

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

LÊ QUANG THÀNH

**ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ CHÍNH  
ĐẾN CHẤT LƯỢNG MÔI HÀN SIÊU ÂM ĐỐI VỚI  
VẢI KHÔNG DỆT**

Ngành: Kỹ thuật Cơ khí  
Mã số ngành: 62520103

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Nguyễn Hữu Lộc

Người hướng dẫn 2: TS. Nguyễn Thanh Hải

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....  
.....

vào lúc          giờ          ngày          tháng          năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

# **CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN**

## **1.1 Tính cấp thiết và lý do lựa chọn đề tài**

Hiện nay, chất lượng mối hàn siêu âm cho nhựa nhiệt dẻo thường không ổn định và tỷ lệ sản phẩm lỗi còn cao vì chưa kiểm soát được các thông số công nghệ chính. Do đó, việc tìm ra bộ thông số công nghệ chính và tối ưu quá trình hàn nhựa nhiệt dẻo, đặc biệt là vải không dệt, là cấp thiết.

## **1.2 Mục tiêu và nội dung của nghiên cứu**

### **1.2.1 Mục tiêu nghiên cứu**

Nghiên cứu về công nghệ hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt PP, khuôn hàn siêu âm; thiết kế, chế tạo thiết bị hàn siêu âm cho vật liệu vải không dệt PP; Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính đến chất lượng đường hàn siêu âm.

### **1.2.2 Nội dung nghiên cứu**

Khảo sát các ứng dụng hàn siêu âm áp dụng cho nhựa nhiệt dẻo, vải không dệt; cơ sở lý thuyết hàn siêu âm, vật liệu nhựa nhiệt dẻo; thiết kế, chế tạo khuôn hàn và thiết bị hàn siêu âm; ứng dụng các phương pháp quy hoạch thực nghiệm để tối ưu các thông số công nghệ chính.

## **1.3 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

### **1.3.1 Đối tượng nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu của luận án bao gồm: vật liệu vải không dệt PP định lượng 70 GSM, khuôn hàn siêu âm dọc trục và hướng kính tần số 20 kHz.

### **1.3.2 Phạm vi nghiên cứu**

Thiết kế, mô phỏng, chế tạo khuôn hàn và thiết bị hàn siêu âm tần số 20 kHz.

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính và hình dáng đường hàn đến độ bền kéo đứt của đường hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt PP.

## **1.4 Ý nghĩa khoa học và ứng dụng thực tiễn**

Nghiên cứu hàn siêu âm trên vải không dệt làm cơ sở cho các nghiên cứu chuyên sâu sau này; đóng góp trong việc đào tạo các kỹ sư chuyên về hàn siêu

âm; tìm bộ thông số công nghệ hợp lý đảm bảo độ bền kéo đứt đạt giá trị mong muốn và tối ưu bằng phương pháp Taguchi; mang lại các ảnh hưởng tích cực đối với môi trường và tiết kiệm năng lượng.

## **1.5 Nhựa nhiệt dẻo**

### ***1.5.1 Tổng quan về nhựa nhiệt dẻo***

Nhựa nhiệt dẻo, sau khi biến dạng, có thể tạo hình lại dưới tác dụng nhiệt và áp suất. Đặc tính này có thể dùng để hàn siêu âm các vật liệu nhựa nhiệt dẻo. Khi nung nóng đến nhiệt độ chảy mềm  $T_m$  thì vật liệu chảy mềm ra và khi hạ nhiệt độ thì đóng rắn lại.

### ***1.5.2 Khả năng hàn siêu âm của một số nhựa nhiệt dẻo khác loại với nhau***

Các thông số công nghệ chính của nhựa nhiệt dẻo gồm: cấu trúc polymer, nhiệt độ nóng chảy (melt temperature), chỉ số nóng chảy (melt index), mô đun đàn hồi và thành phần hóa học.

### ***1.5.3 Khả năng hàn siêu âm của một số nhựa nhiệt dẻo khác loại với nhau***

Nhiệt độ nóng chảy giống nhau giữa các vật liệu hàn là yêu cầu cơ bản để hàn các chi tiết khác nhau lại với nhau. Ngoài ra rất nhiều yếu tố khác cũng sẽ tạo nên khả năng hàn của hai loại vật liệu nhựa nhiệt dẻo khác nhau.

## **1.6 Một số phương pháp hàn nhựa nhiệt dẻo**

Đối với vật liệu nhựa nhiệt dẻo một số phương pháp hàn sau đây có thể được áp dụng: hàn điện từ, hàn ma sát, hàn khí nóng, hàn siêu âm.

### **1.7 Tổng quan tình hình nghiên cứu**

Luận án tổng hợp một số nghiên cứu về ứng dụng của phương pháp hàn siêu âm trên nhựa dẻo trong và ngoài nước. Phân tích tình hình nghiên cứu để tìm hướng nghiên cứu cho luận án.

## **1.8 Kết luận**

Chương 1 đã trình bày mục tiêu, nội dung, đối tượng và phạm vi nghiên cứu. Giới thiệu về nhựa nhiệt dẻo và khả năng hàn của nhựa nhiệt dẻo. Các nghiên cứu trong và ngoài nước cũng được trình bày làm tiền đề cho luận án.

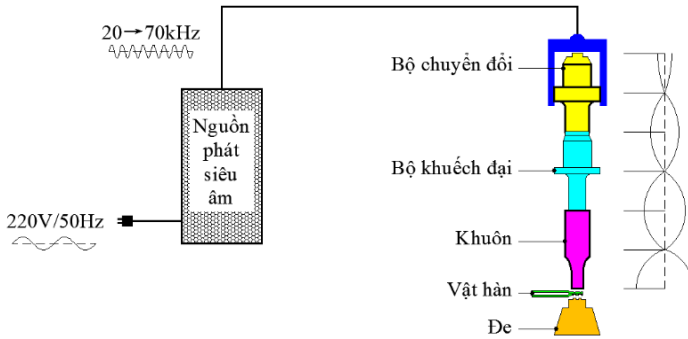
# CHƯƠNG 2 HÀN SIÊU ÂM

## 2.1 Nội dung

Chương 2 trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp hàn siêu âm; thiết kế môi hàn siêu âm và vật liệu nhựa nhiệt dẻo.

