

BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN MẠNH TIẾN

**NGHÊN CỨU CÔNG NGHỆ BIẾN DẠNG TẠO HÌNH CHI TIẾT
RỔNG CÓ HÌNH DẠNG PHỨC TẠP TỪ HỢP KIM NHÔM
HỆ Al - Zn - Mg - Cu**

Ngành: Kỹ thuật cơ khí
Mã số: 9 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2020

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học:
PGS. TS Nguyễn Trường An
TS Trần Đức Hoàn

Phản biện 1: PGS. TS Trần Văn Dũng – Đại học BKHN

Phản biện 2: PGS. TS Đinh Văn Phong – Học viện KTQS

Phản biện 3: PGS. TS Đinh Văn Chiến – Đại học Mở - Địa chất

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo Quyết định số 3644/QĐ - HV, ngày 22 tháng 10 năm 2020 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật quân sự vào hồi.....giờ ngày..... tháng Năm 2020

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

Siêu dẻo là khả năng biến dạng dẻo với mức độ lớn của kim loại hoặc hợp kim trong những điều kiện nhất định về tổ chức, nhiệt độ và tốc độ biến dạng dưới tác động của ứng suất có giá trị nhỏ và phụ thuộc vào tốc độ biến dạng. Hiệu ứng siêu dẻo được phát hiện đầu tiên vào những năm 40 của thế kỷ 20 do nhà khoa học người Nga A.A. Бочвар khi nghiên cứu biến dạng hợp kim cùng tinh Al - Zn, thu được mức độ biến dạng trên 400%. Kể từ đó đến nay đã có nhiều công trình nghiên cứu nhằm làm sâu sắc và hoàn thiện những vấn đề lý thuyết và công nghệ của quá trình biến dạng siêu dẻo.

Hiện nay trên thế giới công nghệ tạo hình siêu dẻo đã được ứng dụng rộng rãi để chế tạo các chi tiết trong các ngành công nghiệp trọng điểm: thiết bị bay, hàng không vũ trụ, ô tô để chế tạo các chi tiết có kích thước lớn, hình dạng phức tạp, các chi tiết đòi hỏi mức độ biến dạng lớn và cơ tính đồng đều, các chi tiết yêu cầu độ bền riêng lớn, đặc biệt là các chi tiết làm từ vật liệu khó biến dạng, độ bền cao. Trong các nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng nhược điểm của công nghệ siêu dẻo là: năng suất thấp, cần phải chuẩn bị tổ chức cho vật liệu, sự phân bố chiều dày thành sản phẩm không đồng đều, có thể dẫn đến sự thay đổi tổ chức vật liệu khi tạo hình ở nhiệt độ cao và thời gian dài.

Chính vì vậy, vấn đề đặt ra cho các nghiên cứu công nghệ tạo hình siêu dẻo là phải nâng cao khả năng biến dạng dẻo của vật liệu khó biến dạng, tăng khả năng tạo hình sản phẩm có hình dạng phức tạp từ phôi tấm, đồng thời xác định được quy luật và mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình tạo hình siêu dẻo, các biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm.

Với các lý do nêu trên, đề tài *Nghiên cứu công nghệ biến dạng tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm hệ Al - Zn - Mg - Cu* được lựa chọn nhằm góp một phần vào việc làm chủ công nghệ biến dạng tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm, tạo cơ sở ban đầu và quan trọng để ứng dụng công nghệ tạo hình đặc biệt này vào thực tế sản xuất tại Việt Nam.

1. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

- **Mục tiêu nghiên cứu:** Nghiên cứu khả năng tạo hình các chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm hệ Al-Zn-Mg-Cu khi biến dạng siêu dẻo vật liệu tấm dưới tác động của khí nén.

- Nội dung nghiên cứu

+ Nghiên cứu chuẩn bị và thực nghiệm tạo tổ chức hạt nhỏ cho tấm hợp kim nhôm AA7075.

+ Đánh giá khả năng tạo hình và xác định khoảng giá trị của các thông số công nghệ để vật liệu đã được chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ có thể biến dạng trong điều kiện siêu dẻo.

+ Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ: áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} , thời gian tạo hình t_{th} đến chiều cao tương đối và mức độ biến mỏng thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm khi tạo hình siêu dẻo tấm hợp kim nhôm AA7075.

2. Đối tượng nghiên cứu

+ Hợp kim nhôm AA7075 (hệ hợp kim Al-Zn-Mg-Cu);

+ Tạo hình chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp bằng biến dạng siêu dẻo.

3. Phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu công nghệ biến dạng tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén;

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ: áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} , thời gian tạo hình t_{th} tới quá trình biến dạng tạo hình siêu dẻo.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Kết hợp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm kiểm chứng.

- Công cụ nghiên cứu:

+ Hệ thống thiết bị, khuôn mẫu, dụng cụ và thiết bị đo tại phòng Thí nghiệm Gia công áp lực - Bộ môn Gia công áp lực; phòng Thí nghiệm Cơ tính, phòng thí nghiệm Nhiệt luyện - Bộ môn Vật liệu và Công nghệ Vật liệu; Khoa Cơ khí, HVKTQS; phòng Cơ - lý, Trung tâm Đo lường, Viện Công nghệ, Tổng cục CNQP.

+ Phần mềm tính toán và xử lý số liệu MathCAD, Matlab, Modde...

+ Phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN) để xác định ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến khả năng biến dạng và chất lượng sản phẩm.

5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn

*** Ý nghĩa khoa học**

Luận án đã xác định được khoảng giá trị của các thông số công nghệ và đánh giá, phân tích ảnh hưởng của chúng tới khả năng tạo hình, tới chất lượng sản phẩm. Từ các kết quả thu được, góp phần hoàn thiện việc nghiên cứu về công nghệ tạo hình siêu dẻo các chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm độ bền cao.

*** Ý nghĩa thực tiễn**

+ Phương pháp nghiên cứu của luận án có thể được tham khảo khi nghiên cứu công nghệ tạo hình siêu dẻo cho các loại vật liệu tấm khác nhau.

+ Trang thiết bị, dụng cụ đập và phần mềm đo được thiết kế, chế tạo có thể được sử dụng cho các nghiên cứu khác nhau khi tạo hình siêu dẻo.

+ Các kết quả thu được cho phép lựa chọn các thông số công nghệ tạo hình siêu dẻo khi thiết kế quy trình công nghệ và ứng dụng trong thực tế sản xuất.

6. Các đóng góp mới của luận án

- Luận án đã nghiên cứu lựa chọn được chế độ công nghệ thích hợp để chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ, đồng trục cho hợp kim nghiên cứu.

- Đã xác định được các khoảng thông số công nghệ chính làm xuất hiện hiệu ứng siêu dẻo đối với hợp kim nghiên cứu.

- Đã nghiên cứu được ảnh hưởng của một số thông số công nghệ chính (áp suất khí nén tạo hình, nhiệt độ biến dạng, thời gian tạo hình) tới chiều cao tương đối của sản phẩm và mức độ biến mỏng vật liệu khi tạo hình chi tiết rỗng.

7. Bố cục của luận án

Bố cục luận án bao gồm các phần chính sau:

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Chương 2: Cơ sở lý thuyết tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén

Chương 3: Chuẩn bị tổ chức và xác định đặc trưng biến dạng siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075

Chương 4: Thực nghiệm tạo hình siêu dẻo

Kết luận chung và hướng phát triển của đề tài

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về biến dạng siêu dẻo

Hiện tượng siêu dẻo được đặc trưng bởi 3 dấu hiệu cơ bản:

- Mức độ biến dạng dẻo rất lớn, có thể đạt tới hàng trăm, thậm chí hàng nghìn phần trăm mà vật liệu không bị phá hủy.

- Ứng suất cần thiết để biến dạng siêu dẻo vật liệu rất nhỏ so với biến dạng dẻo ở trạng thái thông thường.

- Ứng suất biến dạng siêu dẻo rất nhạy cảm với sự thay đổi tốc độ biến dạng nghĩa là kim loại hóa bền bởi tốc độ biến dạng.

Biến dạng siêu dẻo được phân loại theo nhiều tiêu chí khác nhau, tuy nhiên khi phân loại dựa vào tổ chức hạt của vật liệu, biến dạng siêu dẻo bao gồm: siêu dẻo do chuyển biến pha và siêu dẻo cấu trúc.

Để xuất hiện siêu dẻo cấu trúc thì cần phải đảm bảo ba điều kiện: Tổ chức của vật liệu, nhiệt độ biến dạng và tốc độ biến dạng, cụ thể như sau:

- Tổ chức vật liệu: Các kim loại và hợp kim có tổ chức hạt nhỏ và đồng đều (thường $<15\mu\text{m}$), trong thời gian biến dạng kích thước hạt hầu như không thay đổi theo thời gian;

- Nhiệt độ biến dạng: khoảng nhiệt độ biến dạng để xuất hiện hiệu ứng siêu dẻo khá rộng, thông thường dao động từ khoảng $(0,5 \div 0,9)T_{nc}$ (T_{nc} - nhiệt độ nóng chảy của vật liệu theo Kelvin). Yêu cầu nhiệt độ này không đổi trong suốt quá trình biến dạng và đồng đều trên toàn bộ phôi.

