

THÔNG TIN LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Đề tài nghiên cứu: **ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ CHÍNH ĐẾN CHẤT LƯỢNG MÔI HÀN SIÊU ÂM ĐỐI VỚI VẢI KHÔNG DỆT.**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật Cơ khí**

Mã số chuyên ngành: **62.52.01.03**

Họ và tên NCS: **LÊ QUANG THÀNH**

Tập thể hướng dẫn: **PGS. TS. NGUYỄN HỮU LỘC**
TS. NGUYỄN THANH HẢI

Cơ sở đào tạo: **Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh**

TÓM TẮT LUẬN ÁN

Chương 1: Tổng Quan

Chương này trình bày về tính cấp thiết và lý do chọn đề tài nghiên cứu phương pháp hàn siêu âm cùng sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình hàn siêu âm;

Mục tiêu nghiên cứu của luận án bao gồm: nghiên cứu cơ sở lý thuyết quá trình hàn siêu âm; nghiên cứu chế tạo khuôn hàn siêu âm tần số 20 kHz; thực nghiệm hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt; phân tích chất lượng đường hàn với các bộ thông số công nghệ chính; tối ưu các thông số công nghệ chính sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD.

Nội dung nghiên cứu của luận án bao gồm: khảo sát các ứng dụng hàn siêu âm áp dụng cho nhựa nhiệt dẻo, vải không dệt; nghiên cứu cơ sở lý thuyết hàn siêu âm, vật liệu nhựa nhiệt dẻo; nghiên cứu, thiết kế và chế tạo khuôn hàn siêu âm dọc trục và hướng kính; tối ưu các thông số công nghệ chính sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD nhằm xác định độ bền kéo phù hợp theo yêu cầu.

Luận án còn trình bày về nhựa nhiệt dẻo và khả năng hàn của nhựa nhiệt dẻo, các thông số của vật liệu ảnh hưởng đến quá trình hàn. Đặc biệt đối với nhựa PP nếu ứng dụng tần số hàn là 20 kHz thì biên độ hàn được khuyến dùng nên từ 38 μm .

Các phương pháp hàn nhựa nhiệt dẻo khác nhau hiện nay đang sử dụng cũng được trình bày tóm tắt về nguyên lý và phân tích sơ lược ưu nhược điểm. Đối với vật liệu có màng mỏng

dạng tấm như vải không dệt chẳng hạn thì phương pháp hàn siêu âm là nhanh chóng và hiệu quả nhất.

Ngoài ra, luận án còn tóm tắt tổng quan về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về phương pháp hàn siêu âm trong thời gian gần đây. Đánh giá, phân tích về xu hướng nghiên cứu về hàn siêu âm đối với vật liệu nhựa nhiệt dẻo.

Chương 2: Cơ Sở Lý Thuyết Và Thiết Kế Hàn Siêu Âm Nhựa Nhiệt Dẻo

Chương 2 trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp hàn siêu âm, trong đó bao gồm: nguyên lý hàn siêu âm, nguồn hàn siêu âm (chuyển đổi dòng điện có tần số từ 50 Hz thành dòng điện có tần số 20 kHz), bộ chuyển đổi từ dao động điện sang dao động cơ, bộ khuếch đại dao động giúp biên độ ban đầu khoảng 22 μm lên gấp 2 lần, cách tính toán thiết kế các loại khuôn hàn siêu âm và vùng định hướng năng lượng cho đường hàn siêu âm.

Chương 2 còn giới thiệu về các thông số công nghệ của quá trình hàn siêu âm, phân loại phương pháp hàn siêu âm như: hàn xa - hàn gần, hàn liên tục - hàn gián đoạn, ...

Ngoài ra, vật liệu nhựa nhiệt dẻo cũng đã được trình bày trong luận án với các tính chất và đặc điểm đặc trưng của nhựa nhiệt dẻo như: tính đàn nhớt, cấu trúc, ...

Vật liệu làm khuôn hàn siêu âm cho vải không dệt được lựa chọn là nhôm hợp kim 7075 và chi tiết quá trình thiết kế khuôn hàn rộng bản (là loại khuôn phục vụ cho quá trình hàn gián đoạn) để hàn vật liệu vải không dệt.

Quy trình thiết kế phân tích khuôn hàn siêu âm từ việc thiết kế sơ bộ trên phần mềm CARD đến các bước mô phỏng tính toán quá trình hoạt động trên phần mềm Abaqus đã được trình bày chi tiết. Đề hàn để định dạng hình dáng đường hàn với các loại khác nhau cũng đã được tính toán, thiết kế và chế tạo.