## 2.2 Nguyên lý hàn siêu âm nhựa nhiệt dẻo

Nguyên lý hàn siêu âm được thể hiện như trong Hình 2.1:



Hình 2.1 Nguyên lý hàn siêu âm

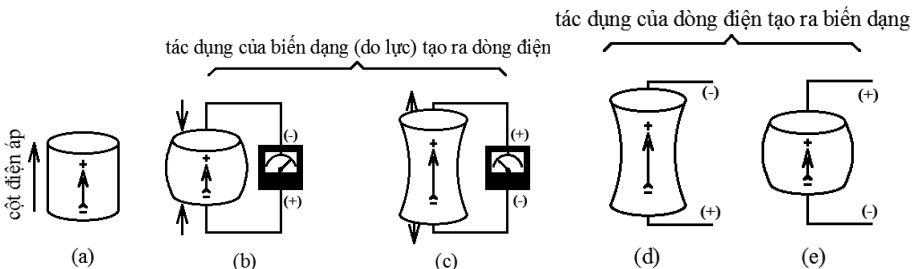
## 2.3 Cơ sở lý thuyết phương pháp hàn siêu âm

### 2.3.1 Nguồn hàn siêu âm

Nguồn phát siêu âm tần số 20 kHz, công suất tối đa 2 kW được sử dụng.

### 2.3.2 Bộ chuyển đổi

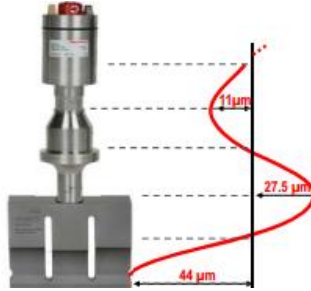
Với thạch anh, điện tích có thể được tạo ra bằng cách tác dụng lên vật liệu một áp lực hoặc ngược lại (Hình 2.3).



Hình 2.3 Mô hình thuận nghịch của gốm áp điện

### 2.3.3 Khuếch đại dao động

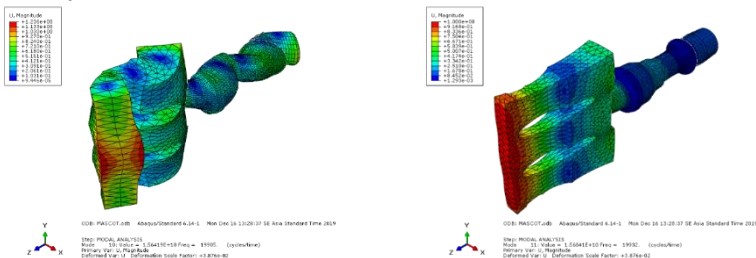
Là chi tiết khuếch đại biên độ dao động. Để tạo ra độ khuếch đại, nguyên tắc đơn giản là đầu vào dao động có bề mặt làm việc lớn còn đầu ra dao động có tiết diện nhỏ. Dao động được khuếch đại như trong Hình 2.6.



Hình 2.6 Thay đổi biên độ dao động trên hệ siêu âm

### 2.3.4 Khuôn hàn siêu âm

Việc thiết kế khuôn là rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm và khả năng công nghệ. Thông thường vật liệu làm khuôn có thể là: titan, nhôm, thép hợp kim, ... Luận án sử dụng một số phần mềm để mô phỏng sự hoạt động của khuôn. Nếu thiết kế tốt, phần giữa khuôn màu xanh sẽ có ứng suất nhỏ nhất còn phần màu đỏ sẽ có ứng suất lớn nhất. Nếu thiết kế không tốt có thể dẫn đến sự phá hủy khuôn (Hình 2.7).

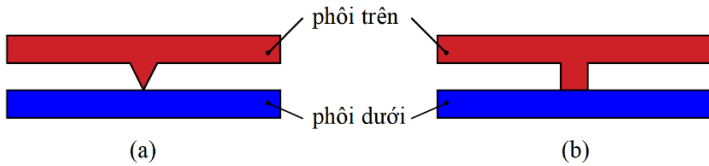


Hình 2.2 Mô phỏng chuyển động và ứng suất trên khuôn hàn

### 2.3.5 Thiết kế mối hàn siêu âm

Có 2 loại mối hàn siêu âm chính: mối hàn định hướng năng lượng và mối hàn tiếp giáp.

Vùng năng lượng là một giao diện nhỏ thường nhô ra từ phần đầu. Đó là những gì sẽ tan chảy sau đó liên kết các phần phi hàn lại với nhau (Hình 2.13).



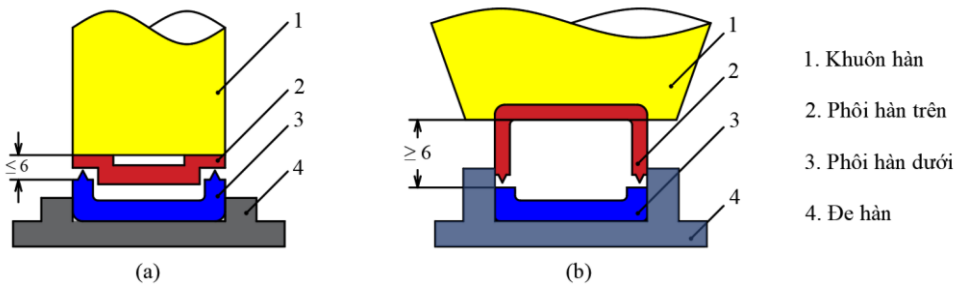
Hình 2.13 Vùng năng lượng tiết diện tam giác (a) và tiết diện chữ nhật (b)

**2.3.6 Thiết kế vùng định hướng năng lượng**

Định hướng năng lượng là phân tập trung năng lượng dao động được truyền từ khuôn hàn đến tại vị trí tiếp xúc giữa hai chi tiết hàn. Đối với phương pháp hàn các chi tiết dạng tấm như màng mỏng, vải không dệt, ... vùng tiếp xúc giữa khuôn hàn và đe hàn có thể được xem là vùng định hướng năng lượng.

**2.3.7 Miền hàn gần và xa**

Miền hàn xa hay gần là do khoảng cách từ vị trí của bề mặt khuôn hàn đến vị trí của bề mặt mối hàn. Miền hàn được gọi là gần khi khoảng cách vừa nêu trên là nhỏ hơn hay bằng 6 mm, ngược lại nếu khoảng cách đó lớn hơn 6 mm thì được gọi là miền hàn xa (Hình 2.16). Hàn siêu âm vật liệu vải không dệt được thiết kế theo yêu cầu của miền hàn gần.



Hình 2.16 Miền hàn gần (a) và miền hàn xa (b)

### 2.3.8 Hàn siêu âm gián đoạn, hàn siêu âm liên tục

Hàn siêu âm gián đoạn là phương pháp hàn áp dụng cho các mối hàn có kích thước và hình dạng cố định đơn giản. Ngược lại, đối với những sản phẩm có đường hàn phức tạp, dài thường phải sử dụng phương pháp hàn siêu âm liên tục.