- Tốc độ biến dạng: tốc độ biến dạng phải đủ nhỏ để xảy ra quá trình khuếch tán và phải đủ lớn ở nhiệt độ cao để đảm bảo các hạt không lớn lên trong quá trình gia công. Thông thường tốc độ biến dạng siêu dẻo thường dao động trong khoảng từ $(10^{-5} \div 10^{-1}) \text{ s}^{-1}$.

Khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu được đánh giá bởi giá trị hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng của ứng suất chảy - hệ số m . Thông thường vật liệu có ứng xử siêu dẻo khi hệ số m có giá trị từ 0,3 đến 0,8. Giá trị m càng lớn thì khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu càng cao.

Các vật liệu siêu dẻo cấu trúc biểu hiện tính chất siêu dẻo thông qua kích thước của các hạt tinh thể, các hạt tinh thể này có kích thước micromet hoặc nanomet. Vật liệu siêu dẻo cấu trúc bao gồm các kim loại và hỗn hợp kim loại. Các vật liệu kim loại siêu dẻo cấu trúc có thể được chia thành các nhóm sau: hợp kim nhôm (AMr4, AMr6, D16, D19, 1570, 5083, 7049, ...); hợp kim kẽm (IA8, IA12, IA22, IA27, ...); hợp kim đồng (Cu-39%Zn, Cu-9%Al,...); hợp kim magiê (MA8, MA15, MA21, AZ91, ZC71,...); hợp kim titan (BT6c, BT14, Ti-6Al-4V,...); hợp kim niken (ЖС6КП, ЖС6К,...); một số mác thép (thép hợp kim cao, thép không gỉ hai pha, thép dụng cụ,...); composit nền kim loại...

1.2. Hợp kim nhôm độ bền cao hệ Al - Zn - Mg - Cu

1.3. Các phương pháp chuẩn bị tổ chức vật liệu

1.3.1. Các phương pháp chuẩn bị tổ chức vật liệu

- Phương pháp hóa học.
- Phương pháp luyện kim.
- Phương pháp luyện kim bột.
- Phương pháp nhiệt luyện.
- Phương pháp biến dạng dẻo mãnh liệt.
- Phương pháp gia công cơ nhiệt.

Trong các phương pháp chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ nêu trên, nhận thấy phương pháp gia công cơ nhiệt thích hợp cho đối tượng là vật liệu tấm. Bản chất của sự thay đổi tổ chức hạt trong quá trình gia công cơ nhiệt là sự ảnh hưởng của biến dạng dẻo đến chuyển biến pha. Như đã biết sự chuyển biến pha sẽ được tăng tốc khi biến dạng dẻo xảy ra và xuất hiện các hạt phân tán tại vị trí hình thành các tấm phiến. Quá trình gia công cơ nhiệt phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố khác nhau, và ảnh hưởng của nó đến cơ tính và tổ chức của vật liệu cũng rất phức tạp. Khả năng biến dạng của vật liệu phụ thuộc vào thành phần hóa học, sự phân bố tổ chức, kích thước hạt và sơ đồ biến dạng. Kích thước hạt càng nhỏ mịn, phân bố đồng đều thì vật liệu có độ bền và tính dẻo càng tốt. Khi mức độ biến dạng càng lớn thì các hạt biến dạng có kích thước càng nhỏ và phân bố đồng đều hơn, do đó tổ chức được cải thiện. Như vậy, biến dạng ngoài khả năng tạo hình ra sản phẩm, còn có khả năng nâng cao cơ tính cho vật liệu sản

phẩm. Một vấn đề đặt ra là phải tạo cho vật liệu có khả năng biến dạng lớn, biến dạng được nhiều lần.

Thông qua chế độ xử lý nhiệt phù hợp sẽ thu được tổ chức tế vi các hạt mới có kích thước hạt nhỏ, chứa ít sai lệch, đồng thời có tác dụng hóa mềm, khử được hiện tượng tập trung ứng suất làm cho tính dẻo tăng, nâng cao được khả năng biến dạng dẻo của vật liệu. Do đó, phối hợp các công đoạn xử lý nhiệt và biến dạng vật liệu một cách hợp lý sẽ nhận được sản phẩm có độ bền, tính dẻo cao, tổ chức hạt được cải thiện về kích thước và độ đồng đều từ các vật liệu đã có.

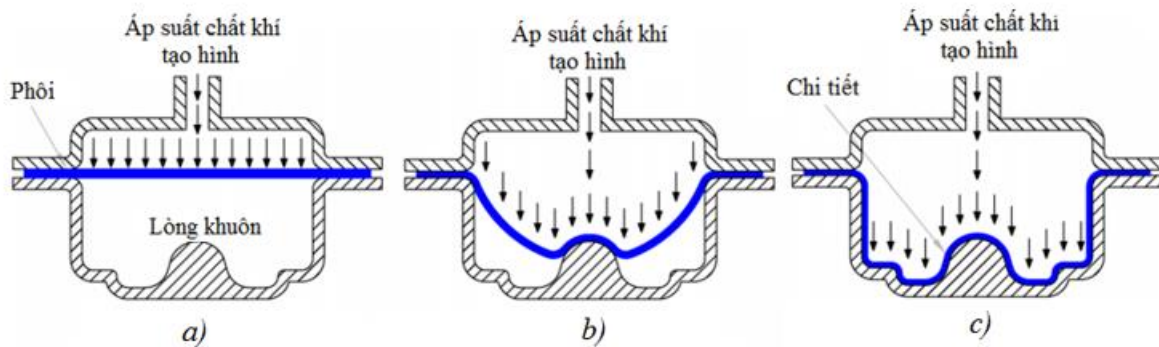
Hiện nay, phương pháp gia công cơ nhiệt áp dụng đối với hợp kim nhôm được phân chia thành ba nhóm chính như sau: Gia công cơ nhiệt nhiệt độ cao (HTMT - High temperature Thermomechanical Treatments), gia công cơ nhiệt nhiệt độ thấp (LTMT - Low temperature Thermomechanical Treatments) và gia công cơ nhiệt kết hợp (CTMT - Combined Thermomechanical Treatments).

Qua nghiên cứu, phân tích nhận thấy rằng, trong các phương pháp chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ mịn thì phương pháp gia công cơ nhiệt kết hợp là phương pháp có thể cho phép thu được vật liệu tấm có tổ chức nhỏ mịn đối với các mác hợp kim nhôm công nghiệp; có thể tiến hành được ở cả nhiệt độ thấp và cao nhờ sử dụng đồ gá và thiết bị gia nhiệt chuyên dùng; cho phép tạo ra phôi tấm có tổ chức nhỏ mịn phục vụ tạo hình các chi tiết dạng rỗng... Bên cạnh đó, yêu cầu về trang thiết bị, dụng cụ để xử lý nhiệt và biến dạng khá đơn giản, dễ chế tạo, phù hợp với điều kiện các phòng thí nghiệm, đồng thời có khả năng ứng dụng cao ở quy mô công nghiệp. Do đó, luận án lựa chọn sơ đồ gia công cơ nhiệt kết hợp để tiến hành chuẩn bị tổ chức hạt phục vụ tạo hình siêu dẻo cho phôi vật liệu nghiên cứu.

1.4. Công nghệ tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm

1.4.1. Đặc điểm và sơ đồ công nghệ

Công nghệ tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm cho phép chế tạo các chi tiết rỗng từ phôi phẳng hoặc phôi có biên dạng tạo trước hoặc phôi ống dưới tác dụng của khí nén. Chi tiết nhận được có biên dạng của chày hoặc cối. Công nghệ SPF có thể cho phép nhận được các chi tiết với hình dạng phức tạp qua 1÷2 nguyên công mà không cần ủ trung gian. Quá trình công nghệ được thực hiện đơn giản, giá thành thấp, hao phí kim loại ít.



Hình 1.11. Sơ đồ kết cấu khuôn tạo hình siêu dẻo bằng khí nén

a) Trước khi biến dạng, b) Quá trình biến dạng, c) Kết thúc

* Ưu điểm công nghệ SPF:

- + Có thể cho phép tạo hình được các chi tiết có hình dáng phức tạp có độ chính xác cao qua 1÷2 nguyên công do vật liệu có tính dẻo cao;
- + Có thể chế tạo các chi tiết có kích thước lớn trên các thiết bị có công suất nhỏ do ứng suất chảy dẻo trong vật liệu thấp;
- + Có thể nhận được các chi tiết có họa tiết phức tạp (micro, macro);
- + Có thể tạo hình dưới áp lực chất khí mà không cần chày hoặc cối;

+ Có thể gia công được các vật liệu có độ bền cao, khó biến dạng.