Chương 3: Đối Tượng Và Phương Pháp Nghiên Cứu

Chương 3 tập trung nghiên cứu về vật liệu vải không dệt (cụ thể là vải không dệt PP có định dạng 70 GSM), quy trình sản xuất vải không dệt bằng công nghệ phun ép và các phương pháp thử độ bền của vải không dệt đã được nghiên cứu. Bên cạnh đó các dạng hỏng thông thường của các sản phẩm vải không dệt, các tiêu chuẩn thử nghiệm đối với vật liệu vải không dệt cũng đã được trình bày.

Đối với thiết bị thí nghiệm để tạo đường hàn, luận án đã trình bày ba loại máy hàn siêu âm.

- Máy hàn siêu âm gián đoạn dạng đứng có công suất hàn tối đa 2 kW, tần số dao động 20 kHz, thời gian hàn và giữ có thể được điều chỉnh từ 0,2 s đến 4 s, áp lực hàn tối đa là 5 kG/cm².

• Máy hàn siêu âm liên tục dọc trục và máy hàn siêu âm hướng kính có tần số và công suất của máy lần lượt là 20 kHz và 1 200 W; giá trị tối đa của biên độ dao động cơ học trên bề mặt của khuôn siêu âm là 60 μm ; tốc độ con lăn được kiểm soát và điều chỉnh ở mức 6m/min; áp suất không khí trong hệ thống khí nén để tạo áp lực hàn từ con lăn (đè) lên khuôn hàn tối đa có thể đạt được 5 kG/cm^2 .

Cơ sở cho phương pháp xử lý số liệu chuẩn cũng đã được trình bày trong Chương 3 bao gồm các bước tiến hành quy hoạch thực nghiệm, sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD đánh giá mức độ ảnh hưởng từng nhân tố và thu được phương trình hồi quy bậc hai, từ đó lựa chọn dạng mẫu hàn hợp lý và xác định miền các thông số công nghệ tối ưu cho quá trình hàn siêu âm đối vật liệu vải không dệt.

Cuối cùng là các thiết bị hỗ trợ cho quá trình xác định độ bền của đường hàn, phân tích hình ảnh tế vi của đường hàn cũng được luận án giới thiệu như: máy kéo đa năng nhãn hiệu Instron - 3369, kính hiển vi điện tử quét (FE - SEM) nhãn hiệu HITACHI S – 4800.

Chương 4: Kết Quả Nghiên Cứu Và Thực Nghiệm

Chương 4 lần lượt giới thiệu về quá trình thiết kế, mô phỏng, chế tạo các loại hệ siêu âm khác nhau cho 2 quá trình hàn là: gián đoạn và hàn liên tục. Các thiết bị hàn cũng đã được trình bày cho tiết từ nguyên lý đến mô hình được chế tạo thực tế.

Để đánh giá độ bền kéo đứt của đường hàn, mẫu thiết bị đo, các nhân tố là thông số công nghệ cũng đã được tiến hành thử nghiệm đánh giá mức độ ảnh hưởng đến độ bền kéo đứt của đường hàn, xác định số thí nghiệm lặp là 7 thí nghiệm, lựa chọn mô hình hồi quy ở dạng đa thức bậc 2, sử dụng kết hợp phương pháp Taguchi và quy hoạch thực nghiệm bậc 2 là phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD.

Kết quả thí nghiệm đánh giá nhân tố ảnh hưởng nhiều nhất đến độ bền kéo đứt của đường hàn là: thời gian hàn tỷ lệ 45,31 %, hình dáng đường hàn (mẫu 3) tỉ lệ 30,03 % và áp lực hàn 24,66 %.

Luận án cũng tìm được miền thông số công nghệ tối ưu cho từng loại mẫu hàn thông qua phương trình hồi quy và các biểu đồ minh họa cho các mức độ bền kéo của đường hàn. Từ đó đánh giá phân tích cho các trường hợp miền các thông số công nghệ để đảm bảo độ bền kéo đạt giá trị cho trước thấp nhất là 200 N, 220 N và 240 N đối với các mẫu hàn.

Ngoài ra, để giải thích cho sự hình thành và kết cấu của đường hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt, luận án đã trình bày các hình ảnh tế vi của đường hàn được chụp từ các góc độ khác nhau.

Với các thông số hàn đã lựa chọn, nhiệt độ khi hàn đã đạt được lân cận khu vực nhiệt độ chảy giọt T_f trong vùng trạng thái đàn hồi nhớt của vật liệu PP. Khi đó các tấm vải không dệt PP sẽ liên kết tốt với nhau.