### 2.3.9 Thông số công nghệ hàn siêu âm

Những yếu tố quan trọng của quá trình hàn siêu âm có thể được liệt kê dưới đây: vật liệu cần hàn, vùng định hướng năng lượng, tần suất dao động, biên độ rung, áp lực hàn, thời gian hàn, thời gian giữ.

Tùy thuộc vào loại vật liệu, chi tiết hàn, phương pháp hàn, ... mà ảnh hưởng của các thông số công nghệ này đến chất lượng mối hàn có thể là khác nhau.

## 2.4 Vật liệu hàn siêu âm

### 2.4.1 Vật liệu đàn nhót

Tính đàn nhót của vật liệu là sự kết hợp của tính nhót và tính đàn hồi trong cùng một vật liệu (trong trường hợp này là polymer). Các thành phần đàn hồi, có thể được mô hình hóa dưới dạng lò xo có mô đun đàn hồi  $E$ , theo định luật Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.26)$$

Trong đó:  $\sigma$  là ứng suất và  $\varepsilon$  là biến dạng

Các thành phần nhót, có thể được mô hình hóa dưới dạng giảm chấn sao cho mối quan hệ giữa ứng suất và tốc độ biến dạng có thể được tính:

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2.27)$$

Trong đó:  $\eta$  là độ nhót của vật liệu;  $d\varepsilon/dt$ : đạo hàm theo thời gian của biến dạng.

### 2.4.2 Vật liệu cấu trúc vô định hình

Vật liệu vô định hình là những chất rắn không có trật tự về vị trí cấu trúc nguyên tử. Các chất rắn vô định hình có tính đẳng hướng, không có nhiệt độ nóng



chảy hoặc đông đặc xác định, khi bị nung nóng chúng mềm dần và chuyển sang thể lỏng, không có nhiệt độ nóng chảy hoặc nhiệt độ đông đặc xác định.

### 2.4.3 Vật liệu cấu trúc bán tinh thể

Cấu trúc tinh thể là cấu trúc có tính tuần hoàn (cấu trúc trật tự kéo dài). Cấu trúc và tính chất vật lý của các tinh thể có thể không đối xứng theo các hướng trong không gian. Polyme bán tinh thể là những polyme có cấu trúc sắp xếp đều đặn trong không gian ba chiều theo dạng bó hoặc xếp gập. Vật liệu nhựa bán tinh thể thường dai hơn, mềm hơn, có nhiệt độ biến dạng nhiệt cao hơn nhựa vô định hình, trong mờ hoặc mờ đục, co rút cao và nhiệt dung riêng cao, ví dụ PE, PP, ... Vùng nóng chảy của polyme bán tinh thể thường hẹp hơn so với polyme vô định hình.

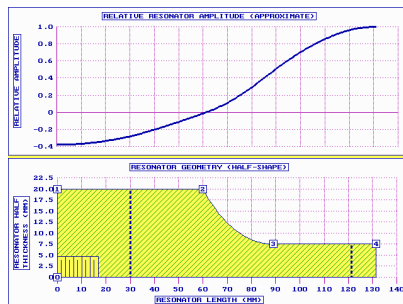
## 2.5 Thiết kế và chế tạo hệ siêu âm cho sản phẩm vải không dệt

### 2.5.1 Lựa chọn vật liệu làm khuôn

Trong thực tế, có nhiều vật liệu có khả năng đáp ứng được yêu cầu trên. Tuy nhiên hợp kim nhôm 7075 là một trong những lựa chọn phù hợp vì đáp ứng được những yêu cầu trên và có những ưu điểm riêng của nó như: có độ bền riêng cao, có khối lượng riêng nhỏ, dễ dàng gia công, ...

### 2.5.2 Tính toán và mô phỏng khuôn bằng phần mềm CARD

CARD là phần mềm được áp dụng kỹ thuật định lượng để thiết kế các bộ cộng hưởng siêu âm dao động trong một chế độ theo chiều dọc. Hình 2.20 biểu thị khả năng tính toán ứng suất cho một khuôn hàn siêu âm trên CARD.



Hình 2.20 Phân bố ứng suất trong một khuôn có rãnh

### 2.5.3 *Thiết kế và phân tích khuôn hàn siêu âm sử dụng phần mềm Abaqus*

Từ mô hình được thiết kế sơ bộ bởi CARD, mô hình hóa 3D hệ siêu âm trên phần mềm mô hình hóa (như Inventor, Catia, Solidworks...) sau đó dùng phần mềm Abaqus để tính toán mô phỏng ứng suất, biến dạng.

Các bước thực hiện mô phỏng Modal Analysis trên Abaqus:

- **Bước 1:** Chuyển mô hình sang Abaqus, gán các thuộc tính vật liệu cho hệ siêu âm như khuôn, bộ chuyển đổi thạch anh. Trong bước này lưu ý cần thiết lập hướng tổ chức vật liệu cho những chi tiết có vật liệu là thạch anh.
- **Bước 2:** Thiết lập mô hình cộng hưởng cho hệ siêu âm.
- **Bước 3:** Thiết lập trạng thái cho mô hình.
- **Bước 4:** Thiết lập tương tác tiếp xúc giữa các bề mặt của các chi tiết với nhau, cài đặt hệ số ma sát giữa các bề mặt là 0,4.
- **Bước 5:** Thiết lập điều kiện biên cho mô hình
- **Bước 6:** Đặt ngoại lực lên các chi tiết
- **Bước 7:** Tính toán kết quả, điều chỉnh các thông số phù hợp âm nhằm kiểm tra hệ siêu âm đã được tối ưu chưa. Tiếp tục cải tiến để đạt yêu cầu.

### 2.5.4 *Thiết kế đe hàn*

Đe hàn là chi tiết đỡ sản phẩm cần hàn từ khuôn hàn khi được hệ siêu âm truyền lực và dao động xuống. Yêu cầu của vật liệu chế tạo đe hàn là phải có: độ cứng vững, khả năng chịu mài mòn nhất định, dẫn nhiệt tương đối tốt, dễ gia công và giá thành rẻ. Đe hàn được gia công bằng thép hợp kim 20Cr ở trạng thái thường hóa đáp ứng được các yêu cầu trên. Đối với hàn vải không dệt, đe hàn còn một chức năng quan trọng là định hình dạng liên kết cho hai tấm vải khi hàn.