*** Nhược điểm công nghệ SPF:**

- + Phải chuẩn bị tổ chức vật liệu phôi ban đầu;
- + Gia công đẳng nhiệt làm phức tạp quá trình sản xuất;
- + Năng suất thấp, không phù hợp cho sản xuất lớn;
- + Độ đồng đều chiều dày thành chi tiết khó khống chế.

1.4.2. Phân loại công nghệ tạo hình siêu dẻo bằng khí nén

- Phân loại theo sơ đồ tạo hình cơ bản:
 - + Sơ đồ tạo hình âm bản;
 - + Sơ đồ tạo hình dương bản;
 - + Sơ đồ tạo hình phối hợp;
- Phân loại theo kích thước, hình dáng hình học trên bề mặt chi tiết;
- Phân loại theo dạng sơ đồ hệ thống SPF.

1.5. Tình hình nghiên cứu biến dạng siêu dẻo

1.5.1. Tình hình nghiên cứu biến dạng siêu dẻo trên thế giới

Với những ưu điểm nổi bật của công nghệ tạo hình siêu dẻo, các nhà khoa học trên thế giới đã thực hiện rất nhiều nghiên cứu nhằm không ngừng hoàn thiện và phát triển công nghệ này. Các nghiên cứu tập trung chủ yếu vào một số hướng cơ bản sau:

- *Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về khả năng biến dạng siêu dẻo và các bài toán tạo hình siêu dẻo;*

- *Nghiên cứu hoàn thiện và phát triển các sơ đồ tạo hình siêu dẻo.* Theo hướng này, các nguyên công tạo hình trước hoặc nguyên công hàn khuếch tán được sử dụng kết hợp với quá trình tạo hình siêu dẻo. Theo hướng này có thể kể đến các công trình của Gillo Giuliano, K. Siegert và T. Werle, N. Ridley, T.G Nieh, E. H. Чумаченко, M. B. Грабский, O. B. Норов nghiên cứu, ứng dụng các sơ đồ công nghệ tạo hình kết hợp với biến dạng siêu dẻo. Mục đích của việc sử dụng các sơ đồ tạo hình dạng này để đảm bảo mục đích tăng năng suất, nâng cao khả năng biến dạng cho vật liệu khó biến dạng và tăng chất lượng sản phẩm hoặc tăng khả năng tạo hình các chi tiết phức tạp.

- *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình biến dạng tạo hình siêu dẻo.* Các thông số công nghệ chính của quá trình tạo hình siêu dẻo được nghiên cứu bao gồm: tổ chức vật liệu (kích thước hạt, thành phần hóa học và thành phần pha), nhiệt độ biến dạng (T_{bd}), tốc độ biến dạng ($\dot{\epsilon}$), áp suất khí nén tạo hình (p_{th}), thời gian tạo hình (t_{th}), áp suất khí nén đối áp (p_d), ma sát giữa phôi và dụng cụ (μ), thông số hình học dụng cụ....

Tuy nhiên, các công trình đã được công bố chủ yếu nghiên cứu ảnh hưởng độc lập của các yếu tố công nghệ riêng lẻ đến khả năng biến dạng siêu dẻo của các loại vật liệu (mức độ giãn dài tương đối, ứng suất chảy của vật liệu, hệ số nhạy cảm của tốc độ biến dạng vào ứng suất chảy, mức độ phân bố chiều dày thành của sản phẩm...). Mỗi thông số có những tác động ảnh hưởng nhất định đến khả năng tạo hình và quá trình tạo hình. Các công bố về quá trình công nghệ tạo hình cho các chi tiết có hình dạng phức tạp rất hạn chế, chưa đưa ra được các khuyến cáo cụ thể và chưa được hệ thống hóa. Ngoài ra, các nghiên cứu về tác động ảnh hưởng tương hỗ của các thông số đến quá trình công nghệ và khả năng biến dạng siêu dẻo chưa được xem xét một cách toàn diện.

- *Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng số quá trình tạo hình siêu dẻo.* Bên cạnh các định hướng nghiên cứu về công nghệ siêu dẻo đã trình bày ở trên, một vấn đề đặt ra là quá trình thử nghiệm tạo hình siêu dẻo ở nhiệt độ cao và trong môi trường đẳng nhiệt luôn là vấn đề khó khăn, tốn kém cả thời gian và chi phí. Để khắc phục những khó khăn này, hiện nay mô phỏng tính toán quá trình biến dạng bằng phương pháp phần tử hữu hạn là một phương pháp

mới và đang được ứng dụng hết sức rộng rãi đặc biệt là ở các nước có nền công nghiệp phát triển. Bằng phương pháp mô phỏng số có thể mô phỏng quá trình tạo hình siêu dẻo, xác định được sự phân bố biến dạng, ứng suất, biến dạng tương đương, trường tốc độ biến dạng, trường nhiệt độ trong vật thể biến dạng, sự phân bố chiều dày, lượng biến mỏng vật liệu, các kết quả tối ưu... kể cả các hiện tượng phế phẩm. Các phần mềm mô phỏng quá trình biến dạng siêu dẻo được sử dụng phổ biến hiện nay bao gồm: Deform, Eta - Dynaform, ABAQUS, Qform, Ansys...

- *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ tạo hình siêu dẻo trong các ngành công nghiệp trọng điểm và kỹ thuật Quân sự.*

1.5.2. Tình hình nghiên cứu biến dạng siêu dẻo trong nước

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về siêu dẻo còn rất mới mẻ và hạn chế, các vấn đề được đề cập chủ yếu là các phương pháp chuẩn bị tổ chức cho biến dạng siêu dẻo từ các vật liệu thông dụng như đồng M1, nhôm và hợp kim nhôm... Các loại vật liệu có độ bền cao, vật liệu khó biến dạng và đặc biệt là công nghệ tạo hình siêu dẻo chỉ mới bước đầu được xem xét nghiên cứu.

Luận án tiến sĩ “*Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số công nghệ khi biến dạng hợp kim Titan sử dụng trong chế tạo vũ khí*” của tác giả Lê Mạnh Hùng là một trong những công trình đầu tiên nghiên cứu xác định chế độ công nghệ biến dạng dẻo hợp kim Ti-5Al-3Mo-1,5V nấu luyện ở trong nước, góp phần triển khai thực tiễn cho việc chế tạo các chi tiết của tên lửa phòng không tầm thấp. Luận án đã sử dụng thành công công nghệ ép chu kỳ trong khuôn kín để đạt được cấu trúc hợp kim nhỏ mịn và đạt được cơ tính cao so với phôi đúc, rèn ban đầu. Luận án đã tối ưu hóa được các thông số công nghệ (nhiệt độ biến dạng, tốc độ biến dạng) khi gia công hợp kim Ti-5Al-3Mo-1,5V nhằm đạt được mức độ biến dạng siêu dẻo lớn nhất.

Như vậy, nhận thấy rằng phạm vi nghiên cứu của công nghệ siêu dẻo còn hạn chế. Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến khả năng biến dạng và chất lượng sản phẩm, cụ thể là sự phân bố chiều dày thành và sự thay đổi kích thước hạt của vật liệu trong quá trình biến dạng, tuy nhiên các nghiên cứu về ảnh hưởng tổng hợp đến chất lượng sản phẩm thì hầu như chưa có nghiên cứu nào đề cập đến. Do đó các vấn đề đặt ra cho nghiên cứu công nghệ tạo hình siêu dẻo (lý thuyết và thực nghiệm) cần được mở rộng để có thể ứng dụng công nghệ này vào thực tế sản xuất trong nước.

1.6. Xác định vấn đề nghiên cứu cho luận án

Từ việc nghiên cứu tổng quan về siêu dẻo và công nghệ siêu dẻo, công nghệ tạo hình siêu dẻo bằng khí nén, các phương pháp chuẩn bị tổ chức vật liệu và ứng dụng của công nghệ siêu dẻo, luận án đã xác định được các nội dung chính cần nghiên cứu:

+ Nghiên cứu, xác định sơ đồ gia công cơ nhiệt nhằm tạo tổ chức hạt nhỏ mịn cho hợp kim nhôm AA7075 phục vụ tạo hình siêu dẻo;

+ Nghiên cứu đánh giá khả năng và xác định các đặc trưng cho quá trình tạo hình siêu dẻo tấm vật liệu;

+ Xác định các khoảng thông số công nghệ cho quá trình thực nghiệm tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng từ hợp kim nhôm AA7075;

+ Xác định sơ đồ tạo hình và thiết kế, chế tạo hệ thống khuôn tạo hình và trang thiết bị thực nghiệm;

+ Xây dựng mối quan hệ tương hỗ giữa các thông số công nghệ tạo hình đến khả năng tạo hình và chất lượng sản phẩm;

+ Từ các kết quả nghiên cứu, cho phép xác định chế độ công nghệ hợp lý khi tạo hình siêu dẻo các chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp.

