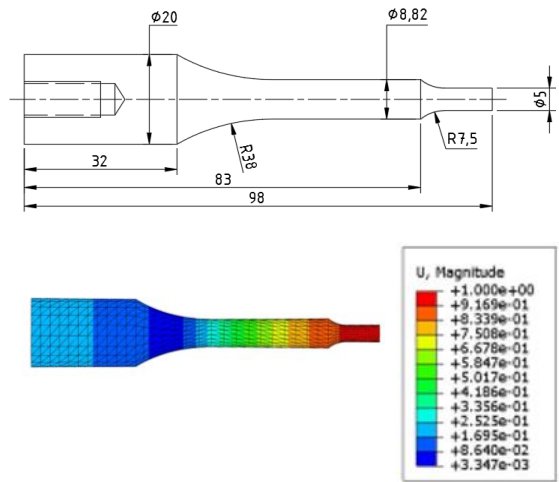
Trong đó, tần số tự nhiên f_n phụ thuộc vào module đàn hồi E và khối lượng riêng của vật liệu ρ . Công thức chỉ chính xác đối với chi tiết mode-order (n) thấp tức là có chiều dài thanh gấp nhiều lần đường kính.

Đầu rung siêu âm được thường được chế tạo bằng hợp kim titan, hợp kim nhôm hoặc thép hợp kim crom. Trong đó thép hợp kim crom là loại vật liệu dễ tìm ở Việt Nam, được độ bền mỏi và mài mòn trong thời gian dài nên được chọn làm vật liệu chính trong nghiên cứu.

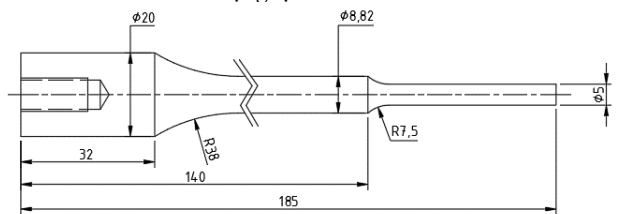
Thiết kế của bộ chuyển đổi là thiết cơ tiêu chuẩn cho tần số 28kHz, đầu ra kích thước 20mm, kích thước làm việc của đầu rung chọn 5mm, hệ số khuếch đại tính được là 1,5. Đầu rung siêu âm được thiết kế và kết quả mô phỏng Modal Analysis trên phần mềm Abaqus, với lần lượt các bước sóng là 0.5λ, 1λ, 1.5λ và 2λ – Hình 4-7.

Bảng 1. Các thông số sử dụng trong mô phỏng

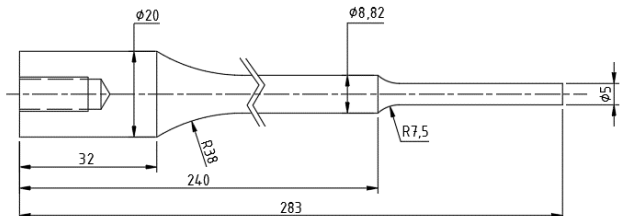
Vật liệu	Module đàn hồi (GPa)	Khối lượng riêng (Kg/m ³)	Hệ số poisson
Thép SCM440	210	7850	0,3



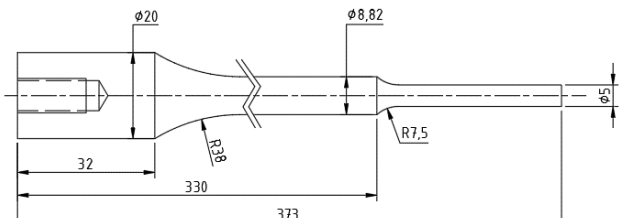
Hình 4. Thiết kế và kết quả mô phỏng đầu rung 0.5λ – mode dao động tại 27916 Hz



Hình 5. Thiết kế và kết quả mô phỏng đầu rung λ – mode dao động tại 28259 Hz



Hình 6. Thiết kế và kết quả mô phỏng đầu rung 1.5λ – mode dao động tại 27990 Hz

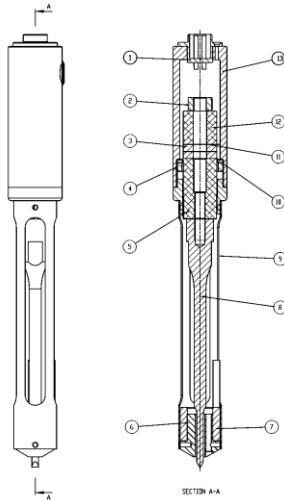


Hình 7. Thiết kế và kết quả mô phỏng đầu rung 2λ – mode dao động tại 27793 Hz

Kết quả mô phỏng cho thấy, đầu cuối cùng sẽ có biên độ dao động lớn nhất và là nơi có ứng suất nhỏ nhất. Các điểm nút giữa của thanh có biên độ dao động thấp với ứng suất lớn nhất và là khu vực dễ hư hỏng của đầu rung, cũng là nơi hình thành các vết nứt. Đối với các đầu rung với các bước sóng khác nhau, cho ra các kích thước chiều dài khác