## 2.6 **Kết luận**

Chương 2 đã trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp hàn siêu âm, giới thiệu về các thông số công nghệ của quá trình hàn siêu âm, phân loại phương pháp hàn siêu âm. Bên cạnh đó, vật liệu nhựa nhiệt dẻo, vật liệu làm khuôn hàn, đe hàn cũng đã được giới thiệu trong chương này.

# CHƯƠNG 3 ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

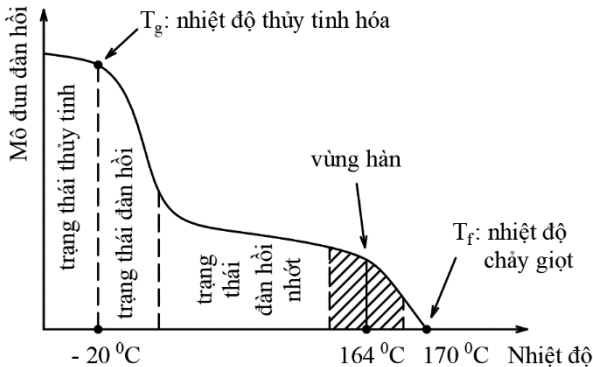
## 3.1 Nội dung

Chương 3 nghiên cứu về vải không dệt, giới thiệu các thiết bị sẽ được sử dụng trong quá trình nghiên cứu. Ngoài ra, các phương pháp xử lý số liệu phục vụ nghiên cứu, quy hoạch thực nghiệm cũng được trình bày.

## 3.2 Đối tượng nghiên cứu

### 3.2.1 Vật liệu PP

Để sự liên kết giữa các tấm PP là tốt, đảm bảo yêu cầu về độ bền, khi hàn các tấm nhựa nhiệt dẻo PP nói chung và vải không dệt PP nói riêng nhiệt độ của quá trình hàn phải đạt tiệm cận nhiệt độ chảy giọt  $T_f$  nhưng không được vượt quá nhiệt độ này (Hình 3.2).



Hình 3.1 Giảm độ tính chất nhiệt của PP

### 3.2.2 Vải không dệt

Vải không dệt có cấu tạo từ các loại nhựa tổng hợp như PP và một số thành phần khác. Chúng được kéo thành từng sợi và liên kết với nhau bằng dung môi hóa chất hay nhiệt tạo thành những tấm vải nhẹ và xốp.

### 3.2.3 Tính hàn của vải không dệt

Các sợi vải khi nhận năng lượng từ quá trình hàn sẽ tăng nhiệt độ đến nhiệt độ chảy dẻo, dưới tác dụng của lực ép giữa khuôn hàn và đe hàn những sợi vải sẽ kết dính với nhau tạo ra liên kết giữa các tấm vải không dệt.

### 3.2.4 Các tiêu chuẩn thử nghiệm của vải không dệt

Đối với vải không dệt, các tiêu chuẩn được sử dụng chung với tiêu chuẩn vải dệt. Vì vậy, các yêu cầu khác cho các vật liệu đã được quy định rõ trong bộ tiêu chuẩn TCVN - 10041 (ISO 9073), Vật liệu dệt - Phương pháp thử cho vải dệt.

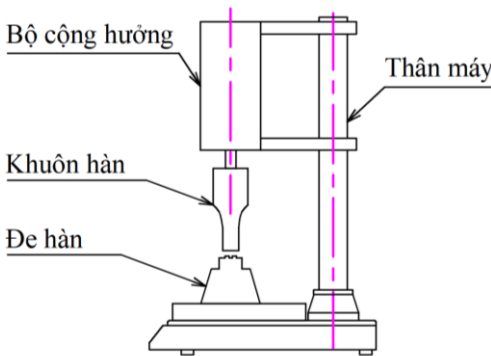
### 3.2.5 Các dạng hỏng của sản phẩm vải không dệt khi gia công bằng phương pháp hàn siêu âm

Các đường hàn để liên kết các tấm vải không dệt với nhau để tạo nên các sản phẩm thường bị đứt rách trong quá trình sử dụng. Đây là dạng hỏng chính của các sản phẩm từ vải không dệt được gia công bằng phương pháp hàn siêu âm.

## 3.3 Thiết bị phục vụ nghiên cứu

### 3.3.1 Thiết bị hàn sóng dọc trực gián đoạn

Máy hàn siêu âm dạng trụ đứng có kích thước làm việc  $w = 200$  mm, công suất 2 kW, tần số 20 kHz, thời gian hàn có thể được điều chỉnh từ 0,2 s đến 4 s, áp suất khí nén tác động lên piston của máy tối đa là  $5 \text{ kg/cm}^2$  (Hình 3.9 và 3.10).



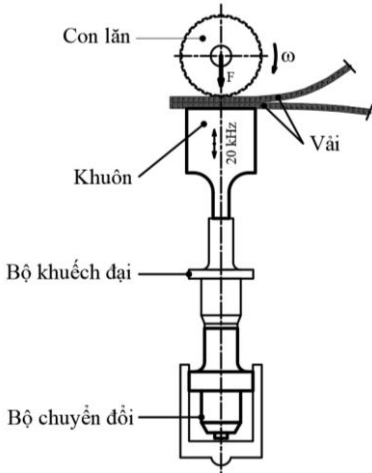
Hình 3.9 Sơ đồ máy hàn đứng



Hình 3.10 Máy hàn đứng

### 3.3.2 Thiết bị hàn sóng dọc trực liên tục

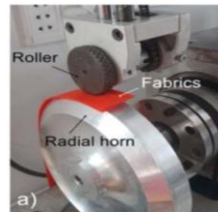
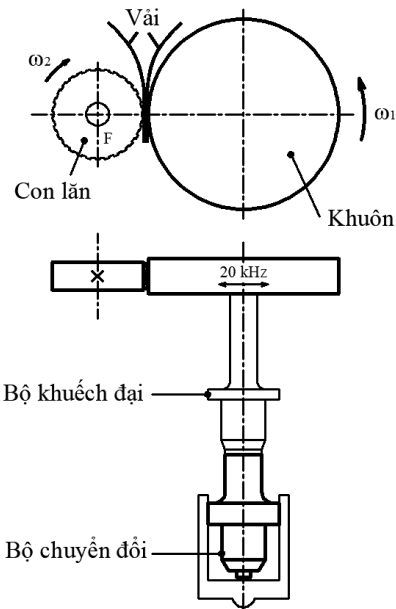
Thiết bị hàn siêu âm dọc trực liên tục là thiết bị có dao động tại mỗi hàn theo hướng dọc trục đối với hệ siêu âm, khuôn có dạng hình trụ tròn. Tần số và công suất là 20 kHz và 1200 W; biên độ dao động tối đa là 60  $\mu\text{m}$  (Hình 3.11 và 3.12).