1.7. Kết luận chương 1

Qua việc phân tích, đánh giá các kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới và trong nước, nhận thấy công nghệ tạo hình siêu dẻo bằng khí nén là một phương pháp tạo hình kim loại tiên tiến có nhiều ưu điểm nổi trội so với các phương pháp dập thông thường, đặc biệt thích hợp cho chế tạo các chi tiết phức tạp từ vật liệu khó biến dạng, độ bền cao. Thông qua đó, tác giả đã xác định được các nội dung chính cần nghiên cứu của luận án. Đó là nghiên cứu công nghệ biến dạng tạo hình siêu dẻo tấm hợp kim nhôm AA7075, từ đó đánh giá ảnh hưởng của một số thông số công nghệ cơ bản như: áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} và thời gian tạo hình t_{th} đến khả năng tạo hình siêu dẻo của hợp kim này.

CHƯƠNG 2

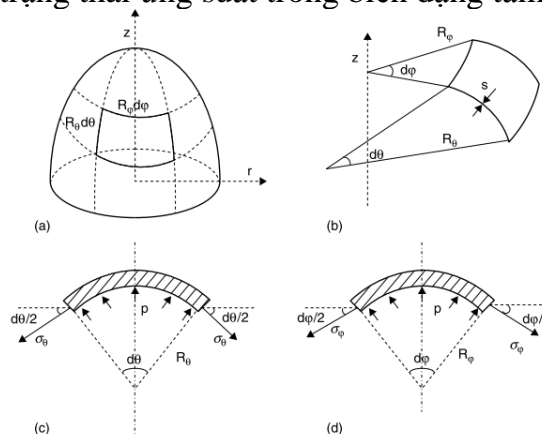
CƠ SỞ LÝ THUYẾT TẠO HÌNH SIÊU ĐẸO TẤM BẰNG KHÍ NÉN

Để giải quyết các nội dung nghiên cứu, trong chương 2 tác giả sẽ tập trung nghiên cứu cơ sở lý thuyết bài toán công nghệ tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén và phân tích làm rõ ảnh hưởng của các thông số cơ bản đến quá trình tạo hình. Đồng thời đưa ra cơ sở tính toán các thông số chính phục vụ cho luận án trong việc xây dựng phương án và tiến hành thực nghiệm tạo hình sản phẩm.

2.1. Bài toán biến dạng tạo hình siêu dẻo tấm bằng khí nén

Việc xây dựng mô hình bài toán biến dạng siêu dẻo dựa trên các giả thuyết đơn giản, sau đây:

- + Biến dạng đàn hồi là không đáng kể và có thể bỏ qua;
- + Tốc độ biến dạng được sử dụng trong quá trình biến dạng siêu dẻo thấp (trong khoảng $10^{-5} \div 10^{-3} s^{-1}$), trong các phương trình chuyển động lực quán tính có thể bỏ qua;
- + Trong quá trình biến dạng siêu dẻo, nhiệt độ biến dạng có phạm vi khá rộng, thông thường dao động trong khoảng từ $(0,5 \div 0,9)T_{nc}$. Vì vậy trong mô hình cần xem xét đến quá trình biến đổi nhiệt độ;
- + Vật liệu được giả định là đẳng hướng và không nén được. Hơn nữa, mối quan hệ giữa ứng suất tương đương và tốc độ biến dạng tương đương được định nghĩa theo mô hình cổ điển được áp dụng trong một phạm vi hẹp của tốc độ biến dạng đã được trình bày thông qua phương trình (1.1);
- + Độ dày của tấm là rất nhỏ so với các kích thước còn lại. Vì vậy, có thể sử dụng lý thuyết vỏ mỏng để mô tả trạng thái ứng suất trong biến dạng tấm.



Hình 2.1. Mô hình tính toán lý thuyết của vỏ mỏng

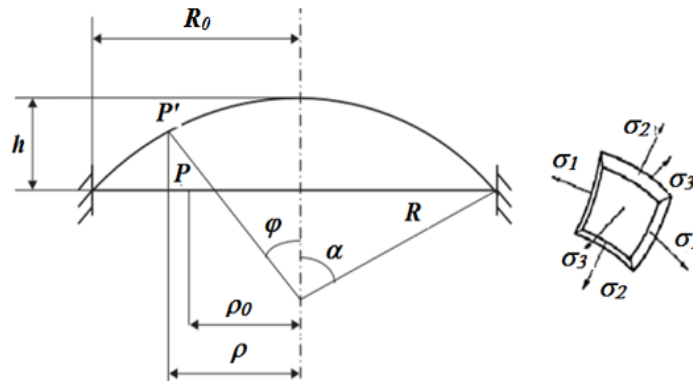
(a) bề mặt được đặc trưng bởi các đường kinh tuyến và các vòng tròn song song; (b) phần tử vỏ mỏng; (c) và (d) là ứng suất tiếp tuyến tác động lên bề mặt của phần tử

Mô hình toán học của các quá trình tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén được xây dựng dựa trên cơ sở về lý thuyết vỏ mỏng và quy luật chảy để xác định tương quan giữa

ứng suất và biến dạng trong phạm vi biến dạng siêu dẻo. Các mô hình thường được giới hạn trong hai trường hợp đặc biệt liên quan đến tạo hình từ một tấm phôi tròn và tấm phôi hình chữ nhật. Trong phạm vi nghiên cứu, luận án sẽ tập trung nghiên cứu mô hình bài toán tạo hình siêu dẻo trong quá trình biến dạng tự do từ phôi tròn. Đây là cơ sở cho việc xác định một số thông số công nghệ cũng như các đặc trưng của biến dạng siêu dẻo (áp suất khí nén tạo hình, hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng...).

Lý thuyết vỏ mỏng được sử dụng để mô tả trạng thái ứng suất trong một vỏ mỏng chịu áp suất tác dụng p . Hình 2.1 thể hiện bề mặt được đặc trưng bởi các đường cong, gọi là các đường kinh tuyến và các vĩ tuyến. Với s là chiều dày của tấm, R_θ và R_φ là hai bán kính cong của vỏ mỏng.

Sơ đồ quá trình biến dạng siêu dẻo phôi tấm bằng khí nén trong trạng thái tự do được thể hiện trên hình 2.3.



Hình 2.2. Sơ đồ mô tả biến dạng siêu dẻo phôi tấm trong trạng thái tự do

Tác giả Jovane là nhà nghiên cứu đầu tiên trình bày phương pháp phân tích gần đúng quá trình biến dạng siêu dẻo trong trạng thái tự do khi giả định rằng vùng biến dạng của tấm là một phần của bề mặt bán cầu. Giả thiết này đã được xác nhận bằng thực nghiệm trong giai đoạn biến dạng đầu tiên với hệ số nhạy cảm của ứng suất chảy với tốc độ biến dạng có giá trị lớn. Sự khác biệt được xác định qua thực nghiệm là gần với ngoại vi của tấm, biến dạng cắt là đáng kể và không thể bỏ qua. Trạng thái biến dạng phẳng được xác định khi tiếp xúc với cạnh của tấm dẫn đến giá trị của các ứng suất được xác định:

$$\sigma_\theta = \frac{pR}{2s}$$

$$\sigma_\varphi = \frac{\sigma_\theta}{2} \quad (2.12)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{3}\sigma_\varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}\sigma_\theta$$

Và tốc độ biến dạng:

$$\dot{\epsilon}_\theta = 0$$

$$\dot{\epsilon}_\varphi = -\dot{\epsilon}_t \quad (2.13)$$

$$\dot{\bar{\epsilon}} = \frac{2}{\sqrt{3}}\dot{\epsilon}_\varphi = -\frac{2}{\sqrt{3}}\dot{\epsilon}_t$$

Theo O. M. Смирнов, việc tính toán áp suất khí nén tạo hình phụ thuộc vào kích thước hình học chi tiết biến dạng, chiều dày phôi và ứng suất chảy của vật liệu trong trạng thái siêu dẻo. Áp suất khí nén để biến dạng chi tiết dạng trong xoay, bề mặt trơn nhẵn không có họa tiết trang trí có thể được xác định theo công thức:

$$p = \sigma_s \frac{4s_0 h K_s}{R_0^2 \left(1 + \frac{h^2}{R_0^2}\right)} \quad (2.28)$$

trong đó:

$K_s = s_0/s$ là hệ số tính tới mức độ không đồng đều chiều dày chi tiết.