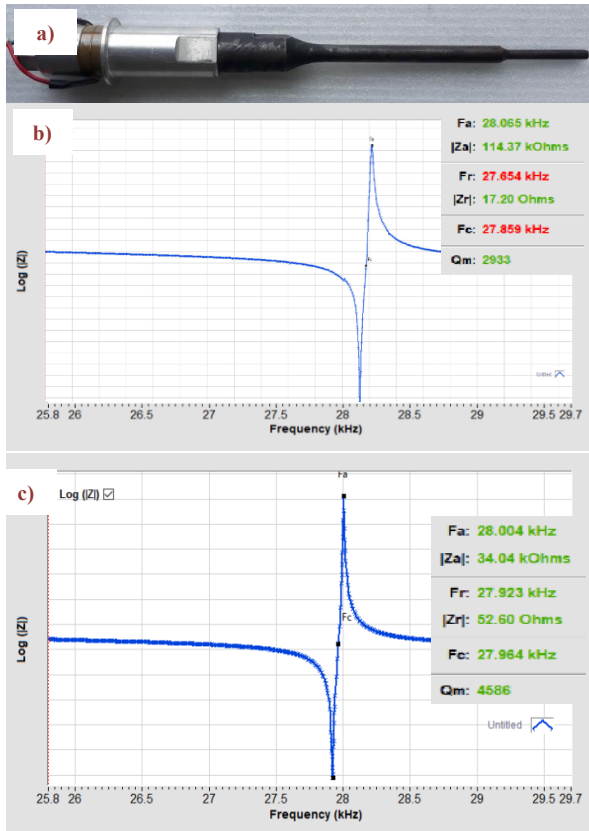
nhau, từ đó có thể chọn được đầu rung chiều dài $1,5 \lambda$ do có vị trí ứng suất lớn nhất vừa phải – 2 vị trí, kích thước phù hợp với cơ cấu gá đặt và không quá lớn so với một súng hàn nhiệt thuần túy.

Đầu rung được thiết kế lắp vào súng hàn, Hình 8, với các bộ phận chính: (1) Công kết nối; (2) Đai ốc M10; (3) Vòng thạch anh $25 \times 10 \times 5$; (4) Đai ốc M35; (5) Khối nhôm 02; (6) Đầu truyền nhiệt trung gian; (7) Trờ nhiệt; (8) Đầu rung siêu âm; (9) Ống inox; (10) Đệm nhựa; (11) Lá đồng; (12) Khối nhôm 01; (13) Vỏ nhựa.



Hình 8. Sơ đồ các bộ phận chính của súng hàn

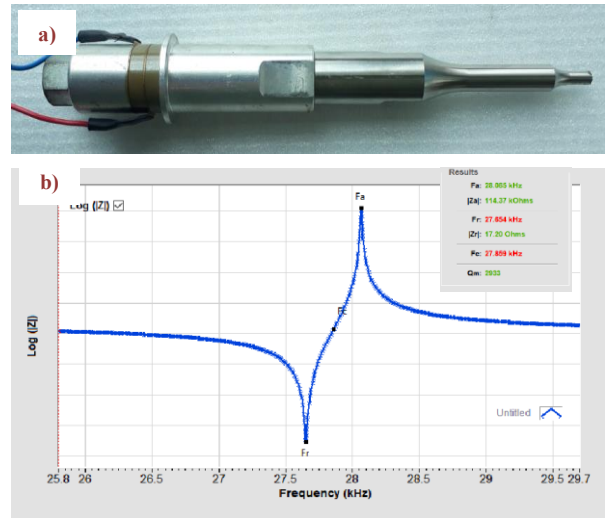
3. Chế tạo



Hình 9. Đầu rung thép $1,5 \lambda$ (a), và kết quả đo impedance trước (b) - sau (c) khi nhiệt luyện

Đầu rung siêu âm được gia công từ thanh thép tròn SCM440, độ vuông góc lỗ ren và độ nhám bề mặt giữa phần tiếp xúc bộ chuyển đổi và đầu rung rất quan trọng.

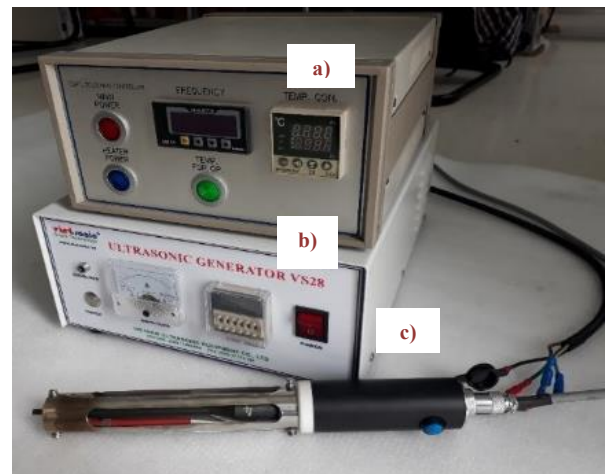
Nhằm tăng độ bền, đầu rung được nhiệt luyện. Sau khi nhiệt luyện, tần số giảm xấp xỉ 200Hz, kết quả mô phỏng và thực tế là gần nhau, do có sai số trong các thông số vật liệu.