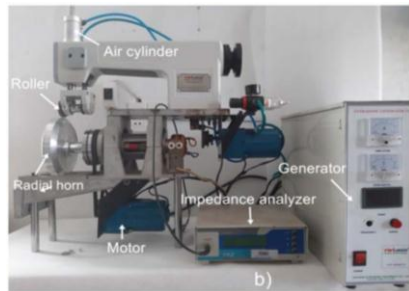
Hình 3.11 Sơ đồ hệ đọc trực liên tục Hình 3.12 Máy may siêu âm đọc trực liên tục

### 3.3.3 Thiết bị hàn sóng hướng kính

Là máy hàn siêu âm có phương pháp hàn mà đe hàn và khuôn hàn di chuyển tròn đều quanh trục như Hình 3.15, 3.16 và 3.17.



Hình 3.16 Tạo mối hàn



Hình 3.15 Sơ đồ siêu âm hướng kính Hình 3.17 Máy hàn siêu âm hướng kính

So với hàn sóng dọc trục, phương pháp hàn siêu âm hướng kính có ưu điểm: tốc độ nhanh hơn, chất lượng mối hàn tốt hơn.

### **3.3.4 Con lăn hàn liên tục**

Con lăn trong máy may siêu âm đóng vai trò tương tự như một đe hàn, ngoài chức năng tạo ra hình dạng mối hàn con lăn còn có chức năng dẫn động đối với vải không dệt (Hình 3.20). Thép hợp kim 20Cr để có thể đáp ứng được các yêu cầu của quá trình kỹ thuật.



Hình 3.20 Con lăn được chế tạo để phục vụ thí nghiệm

## **3.4 Phương pháp xử lý số liệu và quy hoạch thực nghiệm**

### **3.4.1 Phương pháp xử lý số liệu và trình tự thực hiện**

Với mục tiêu xây dựng phương trình hồi quy cho đối tượng nghiên cứu, quy hoạch thực nghiệm thực hiện theo lần lượt các bước phù hợp với mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ và đặc điểm của từng nhân tố.

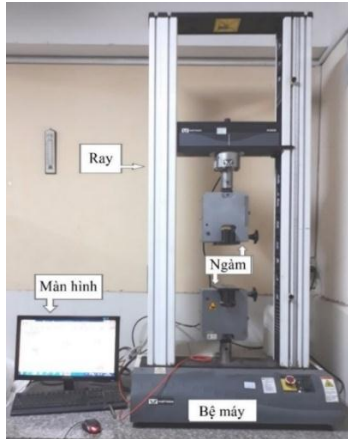
### **3.4.2 Phương pháp quy hoạch thực nghiệm**

Luận án sử dụng phương pháp Taguchi với ma trận quy hoạch L18, kết hợp với phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng bậc hai dạng FCCCD thu được phương trình hồi quy bậc hai để xác định miền các thông số công nghệ hợp lý cho quá trình hàn siêu âm đối vật liệu vải không dệt.

## **3.5 Thiết bị phân tích**

### **3.5.1 Thiết bị kiểm nghiệm độ bền kéo đứt**

Để tiến hành kiểm nghiệm độ bền kéo đứt hay khả năng chịu tải của mối hàn, chúng tôi đã sử dụng máy kéo đa năng nhãn hiệu Instron – 3369 (Hình 3.21).



Hình 3.21 Máy kéo đa năng Instron - 3369

### 3.5.2 *Thiết bị phân tích hình ảnh mối hàn*

Để phân tích hình ảnh của mối hàn, hình ảnh của vật liệu chúng tôi tiến hành sử dụng kính hiển vi điện tử quét (FE - SEM) nhãn hiệu: HITACHI S - 4800 (Hình 3.23) để quan sát các hình ảnh vi mô của bề mặt.



Hình 3.23 Kính hiển vi điện tử quét S - 4800

## 3.6 **Kết luận**

Chương 3 nghiên cứu về vật liệu vải không dệt, các thiết bị thí nghiệm tạo mẫu và kiểm nghiệm độ bền, phân tích hình ảnh của mẫu. Các bước tiến hành quy hoạch thực nghiệm, sử dụng phương pháp Taguchi với ma trận quy hoạch L18, kết hợp với phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng bậc hai dạng FCCCD thu được phương trình hồi quy bậc hai để xác định miền các thông số công nghệ hợp lý cho quá trình hàn siêu âm đối vật liệu vải không dệt.

# CHƯƠNG 4 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THỰC NGHIỆM

## 4.1 Nội dung

Trình bày quy trình thiết kế khuôn hàn siêu âm, xác định các thông số công nghệ ảnh hưởng đến chất lượng của mối hàn siêu âm. Tối ưu hóa các thông số công nghệ và phân tích chất lượng, kết cấu của mối hàn qua hình ảnh.

## 4.2 Mô phỏng thiết kế và chế tạo khuôn hàn

### 4.2.1 Thiết kế và mô phỏng khuôn hàn

Áp dụng quy trình thiết kế khuôn hàn, tiến hành thiết kế khuôn hàn dọc trục và khuôn hàn hướng kính cho 2 trường hợp hàn siêu âm gián đoạn và hàn siêu âm liên tục (Hình 4.4).



Hình 4.4 Phân tích biên độ và ứng suất của hệ thống siêu âm hướng kính

### 4.2.2 Chế tạo khuôn hàn

Từ bản vẽ chi tiết về kích thước của khuôn sau ta tiến hành gia công thực tế với vật liệu giống như đã mô phỏng. Vật liệu là nhôm 7075, khuôn được gia công trên các máy CNC.



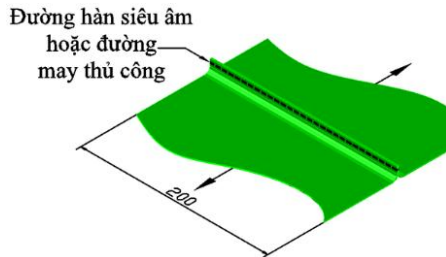
Hình 4.5 Khuôn hướng kính thực tế sau khi chế tạo



## 4.3 Chuẩn bị thực nghiệm và thực nghiệm thăm dò

### 4.3.1 Mẫu thí nghiệm và thiết bị đo

Từ mỗi hàn 2 mảnh vải không dệt theo đúng kích thước được quy định trong TCVN - 10041 (bề rộng của mẫu là 200mm) như Hình 4.7, tác giả tiến hành hàn các mẫu ở các chế độ hàn khác nhau rồi kéo trên máy kéo để xác định độ bền kéo đứt lớn nhất.