Đối với chi tiết có họa tiết trang trí phức tạp hoặc là chi tiết dạng hình hộp thì giá trị áp suất cần thiết tăng tỷ lệ thuận với độ phức tạp, và giá trị này có thể tăng 1,5÷3 lần so với giá trị tính toán theo phương trình (2.28).

2.1.4. Phương pháp xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng

Có nhiều phương pháp được sử dụng để xác định hệ số m , trong đó có hai nhóm phương pháp được dùng phổ biến: nhóm phương pháp xác định hệ số m bằng thí nghiệm kéo đơn với sự thay đổi tốc độ biến dạng đột ngột [88] và nhóm phương pháp tạo hình siêu dẻo bằng khí nén trong trạng biến dạng thái tự do (Free forming test). Nhận thấy với phạm vi và đối tượng nghiên cứu đã xác định, luận án lựa chọn phương pháp xác định hệ số m trên cơ sở sử dụng thí nghiệm tạo hình siêu dẻo bằng khí nén trong trạng thái biến dạng tự do, với mô hình sơ đồ nguyên lý tạo hình được trình bày trên hình 2.3. Phương pháp này có những ưu điểm so với các phương pháp khác:

- + Không cần có thiết bị kéo mẫu với tốc độ chậm và có thể thay đổi tốc độ biến dạng đột ngột;
- + Dễ dàng hơn trong chuẩn bị mẫu (phôi) thí nghiệm so với việc chuẩn bị các mẫu tiêu chuẩn như khi thí nghiệm thử kéo;
- + Trạng thái ứng suất khi tạo hình siêu dẻo bằng áp suất khí nén trong trạng biến dạng thái tự do khác so với khi biến dạng kéo và tương đồng với trạng thái ứng suất của quá trình tạo hình siêu dẻo các sản phẩm dạng tấm bằng khí nén.

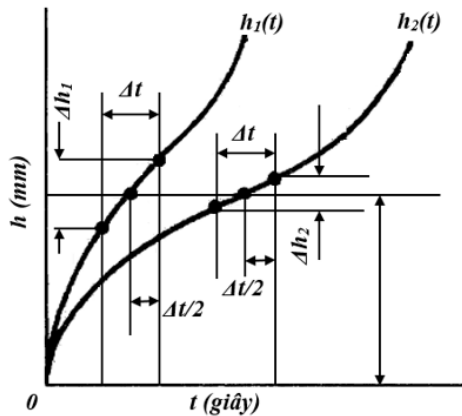
Từ mô hình tạo hình như hình 2.3, các đại lượng v_1 và v_2 tương ứng là tốc độ chuyển động của phần đỉnh bán cầu khi biến dạng tự do với giá trị chiều cao h tương ứng (tương ứng với các giá trị p_1 và p_2), các giá trị của v_1 và v_2 được xác định theo độ nghiêng của tiếp tuyến với đường cong chiều cao đỉnh bán cầu theo thời gian $h(t)$ như thể hiện trên hình 2.7. Giá trị chiều cao $h(t)$ được xác định trực tuyến theo thời gian nhờ hệ thống khuôn thực nghiệm với cảm biến đo hành trình theo sơ đồ hình 2.8. Các công thức tính toán xác định hệ số m :

$$v_{1,2} = \left(\frac{dh}{dt} \right)_{1,2} \quad (2.30)$$

$$\sigma_i = \frac{(R_0^2 + h_i^2)^2 P}{4S_0 h_i R_0^2} \quad (2.31)$$

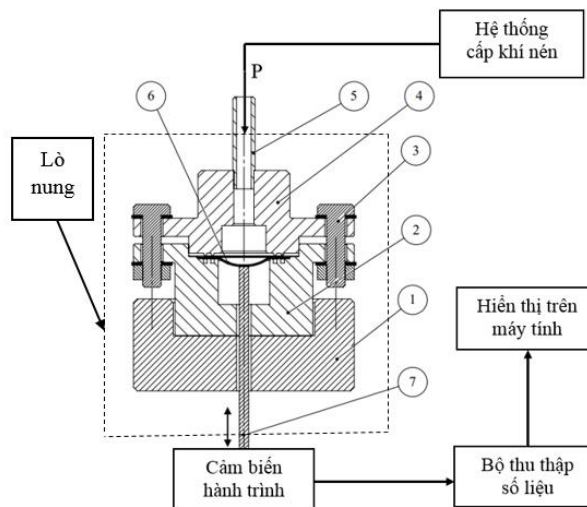
$$\dot{\epsilon}_i = \frac{2h_i v_i}{R_0^2 + h_i^2} \quad (2.32)$$

$$m = \frac{\lg P_1 - \lg P_2}{\lg v_1 - \lg v_2} \quad (2.34)$$



Hình 2.3. Chiều cao đỉnh bán cầu khi biến dạng tự do theo thời gian $h(t)$

Kết quả giá trị m theo công thức (2.34) được xác định theo các cặp giá trị p và v , rõ ràng nó tương ứng với một giá trị trung bình từ hai giá trị tốc độ biến dạng, tính theo công thức (2.32).



Hình 2.4. Sơ đồ khối hệ thống thực nghiệm xác định hệ số m (1÷5. Các chi tiết khuôn; 6. Phôi; 7. Ty cảm biến hành trình)

2.2. Ảnh hưởng của các thông số đến công nghệ tạo hình siêu dẻo

2.2.1. Ảnh hưởng của tổ chức hạt vật liệu

2.2.2. Ảnh hưởng của tốc độ biến dạng và nhiệt độ biến dạng

2.2.3. Ảnh hưởng của thời gian và áp suất tạo hình

2.2.4. Ảnh hưởng của ma sát đến quá trình tạo hình

2.3. Kết luận chương 2

Chương 2 đã trình bày mô hình bài toán tạo hình siêu dẻo tấm vật liệu trong trạng thái biến dạng tự do trên cơ sở nghiên cứu các công trình công bố gần đây. Mô hình quá trình tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén trong trạng thái biến dạng tự do được xây dựng dựa trên cơ sở về lý thuyết vỏ mỏng và quy luật chảy dẻo để xác định mối quan hệ tương quan giữa ứng suất và biến dạng. Thông qua mô hình bài toán tạo hình siêu dẻo trong trạng thái biến dạng tự do, xác định được một số thông số công nghệ của biến dạng siêu dẻo và xây dựng được phương pháp xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng. Bên cạnh đó, trong nội dung chương này cũng đã nghiên cứu quy luật và mức độ ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến khả năng tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm bằng khí nén. Đây sẽ là những cơ sở quan trọng cho việc tính toán, lựa chọn các thông số công nghệ trong quá trình thực nghiệm tạo hình sản phẩm.

Chương 3

CHUẨN BỊ TỔ CHỨC VÀ XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG BIẾN DẠNG SIÊU DẸO HỢP KIM NHÔM 7075

3.1. Mục đích và nội dung thực nghiệm

*** Mục đích thực nghiệm:**

Chuẩn bị tổ chức cho hợp kim AA7075 để đáp ứng quá trình tạo hình siêu dẻo, đồng thời xác định khả năng tạo hình siêu dẻo của vật liệu đã được chuẩn bị tổ chức. Thông qua các kết quả thực nghiệm xác định được giá trị của các thông số công nghệ phục vụ quá trình tạo hình chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp bằng khí nén.

*** Nội dung thực nghiệm:**

+ Tiến hành thực nghiệm chuẩn bị tổ chức cho hợp kim AA7075 đảm bảo xuất hiện hiện tượng siêu dẻo theo sơ đồ gia công cơ nhiệt được lựa chọn.

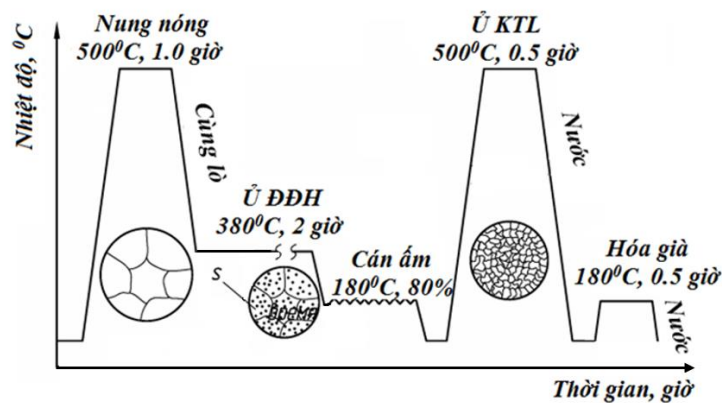
+ Thử nghiệm kéo phôi đã được chuẩn bị tổ chức ở điều kiện siêu dẻo (nhiệt độ không đổi và tốc độ biến dạng ban đầu nhỏ).