Hình 10. Đầu rung titan $0,5 \lambda$ (a) và kết quả đo impedance (b)

4. Kết quả

Máy được gia công và lắp ráp, Hình 11. Bao gồm bộ điều khiển nhiệt (a), nguồn phát siêu âm (b) và súng hàn cầm tay (c).



Hình 11. Máy hàn vẩy thiếc cầm tay 28kHz

Hệ siêu âm 28kHz với công suất 400W, nguồn điện 220V/50Hz, bao gồm nguồn phát, bộ chuyển đổi được phát triển bởi Công ty TNHH Thiết Bị Siêu Âm Việt Nam.

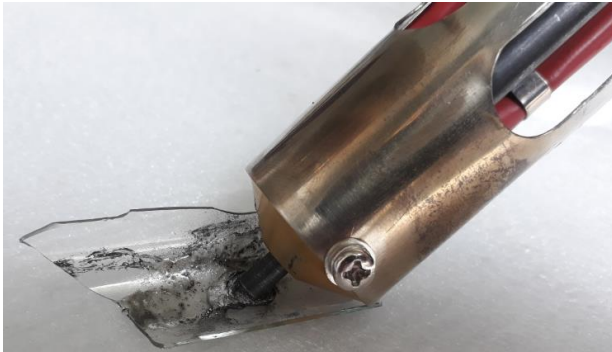
Bộ điều khiển nhiệt được thiết kế và lắp ráp bằng các linh kiện tại Việt Nam, công suất trở nhiệt 100W, nhiệt độ tối đa 400°C.

4.1. Các nguyên tắc vận hành

Khi bắt đầu thí nghiệm, bộ gia nhiệt sẽ được khởi động trước 15'. Sau khi đầu rung được nung nóng và có khả năng làm thiếc chảy lỏng khi tiếp xúc. Trước khi bắt đầu quy trình hàn, thời gian dao động siêu âm của đầu rung sẽ được

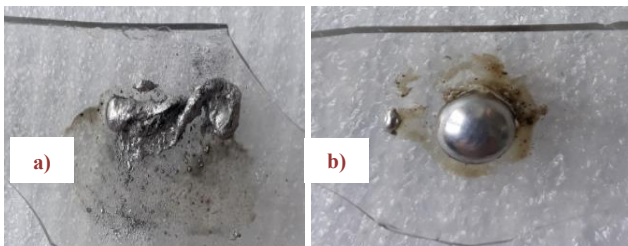
cài đặt trên timer ở bộ phát siêu âm, dao động sẽ tự tắt sau một khoảng thời gian nhất định. Đầu rung sẽ tiếp xúc với thiếc hàn trước, tạo ra thiếc hàn chảy lỏng tiếp xúc với vật hàn trước khi phát siêu âm.

Các thông số công nghệ: Thời gian chờ trước khi hàn từ > 3s, thời gian phát siêu âm từ 0,1s đến 40s, nhiệt độ đầu hàn từ 250- 350°C.



Hình 12. Quá trình hàn vảy thiếc trên mảnh kính

4.2. Mẫu hàn



Hình 13. Mẫu hàn vảy thiếc (a) có siêu âm và (b) không siêu âm
Kết quả thể hiện trong Hình 13, với vết hàn có siêu âm,

thiếc hàn bám được lên các bề mặt của tấm kính. Khi không có siêu âm, thiếc hàn tạo thành khối cầu, không bám lên bề mặt kính.

5. Kết luận

Nhóm tác giả đã thiết kế và chế tạo đầu rung siêu âm cho phương pháp hàn vảy thiếc. Quá trình thiết kế và mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm Abaqus. Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo thành công đầu rung siêu âm với tần số 28 kHz. Đầu rung siêu âm sau đó được ứng dụng cho hàn vảy thiếc trên nền kính bước đầu cho kết quả tốt.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số B2019-20-08.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. N. Antonevich, "Fundamentals of Ultrasonic Soldering", *Welding research supplement*, pp. 200-207, 1976.
- [2] By P.T Vianco, F.M. Hosking and J.A Rejent, "Ultrasonic Soldering for Structural Electronic Applications and Fundamental experiments and two case studies illustrate the feasibility of ultrasonic activation for fluxless solder processing" pp. 343-355, 1996.
- [3] McCulloch, "Experimental and finite element modelling of ultrasonic cutting of food", PhD thesis, University of Glasgow, 2008.
- [4] By R. Hahnlen, G. Fox, and M. Dapino, "Shape memory alloy and aluminum joints were soldered with a fluxless process and analyzed for strength and hardness", *Welding Journal*, 2012.
- [5] Nguyễn Thanh Hải and Nguyễn Dương Nam, "Nghiên cứu thiết bị hàn vảy thiếc siêu âm," Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, Hà Nội, vol. Tập 3. *Cơ học Thủy khí*, pp. 1-6, 2017.
- [6] Ken F. Maassen, "Acoustic analysis of ultrasonic assisted soldering for enhanced adhesion", *Ultrasonics*, Volume 101, February 2020, 106003.