Hình 4.7 Mô hình kiểm nghiệm độ bền kéo đứt mối hàn vải không dệt

Luận án tiến hành thực nghiệm ban đầu với 9 hình dáng đường hàn khác nhau và chọn ra 2 hình dáng đường hàn có độ bền kéo đứt cao nhất, tỉ lệ với tỉ lệ diện tích hàn theo hình dáng mối hàn, là mẫu 3 và mẫu 4.

### 4.3.2 Các nhân tố ảnh hưởng đến độ bền kéo đứt của mối hàn

Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của mối hàn siêu âm bao gồm: loại vật liệu, vùng năng lượng, tần số dao động, biên độ dao động, lực ép tĩnh, thời gian hàn, thời gian giữ, công suất máy hàn...

Tham khảo các nghiên cứu và bằng phân tích lựa chọn luận án đã lựa chọn loại vật liệu vải không dệt PP có định dạng 70 GSM, tần số và biên độ hệ dao động siêu âm là 20 kHz và 48  $\mu\text{m}$ , thời gian hàn lần lượt ở các mức giá trị 1,2 s, 1,6 s và 2,0 s, áp lực hàn lần lượt là 2,5, 3,0 và 35  $\text{kG}/\text{cm}^2$ . Riêng hình dáng đường hàn lựa chọn 2 loại mẫu là mẫu 3 và mẫu 4.

### 4.3.3 Xác định số thí nghiệm lặp

Số thí nghiệm lặp là số thí nghiệm tối thiểu của cùng một bộ thông số công nghệ để dựa vào đó xử lý kết quả thí nghiệm.

Sau khi thí nghiệm và xử lý kết quả, bằng phương pháp tính toán ta có thể tính được số thí nghiệm lặp  $n = 7$ .

**4.3.4 Lựa chọn phương trình hồi quy và khoảng giá trị các nhân tố**

Tiến hành thực nghiệm riêng rẽ cho các yếu tố và phân tích đánh giá, luận án đã chọn phương trình hồi quy ở dạng đa thức bậc 2 (Công thức 4.2) cho thông số đầu ra là độ bền kéo đứt:

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \tag{4.2}$$

Sử dụng phương pháp Taguchi quy hoạch L18 với 3 nhân tố và quy hoạch thực nghiệm bậc 2 là phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng dạng FCCCD, để tiến hành thực hiện quy hoạch tìm miền thông số công nghệ tối ưu. Để xử lý và phân tích kết quả thực nghiệm ta sử dụng phần mềm Minitab.

**4.4 Kết quả thực nghiệm chính và phân tích**

**4.4.1 Kết quả thực nghiệm**

Bảng giá trị các nhân tố trong quy hoạch theo phương pháp Taguchi (Bảng 4.14).

Bảng 4.14 Bảng giá trị các nhân tố

<i>Nhân tố</i>	<i>Ký hiệu</i>		<i>Khoảng thay đổi</i>	<i>Mức giá trị</i>		
	<i>Tự nhiên</i>	<i>Mã hóa</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Hình dáng mối hàn	D	x <sub>1</sub>		Mẫu 3	Mẫu 4	
Thời gian hàn (s)	t	x <sub>2</sub>	0,4	1,2	1,6	2,0
Áp lực hàn (kG/cm <sup>2</sup> )	p	x <sub>3</sub>	0,5	2,5	3,0	3,5

Sau khi thực nghiệm và xử lý kết quả thực nghiệm trên phần mềm Minitab thì nhân tố ảnh hưởng nhiều nhất đến độ bền kéo đứt là thời gian hàn t với tỷ lệ 45,31%, hình dạng đường hàn (mẫu 3) với tỉ lệ 30,03 % và áp lực hàn 24,66 %.

Kết quả xử lý và phân tích kết quả thực nghiệm theo phương pháp quy hoạch hỗn hợp đối xứng bậc hai dạng FCCCD:

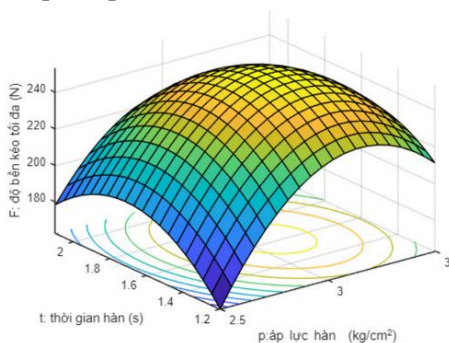
Phương trình hồi quy (Hình 4.48) đối với mẫu đường hàn 3:

$$F_3 = -1\,822 + 1051,7.p + 550,5.t - 159,09.p^2 - 130,6.t^2 - 40,82.p.t$$

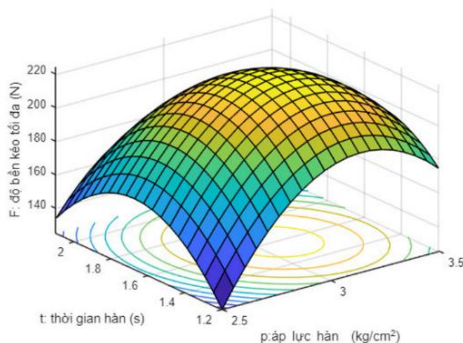
Phương trình hồi quy (Hình 4.49) đối với mẫu đường hàn 4:

$$F_4 = -2\,134,3 + 1142,5.p + 749,2.t - 171,8.p^2 - 184,6.t^2 - 52,03.p.t$$

Sử dụng phần mềm Minitab xác định giá trị tối ưu độ bền kéo, đối với mẫu 3, độ bền kéo đứt cao nhất đạt được là 253,73 N khi  $t = 1,62$  s và áp lực  $p = 3,1$   $\text{kg/cm}^2$ , đối với mẫu 4, độ bền kéo đứt cao nhất đạt được là 224,67 N khi  $t = 1,60$  s và áp lực  $p = 3,09$   $\text{kg/cm}^2$  (Hình 4.21 và 4.22)