+ Thực nghiệm tạo hình siêu dẻo phôi tấm đã được chuẩn bị tổ chức bằng khí nén trong trạng thái biến dạng tự do để xác định hệ số m.

3.2. Thực nghiệm chuẩn bị tổ chức hạt cho tấm hợp kim nhôm AA7075

3.2.1. Lựa chọn sơ đồ gia công cơ nhiệt chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ cho hợp kim nhôm AA7075

Trên cơ sở phân tích về đặc điểm hợp kim nhôm Al-Zn-Mg-Cu, đặc điểm về nhiệt luyện, đặc điểm biến dạng, cùng với các kết quả nghiên cứu đã công bố của tác giả G. Kumaresan, lựa chọn được sơ đồ gia công cơ nhiệt tạo tổ chức hạt nhỏ cho hợp kim AA7075. Việc thực hiện quá trình gia công cơ nhiệt này cho phép giảm đáng kể về thời gian thực hiện so với các phương pháp khác. Các bước trong quy trình gia công cơ nhiệt làm nhỏ hạt cho hợp kim AA7075 được thể hiện trên sơ đồ hình 3.1.



Hình 3.1. Sơ đồ quy trình gia công cơ nhiệt hợp kim AA7075

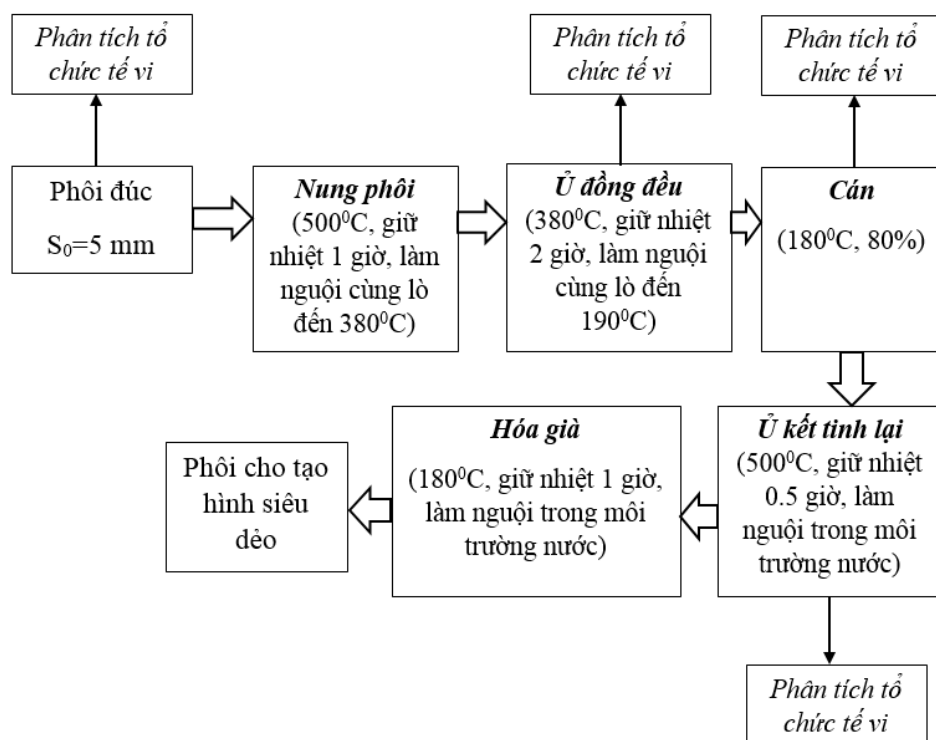
3.2.2. Chuẩn bị phôi và thiết bị thực nghiệm

*** Chuẩn bị phôi và kiểm tra thành phần hóa học:**

Phôi đúc hợp kim nhôm AA7075 có xuất xứ từ Cộng hòa Liên bang Đức được gia công với kích thước: dài x rộng x cao = 60 x 50 x 5(mm). Phôi được kiểm tra thành phần hóa học.

3.2.3. Các bước tiến hành thực nghiệm

Từ bảng 3.1 trên cơ sở đặc điểm cụ thể của vật liệu phôi, điều kiện trang thiết bị cụ thể và mục đích thực nghiệm xây dựng các bước thực nghiệm nghiệm với các thông số được thể hiện trên hình 3.8.



Hình 3.8. Sơ đồ các bước thực nghiệm theo chế độ gia công cơ - nhiệt

3.2.4. Kết quả thực nghiệm và phân tích

Bằng phần mềm Image J cho phép xác định thông số kích thước hạt thông qua ảnh tổ chức kim tương của vật liệu khá nhanh chóng và có độ chính xác tương đối cao. Thông qua kết quả thu được, cho thấy kích thước hạt của hợp kim AA7075 sau quá trình gia công cơ nhiệt đạt được nhỏ mịn (diện tích hạt trung bình nhỏ nhất đạt $130 \mu\text{m}^2$, tương ứng kích thước hạt trung bình đạt xấp xỉ $13 \mu\text{m}$) và tương đối đồng đều (giữa các vị trí khác nhau trên mẫu được kiểm tra tổ chức). Kết quả này một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của sơ đồ gia công cơ nhiệt đã xây dựng đối với hợp kim nhôm AA7075 và tổ chức vật liệu sau gia công cơ nhiệt hoàn toàn đảm bảo điều kiện cho hợp kim này có hiệu ứng siêu dẻo, phục vụ các bước công nghệ biến dạng tạo hình siêu dẻo tiếp theo.

3.3. Thực nghiệm đánh giá khả năng biến dạng siêu dẻo của hợp kim nhôm AA7075

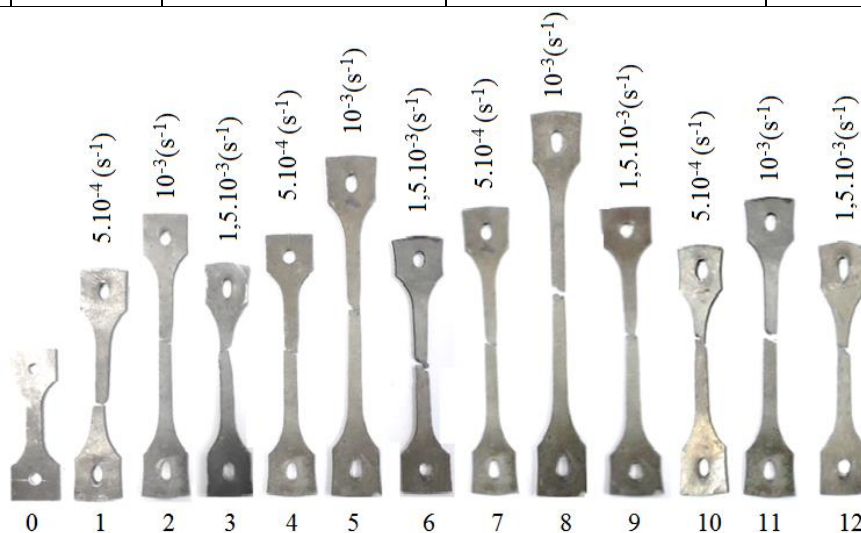
Thông qua việc khảo sát mối quan hệ ứng suất - biến dạng của hợp kim AA7075 ở nhiệt độ và tốc độ biến dạng khác nhau cũng như tính dẻo của hợp kim này, lựa chọn chế độ kéo mẫu trong điều kiện biến dạng siêu dẻo như sau: nhiệt độ biến dạng trong khoảng ($470 \div 550$) °C, tốc độ biến dạng ban đầu trong khoảng ($5 \cdot 10^{-4} \div 1,5 \cdot 10^{-3}$) s^{-1} .

Tiến hành thử kéo trong điều kiện siêu dẻo đã được xác định với các tốc độ kéo ban đầu khác nhau (do đó tốc độ biến dạng ban đầu khác nhau) và các nhiệt độ khác nhau. Số lượng, ký hiệu mẫu và chế độ thử kéo được mô tả như trong bảng 3.5. Kết quả thử kéo được trình bày trên hình 3.18 và bảng 3.6.