Chương 5: Kết Luận Và Đề Xuất

Chương 5 trình bày các mục tiêu đã đạt được của Luận án như: nghiên cứu cơ sở lý thuyết quá trình hàn siêu âm đối với vật liệu nhựa nhiệt dẻo; nghiên cứu chế tạo khuôn hàn siêu âm dọc trục và hướng kính có tần số 20 kHz; thực nghiệm hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt; phân tích chất lượng đường hàn với các bộ thông số công nghệ chính; tối ưu các thông số công nghệ chính sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD.

Ngoài ra, các kết quả của luận án cũng đã được trình bày bao gồm:

Khảo sát các ứng dụng hàn siêu âm cho nhựa nhiệt dẻo, vải không dệt: đối với nhựa nhiệt dẻo PP có cấu trúc vô định hình nên việc hàn siêu âm được thực hiện dễ dàng. Ngoài ra, vải không dệt PP khi hàn siêu âm ở tần số 20 kHz thì biên độ dao động được đề xuất là 38 μm .

Nghiên cứu cơ sở lý thuyết hàn siêu âm, vật liệu nhựa nhiệt dẻo: đối với vải không dệt PP định lượng 70 GSM hàn với nhau ở tần số 20 kHz, bộ khuếch đại dao động tăng biên độ dao động ban đầu từ 22 μm lên gấp 2 lần. Ngoài ra, khuôn hàn siêu âm cũng làm tăng biên độ dao động lên 1,5 lần. Do đó, biên độ dao động tối đa khi hàn khoảng 66 μm . Để đảm bảo an toàn cho thiết bị, biên độ dao động khi hàn thực tế chỉ khoảng 70 % giá trị tối đa.

Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo khuôn hàn siêu âm dọc trục và hướng kính: đối với khuôn rộng bản dọc trục bằng hợp kim nhôm 7075 và tần số 20 kHz, kích thước làm việc 260 mm x 15 mm sẽ tạo ra sự không đồng đều về biên độ. Phân tích phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm Abaqus cho thấy mức độ không đồng đều của biên độ trên toàn bộ vùng làm việc của khuôn hàn. Thay đổi hình dáng và kích thước của khuôn hàn sẽ khắc phục được hạn chế này. Đối với khuôn hướng kính bằng hợp kim nhôm 7075 và tần số 20 kHz, sự không đồng đều về biên độ xuất hiện trên toàn bộ chu vi. Việc thay đổi hình dáng và kích thước khuôn hàn sẽ tạo ra sự đồng đều về biên độ, được kiểm chứng qua mô phỏng phần tử hữu hạn.

Thực nghiệm hàn siêu âm trên vải không dệt: vải không dệt PP có định lượng 70 GSM được hàn với 09 hình dáng đường hàn khác nhau. Dựa trên độ bền cao nhất, đường hàn Mẫu 3 và Mẫu 4 được lựa chọn. Dựa vào kết quả thực nghiệm thăm dò, thời gian hàn (1,2 s; 1,6 s; 2,0 s), áp lực hàn (2,5 kG/cm²; 3,0 kG/cm²; 3,5 kG/cm²) đã được lựa chọn cho việc xác định các thông số hàn chính.

Với các thông số công nghệ hàn trên, nhiệt độ vùng hàn đã đạt được lân cận khu vực nhiệt độ chảy giọt T_f trong vùng trạng thái đàn hồi nhớt của vật liệu PP. Khi đó các tấm vải không dệt sẽ đạt trạng thái đàn hồi nhớt để có thể hòa tan với nhau tạo liên kết tốt, đáp ứng được các yêu cầu về độ bền cũng như chất lượng mối hàn.

Kết quả phân tích hình ảnh đường hàn qua kính hiển vi điện tử quét, các vùng chính của đường hàn như: vùng hàn, vùng viền, vùng vật liệu nền được phân biệt rõ ràng. Các sợi vải trong vùng hàn được nén, tan chảy một phần hoặc toàn phần, nên bị biến dạng so với hình dáng ban đầu. Trong vùng viền, các sợi vải chỉ biến dạng và ít tan chảy.