Hình 4.21 Ảnh hưởng của thời gian và áp lực đến độ bền kéo đứt mẫu 3



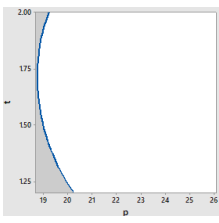
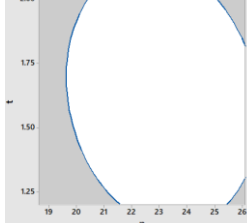
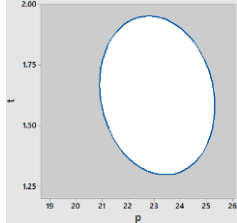
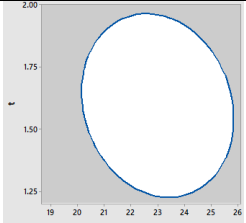
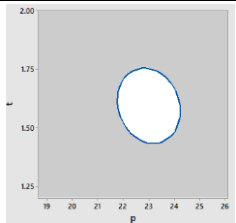
Hình 4.22 Ảnh hưởng của thời gian và áp lực đến độ bền kéo đứt mẫu 4

#### 4.4.2 Phân tích và đánh giá

Tiến hành thực nghiệm lại với các mẫu thử nghiệm với các thông số hàn:  $t = 1,6$  s,  $p = 3,1$   $\text{kg/cm}^2$ . Đối sánh với kết quả tính toán quy hoạch thực nghiệm 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 %.

Phân tích cho các trường hợp miền các thông số công nghệ để đảm bảo độ bền kéo đứt đạt giá trị cho trước thấp nhất là 200N, 220N và 240N cho trong Bảng 4.17.

Bảng 4.17 Miền giá trị thông số công nghệ đảm bảo độ bền kéo đứt

Độ bền kéo đứt F (N)	$\geq 200$	$\geq 220$	$\geq 240$
Mẫu 3			
Mẫu 4			Không có

#### 4.5 Phân tích hình ảnh của mối hàn

Trên cơ sở được khuyến nghị về nhiệt độ hàn đối với vật liệu PP được trình bày tại Mục **Error! Reference source not found.**, với tần số hàn 20 kHz, biên độ hàn 48  $\mu\text{m}$ , thời gian hàn từ 1,2 s đến 2 s, áp lực hàn từ 2,5  $\text{kG}/\text{cm}^2$  đến 3,5  $\text{kG}/\text{cm}^2$  thì nhiệt độ hàn nằm trong vùng bên phải khu vực trạng thái đàn hồi nhớt nhưng chưa đến khu vực nhiệt độ chảy giọt  $T_f$ .

##### 4.5.1 Mặt trước mối hàn

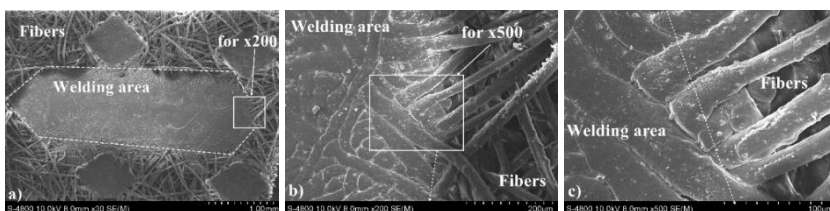
Quan sát ảnh SEM mặt trước mối hàn (Hình 4.26) luận án đã kết luận: các sợi trong vùng hàn được nén thấp hơn bề mặt ban đầu; các sợi trong vùng hàn được nén nên bị biến dạng so với hình dáng ban đầu; nhiều khuyết tật được tìm thấy trong khu vực hàn vì các loại vải cơ bản không phải là vật liệu đồng nhất; các sợi vải có thể bị biến dạng (bệt) hoặc tan chảy hoàn toàn nhưng không bị đứt hoặc nứt gãy.



Hình 4.26 Ảnh SEM của mối hàn siêu âm chụp từ mặt trước với độ phóng đại (a) 30x; (b) 200x và (c) 500x

#### 4.5.2 Mặt sau mối hàn

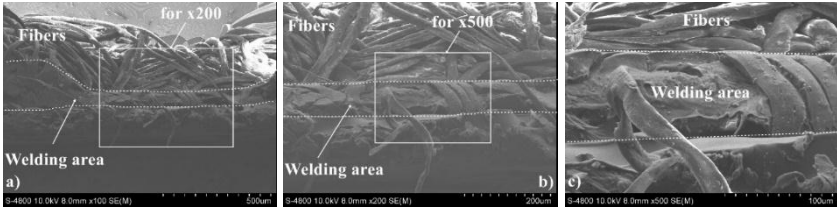
Tương tự có kết luận về mối hàn tại bề mặt phía sau (Hình 4.27): các sợi trong vùng hàn và bề mặt ban đầu của vải gần như không có độ chênh; các sợi vải bị tan chảy dưới tác dụng nhiệt do dao động là khác nhau; các sợi vải có thể bị biến dạng (bẹp) hoặc tan chảy hoàn toàn nhưng hầu như không bị đứt hoặc nứt gãy.



Hình 4.27 Ảnh SEM của mối hàn siêu âm chụp từ mặt sau với độ phóng đại (a) 30x; (b) 200x và (c) 500x

#### 4.5.3 Mặt cắt ngang của mối hàn

Cắt ngang mối hàn để quan sát kết cấu bằng ảnh SEM (Hình 4.29) ta thấy: hình dạng lõm do con lăn khắc trên vải được nhìn thấy tương đối rõ ràng, xuất hiện độ cong giữa bề mặt của vải trên và bề mặt của vùng hàn; hình dáng sợi trong vùng hàn là không đồng nhất; các sợi vải liên kết với nhau tạo thành khối hoặc những sợi có kích thước lớn hơn.



Hình 4.29 Ảnh SEM của mối hàn siêu âm chụp mặt cắt ngang với độ phóng đại (a) 100x, (b) 200x và (c) 500x

## 4.6 Kết luận

Chương 4 trình bày 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.

Toàn bộ quá trình quy hoạch thực nghiệm để tìm miền thông số công nghệ hợp lý, đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mối hàn siêu âm cũng đã được trình bày trong chương này.

## CHƯƠNG 5 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

### 5.1 Mục tiêu nghiên cứu đạt được

*Nghiên cứu cơ sở lý thuyết quá trình hàn siêu âm:* luận án đã phân tích nguyên lý tạo dao động siêu âm, vai trò của bộ khuếch đại, bộ chuyển đổi và khuôn siêu âm. Phân tích miền hàn gần và xa, vùng định hướng năng lượng, hàn liên tục và gián đoạn. Phân tích tính đàn nhớt, cấu trúc của vật liệu vô định hình và bán tinh thể.