Bảng 3.5. Chế độ thử kéo trong điều kiện siêu dẻo

TT	Ký hiệu	Tốc độ kéo, mm/phút	Tốc độ biến dạng ban đầu, s^{-1}	Nhiệt độ, °C
1	M1	0,3	$5 \cdot 10^{-4}$	470
2	M2	0,6	10^{-3}	470
3	M3	0,9	$1,5 \cdot 10^{-3}$	470
4	M4	0,3	$5 \cdot 10^{-4}$	500
5	M5	0,6	10^{-3}	500

6	M6	0,9	$1,5 \cdot 10^{-3}$	500
7	M7	0,3	$5 \cdot 10^{-4}$	530
8	M8	0,6	10^{-3}	530
9	M9	0,9	$1,5 \cdot 10^{-3}$	530
10	M10	0,3	$5 \cdot 10^{-4}$	550
11	M11	0,6	10^{-3}	550
12	M12	0,9	$1,5 \cdot 10^{-3}$	550



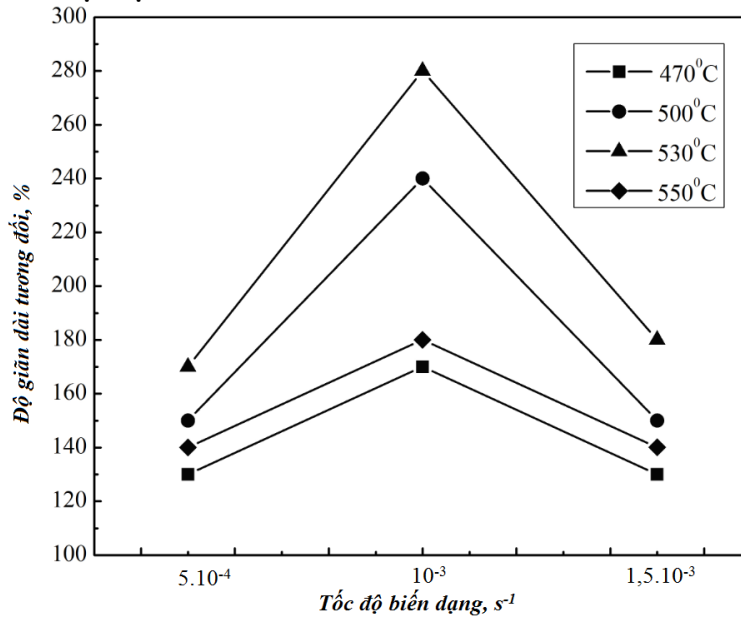
Hình 3.2. Các mẫu thí nghiệm sau khi kéo

Bảng 3.1. Kết quả thí nghiệm thử kéo mẫu trong điều kiện siêu dẻo

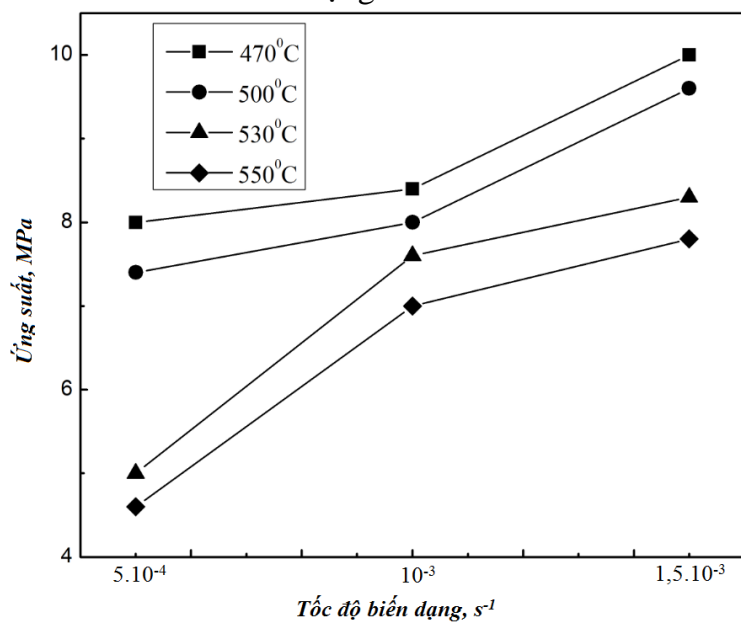
TT	Ký hiệu	Mức độ giãn dài tương đối δ , %	Ứng suất σ , MPa
1	M1	130	8,0
2	M2	170	8,4
3	M3	130	10
4	M4	150	7,4
5	M5	240	8,0
6	M6	150	9,8
7	M7	170	5,0
8	M8	280	7,6
9	M9	180	8,3
10	M10	140	4,6
11	M11	180	7,0
12	M12	140	7,8

Căn cứ vào hình ảnh mẫu sau thử kéo và các kết quả thu được, nhận thấy tiết diện ngang của mẫu kéo giảm đều dọc theo chiều dài mẫu, điều này khiến cho thời điểm xuất hiện cổ thắt khi kéo muộn và vì vậy cho phép thu được mức độ biến dạng lớn lên đến hàng trăm % (max >280%) so với khi tiến hành thí nghiệm kéo thông thường.

Căn cứ vào biểu đồ trên hình 3.19, nhận thấy với một tốc độ biến dạng nhất định, khi nhiệt độ tăng lên (từ 470^oC lên 550^oC) thì mức độ giãn dài tương đối (%) của các mẫu kéo tăng lên (do ứng suất chảy của vật liệu giảm). Mức độ tăng của độ giãn dài tương đối là lớn nhất khi tốc độ biến dạng đạt 10⁻³ (s⁻¹). Khi tốc độ biến dạng tăng từ 5.10⁻⁴ (s⁻¹) ÷ 10⁻³ (s⁻¹) thì mức độ giãn dài tương đối mẫu kéo tăng lên, nhưng khi tốc độ biến dạng tiếp tục tăng từ 10⁻³ (s⁻¹) ÷ 1,5.10⁻³ (s⁻¹) thì mức độ giãn dài của mẫu kéo lại giảm, điều này có thể giải thích do tốc độ biến dạng quá lớn nên không đủ thời gian để xảy ra quá trình khuếch tán tương ứng tạo ra các mặt phẳng thuận lợi cho trượt do vậy ứng suất tăng, độ giãn dài của mẫu kéo giảm. Trong khoảng thông số nghiên cứu, mức độ giãn dài tương đối đạt lớn nhất khi tốc độ biến dạng đạt 10⁻³ (s⁻¹) và nhiệt độ 530^oC.



Hình 3.3. Mức độ giãn dài tương đối của các mẫu kéo với trường hợp nhiệt độ và tốc độ biến dạng khác nhau



Hình 3.4. Ứng suất chảy của các mẫu kéo với trường hợp nhiệt độ và tốc độ biến dạng khác nhau

Căn cứ vào biểu đồ hình 3.20, nhận thấy với một tốc độ biến dạng nhất định, khi nhiệt độ tăng lên (từ 470^oC lên 550^oC) thì ứng suất chảy của vật liệu giảm xuống theo đúng tính chất vật lý của các loại vật liệu nói chung. Mức độ giảm của giá trị ứng suất chảy giảm nhiều

hơn khi nhiệt độ cao 530°C đến 550°C. Khi tốc độ biến dạng tăng từ $5.10^{-4} \div 1,5.10^{-3}$ (s^{-1}) thì ứng suất chảy của mẫu kéo tăng lên, điều này có thể giải thích là khi tốc độ biến dạng thấp, ở nhiệt độ cao có đủ thời gian để xảy ra quá trình khuếch tán tương ứng tạo ra các mặt phẳng thuận lợi cho trượt do vậy ứng suất giảm.

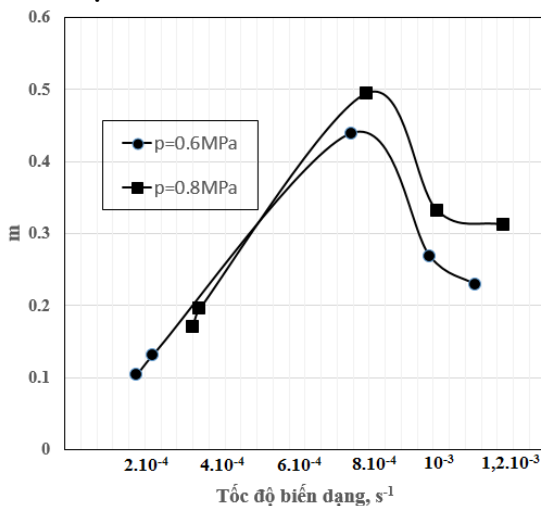
Căn cứ vào cả hai biểu đồ 3.19 và 3.20 cùng với các phân tích ở trên để thu được mức độ biến dạng tốt khi tạo hình siêu dẻo các chi tiết rỗng từ hợp kim nhôm AA7075, luận án lựa chọn khoảng nhiệt độ tạo hình siêu dẻo trong khoảng 500°C ÷ 530°C.