Tối ưu các thông số công nghệ chính sử dụng phương pháp Taguchi kết hợp phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD nhằm xác định độ bền kéo đứt phù hợp theo yêu cầu: quá trình thực nghiệm xác định độ bền kéo đứt tối đa của đường hàn siêu âm vải không dệt đạt khoảng 79 % giá trị độ bền kéo của vật liệu ban đầu. Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền kéo đứt của đường hàn siêu âm: hình dáng vùng hàn, thời gian hàn và áp lực hàn với các mức độ ảnh hưởng khác nhau. Trong đó, mức độ ảnh hưởng của thời gian hàn t là 45,31 %, hình dạng mối hàn là Mẫu 3 với tỉ lệ 30,03 % và áp lực hàn là 24,66 %. Phương trình hồi quy đối với các loại mẫu hàn đã lựa chọn từ đó xác định được các vùng thông số công nghệ phù hợp với yêu cầu về độ bền của đường hàn. Đối với mẫu 3, độ bền kéo đứt cao nhất đạt được là 253,73 N khi $t = 1,62$ s và áp lực hàn $p = 3,1$ kG/cm². Đối với mẫu 4, độ bền kéo cao nhất đạt được là 224,67 N khi $t = 1,6$ s và áp lực hàn $p = 3,09$ kG/cm². Tiến hành thử nghiệm kiểm chứng với các thông số hàn: $t = 1,6$ s, $p = 3,1$ kG/cm², 2 loại đường hàn (Mẫu 3 và Mẫu 4) ta có kết quả độ bền kéo đứt đối với Mẫu 3 có mức lệch giữa kết quả tính toán và kết quả thực tế thực nghiệm là: 1,19 %. Mẫu 4 có mức lệch giữa kết quả tính toán và kết quả thực tế thực nghiệm là: 0,77 %.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ TRONG THỜI GIAN THỰC HIỆN LUẬN ÁN

Tạp chí quốc tế

1. Thanh Hai Nguyen, Quang Thanh Le, Huu Loc Nguyen, and Dang Khoa Truong (2021). Design of a radial ultrasonic horn for plastic welding using finite element analysis. *Japanese Journal of Applied Physics*, 60(9), 096502. (SCIE - Q2, IF 1.480)
2. Thanh Hai Nguyen, Le Quang Thanh, Nguyen Huu Loc, Manh Ngo Huu, Anh Nguyen Van (2020). Effects of different roller profiles on the microstructure and peel strength of the ultrasonic welding joints of nonwoven fabrics. *Applied Sciences*, 10(12), 4101. (SCIE - Q2, IF 2.679)

Tạp chí trong nước

1. Lê Quang Thành, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Hữu Lộc (2020). Thiết kế máy hàn siêu âm quai khâu trang y tế. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, Số 3, Trang 101-103. ISSN 0866-7056.
2. Lê Quang Thành, Trương Đăng Khoa, Phạm Đức Lâm (2018). Thiết kế, chế tạo dây chuyền sản xuất túi vải không dệt sử dụng công nghệ hàn siêu âm. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, Số 8, Trang 63-66. ISSN 0866-7056.
3. Nguyễn Thanh Hải, Lê Quang Thành, Trần Công Luật (2018). Thiết kế, chế tạo máy hàn nhựa nhiệt dẻo sử dụng dao động hàn siêu âm tần số 20kHz. *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, Số 1,2, Trang 99-102. ISSN 0866-7056.

Kỷ yếu hội nghị quốc tế

1. Thanh Hai Nguyen, Quang Thanh Le, Cong Luat Tran, Huu Loc Nguyen (2017, October). Investigation the amplitude uniformity on the surface of the wide - blade ultrasonic plastic welding horn. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 241, No. 1, p. 012023). IOP Publishing. (Scopus).

Kỷ yếu hội nghị trong nước

1. Lê Quang Thành, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Hữu Lộc (2018). Xác định hình dáng hợp lý của đường hàn siêu âm đáp ứng khả năng chịu tải của túi vải không dệt. *Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ X, Tập 1: Động lực học và Điều khiển Cơ học Máy*, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Trang 1112-1119, Hà Nội - Việt Nam.
2. Lê Quang Thành, Trần Công Luật, Nguyễn Hữu Lộc, Nguyễn Thanh Hải (2016). Nghiên cứu đặc tính hàn siêu âm trên bao bì nhựa, *Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí - Động lực 2016*, NXB Bách khoa Hà Nội, Trang 259-262, Hà Nội - Việt Nam.
3. Thanh Hai Nguyen, Quang Thanh Le, Phuong Minh Luu, Huu Loc Nguyen (2015). Manufacturing of Ultrasonic Horn for Bonding Non-Woven Materials. *National conference on machines and mechanisms 2015*, NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Tp. Hồ Chí Minh - Việt Nam. ISBN 978-604-73-3158-7.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 15 tháng 10 năm 2022

Tập thể hướng dẫn

Nghiên cứu sinh

PGS. TS. Nguyễn Hữu Lộc TS. Nguyễn Thanh Hải

Lê Quang Thành