*Nghiên cứu chế tạo khuôn hàn siêu âm tần số 20kHz:* lựa chọn vật liệu làm khuôn siêu âm, tính toán sơ bộ khuôn hàn siêu âm trên phần mềm CARD. Mô phỏng phần tử hữu hạn khuôn hàn bằng phần mềm Abaqus để xác định biên độ và ứng suất tại bề mặt làm việc của khuôn. Chế tạo khuôn hàn dọc trục và hướng kính sử dụng vật liệu hợp kim nhôm 7075.

*Thực nghiệm hàn siêu âm trên vật liệu vải không dệt:* thực nghiệm trên vải không dệt PP có định lượng 70 GSM, kích thước mẫu là 200 x 100 mm. Các

thông số hàn được lựa chọn bao gồm: tần số 20 kHz, biên độ 48  $\mu\text{m}$ , thời gian hàn từ 1,2 - 2 s, áp lực hàn từ 2,5 - 3,5  $\text{kG/cm}^2$ , 9 hình dáng đường hàn khác nhau.

*Phân tích chất lượng mối hàn với các bộ thông số công nghệ chính:* sử dụng kính hiển vi điện tử SEM để quan sát và phân tích hình ảnh mối hàn ở các vùng hàn, vùng tiếp giáp, mặt trước, mặt sau và mặt cắt ngang của mối hàn trên vải không dệt.

*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:* Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc hai, tiến hành thực nghiệm và thu được phương trình hồi quy bậc 2. Từ đó, tìm được miền thông số công nghệ của hàn siêu âm bao gồm các giá trị: tần số, biên độ, thời gian, áp lực và hình dáng đường hàn.

## **5.2 Về khoa học**

Nghiên cứu công nghệ và thiết bị hàn siêu âm hàn siêu âm vải không dệt là nền tảng để nhóm nghiên cứu tiếp tục triển khai các nghiên cứu về công nghệ và thiết bị cho việc hàn siêu âm các chi tiết bằng vật liệu nhựa nhiệt dẻo khác và kết cấu kim loại.

Nghiên cứu phương pháp Taguchi với ma trận quy hoạch  $L_{18}$  cho 3 nhân tố đánh giá mức ảnh hưởng từng thông số công nghệ, ma trận quy hoạch  $L_{18}$  là tổ hợp 2 quy hoạch thực nghiệm bậc hai FCCCD với 2 nhân tố, từ đó tiến hành thực nghiệm tìm bộ thông số công nghệ hợp lý đảm bảo độ bền kéo đứt đạt giá trị mong muốn và tối ưu.

## **5.3 Về thực tiễn**

Thiết kế, chế tạo thành công máy hàn siêu âm gián đoạn (dạng đứng, khuôn hàn rộng bản) áp dụng trong sản xuất túi vải không dệt cũng như sản xuất khẩu trang y tế công suất 2 kW tần số 20 kHz.

Thiết kế và chế tạo máy hàn siêu âm liên tục dạng dọc trục và dạng hướng kính để áp dụng trong sản xuất các sản phẩm có đường hàn phức tạp như áo choàng bảo hộ lao động, bảo hộ y tế công suất 1,2 kW tần số 20 kHz.

Xác định bộ thông số công nghệ hợp lý và tối ưu đảm bảo độ bền kéo đứt mỗi hàn đạt giá trị mong muốn và tối ưu.

#### **5.4 Kết quả của luận án**

*Khảo sát các ứng dụng hàn siêu âm cho nhựa nhiệt dẻo, vải không dệt:* đối với nhựa nhiệt dẻo PP có cấu trúc thù 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 từ 38  $\mu\text{m}$ .

*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  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$ . 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 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 dạng 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 dạng 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 9 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 – 1,6 – 2,0 s), áp lực hàn (2,5 – 3,0 – 3,5  $\text{kG/cm}^2$ ) đã được lựa chọn cho việc xác định các thông số hàn chính.



Kết quả phân tích hình ảnh mỗi hàn qua kính hiển vi điện tử SEM, các vùng chính của mỗi 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 dạng 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 mỗi hàn siêu âm vải không dệt đạt khoảng 79% giá trị độ bền kéo đứt của vật liệu ban đầu. Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền kéo đứt của mỗi 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 đường 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 kéo đứt của mỗi 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/cm<sup>2</sup>. Đối với Mẫu 4, độ bền kéo đứt cao nhất đạt được là 224,67 N khi  $t = 1,60$  s và áp lực hàn  $p = 3,09$  kG/cm<sup>2</sup>. Đối sánh giữa kết quả thực tế với kết quả tính toán quy hoạch thực nghiệm với Mẫu 3 có mức lệch là: 1,19 %, Mẫu 4 có mức lệch là: 0,77 %

## **5.5 Đề xuất hướng nghiên cứu và phát triển tiếp theo của luận án**

Luận án tập trung nghiên cứu phương pháp hàn siêu âm và các thông số công nghệ áp dụng cho vật liệu vải không dệt. Ngoài phương pháp hàn siêu âm gián đoạn thì hiện nay phương pháp hàn siêu âm liên tục ngày càng được sử dụng rộng rãi để thay thế dần phương pháp may truyền thống áp dụng cho các loại vật liệu khác nhau như: vải không dệt, nhựa nhiệt dẻo dạng màng mỏng khác.

Hướng nghiên cứu và phát triển tiếp theo của luận án được đề nghị như sau:

**Về phương pháp luận:** tiếp tục nghiên cứu cũng như sử dụng các phương pháp luận khác để tiến hành tối ưu hóa các thông số công nghệ của quá trình hàn siêu âm với mục đích tạo ra mối hàn có độ bền và năng suất đáp ứng yêu cầu thực tế.

**Về mặt công nghệ:** tiếp tục tiến hành nghiên cứu và chế tạo các loại máy hàn siêu âm liên tục thay thế dần phương pháp may gia công thông thường đối với các loại vật liệu nhựa nhiệt dẻo dạng tấm hoặc màng mỏng. Đặc biệt, công cụ máy hàn siêu âm hướng kính có năng suất cao, giảm ma sát trong quá trình dịch chuyển phôi hàn... sẽ được tập trung nghiên cứu.

**Về mặt thực tiễn:** Nghiên cứu xây dựng một quy trình công nghệ cho phương pháp hàn siêu âm đối với vật liệu vải không dệt. Tùy vào yêu cầu của nhà sản xuất về năng suất và độ bền của sản phẩm hàn mà từ đó sẽ áp dụng bộ thông số công nghệ hợp lý cho quá trình sản xuất.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### 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.

### Kỹ 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).

### Kỹ 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 Tp. Hồ Chí Minh, Tp. Hồ Chí Minh - Việt Nam. ISBN 978-604-73-3158-7.