3.4. Thục nghiệm xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng

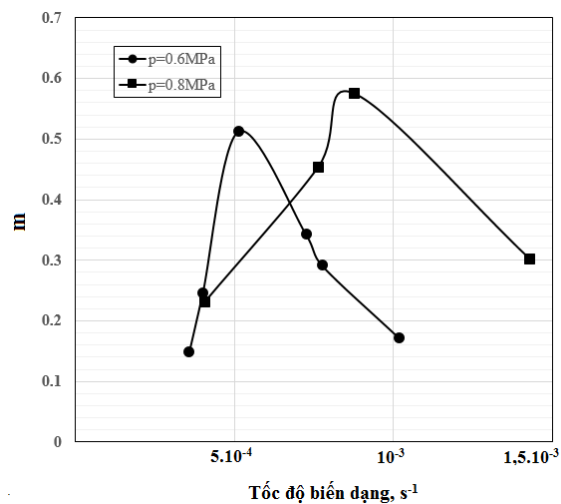
Căn cứ vào công thức (2.28), với giá trị của các đại lượng trong công thức được xác định và lựa chọn như sau: $\sigma_s = 7.5$ MPa (căn cứ vào kết quả thử kéo), $K_s = 1.17$ (với mức độ biến mỏng chiều dày thành trung bình là 20%), tỷ số $h/R_0 = 0.3 \div 1.0$. Thay số vào công thức (2.28) xác định được giá trị của áp suất khí nén tạo hình trong trạng thái tự do: $p = (0.696 \div 1.25)$ MPa.

Thí nghiệm tạo hình siêu dẻo trong trạng thái biến dạng tự do được thực hiện với áp suất khí nén nằm trong khoảng (0.4 ÷ 1.2) MPa. Nhiệt độ biến dạng được lựa chọn với hai giá trị là 500°C và 530°C.

Đồ thị xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng m theo chiều cao phần đỉnh cầu lồi và theo tốc độ biến dạng với các áp suất khí nén khác nhau ở nhiệt độ 500°C và 530°C được thể hiện trên hình 3.32 và hình 3.33.



Hình 3.5. Đồ thị mối quan hệ giữa $m - \dot{\epsilon}$ tại nhiệt độ 500°C với các áp suất khác nhau



Hình 3.6. Đồ thị mối quan hệ giữa $m - \dot{\epsilon}$ tại nhiệt độ 530°C với các áp suất khác nhau

Độ nhạy cảm với tốc độ biến dạng là một chỉ số quan trọng trong quá trình tạo hình siêu dẻo nhằm chống lại sự hình thành cổ thắt trong vật liệu khi biến dạng. Căn cứ vào đồ thị mối quan hệ giữa $m - \dot{\epsilon}$ (hình 3.32 và hình 3.33) nhận thấy khi áp suất tăng (từ 0.6MPa ÷ 0.8MPa), đường cong độ nhạy cảm với tốc độ biến dạng sẽ dịch chuyển sang phần có tốc độ biến dạng cao hơn. Khi nhiệt độ tăng, với cùng giá trị áp suất khí nén thì đường cong độ nhạy cảm với tốc độ biến dạng cũng dịch chuyển sang phần có tốc độ biến dạng lớn hơn và giá trị hệ số m lớn hơn. Nhận thấy với vật liệu là hợp kim AA7075 đã được chuẩn bị tổ chức, hệ số m lớn hơn 0,3 khi tạo hình siêu dẻo trong trạng thái tự do với áp suất khí nén và nhiệt độ không đổi (tốc độ biến dạng nằm trong khoảng $5.10^{-4} \div 1,5.10^{-3}$ s^{-1}). Kết quả này khẳng định khả năng biến dạng siêu dẻo của vật liệu nghiên cứu.

3.5. Kết luận chương 3

- Chuẩn bị tổ chức trước cho hợp kim nhôm AA7075 theo sơ đồ cơ nhiệt đã xác định trong hình 3.1. Kết quả thu được tổ chức hợp kim nhỏ mịn (diện tích hạt trung bình nhỏ nhất đạt $130 \mu\text{m}^2$, tương ứng kích thước hạt trung bình đạt xấp xỉ $13 \mu\text{m}$) và tương đối đồng đều (giữa các vị trí khác nhau trên mẫu được kiểm tra tổ chức). Tổ chức này đảm bảo điều kiện tạo hình siêu dẻo cho hợp kim nhôm AA7075.

- Tiến hành thử kéo tấm hợp kim nhôm AA7075 đã được chuẩn bị tổ chức trong điều kiện siêu dẻo với tốc độ biến dạng ban đầu từ $5 \cdot 10^{-4} \div 1,5 \cdot 10^{-3}$ và các nhiệt độ khác nhau. Kết quả thu được mức độ biến dạng (mức độ giãn dài) của mẫu kéo tương đối lớn ($\delta_{\text{max}}=280\%$) với ứng suất nhỏ hơn nhiều ($\sim 15\%$) khi kéo trong điều kiện thông thường. Căn cứ các kết quả thử kéo, lựa chọn được khoảng nhiệt độ tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075 là $500^\circ\text{C} \div 530^\circ\text{C}$.

- Xây dựng hệ thống trang thiết bị và thực nghiệm xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng của ứng suất chảy (m) theo phương pháp tạo hình siêu dẻo bằng khí nén trong trạng thái tự do. Giá trị của hệ số m khẳng định khả năng tạo hình siêu dẻo của hợp kim nghiên cứu. Căn cứ vào các kết quả thu được, lựa chọn được khoảng áp suất khí nén tạo hình siêu dẻo trong trạng thái biến dạng tự do là $(0,6 \div 0,8) \text{MPa}$.

Chương 4

THỰC NGHIỆM TẠO HÌNH SIÊU DẸO

4.1. Thực nghiệm tạo hình siêu dẻo

4.1.1. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

- **Mục tiêu nghiên cứu:** Nghiên cứu thực nghiệm tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm AA7075 nhằm xác định ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chiều cao tương đối và mức độ biến mỏng chiều dày tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm sau khi tạo hình.

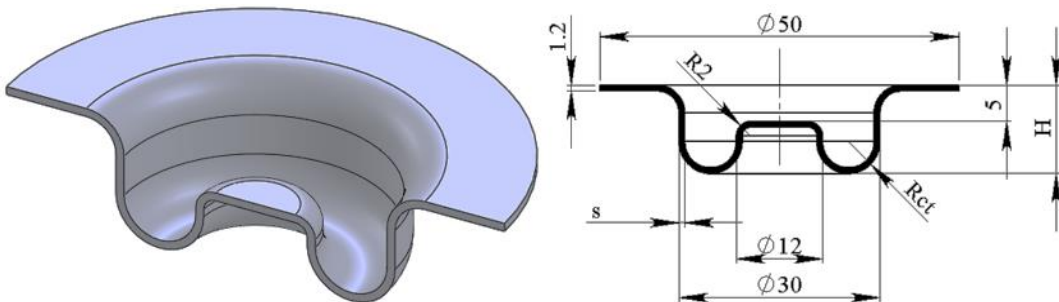
- **Nội dung thực nghiệm:**

+ Nghiên cứu thực nghiệm tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm AA7075 với các thông số công nghệ (áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} , thời gian biến dạng t_{th}) khác nhau.

+ Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao tương đối và mức độ biến mỏng chiều dày tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm bằng phương pháp QHTN.

4.1.2. Xây dựng chi tiết nghiên cứu

Trên cơ sở phân tích về công nghệ tạo hình và mô hình bài toán biến dạng siêu dẻo trong chương 1 và chương 2, tác giả xây dựng mô hình chi tiết thực nghiệm tạo hình với các thông số hình học được thể hiện trên hình 4.1.

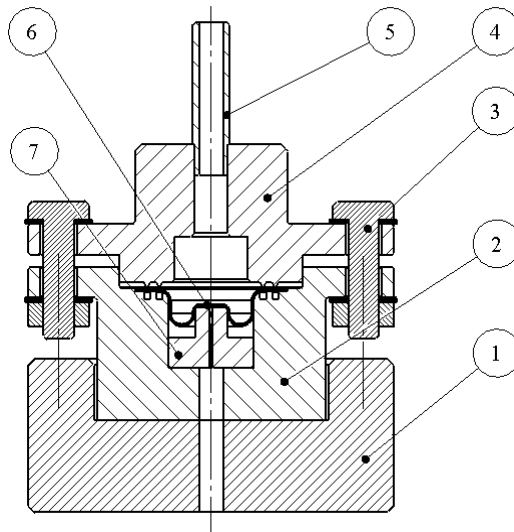


Hình 4.1. Chi tiết nghiên cứu

Phần vành của chi tiết chỉ đóng vai trò bịt kín trong quá trình tạo hình. Đây là chi tiết trụ tròn xoay, có hình dạng tương đối phức tạp. Các kích thước cố định bao gồm: đường kính phôi ban đầu (đường kính phần vành) là $\Phi 50\text{mm}$, chiều dày phôi ban đầu là $1,2\text{mm}$, đường

kính lỗ cối D là $\Phi 30\text{mm}$, chiều cao từ mặt đầu đến mặt trên của trụ nhỏ là 5mm, bán kính lượn trên của trụ nhỏ lấy bằng 2mm, đường kính trụ nhỏ phía trong là $\Phi 12\text{mm}$. Các kích thước tương đối biến đổi theo thời gian bao gồm: chiều dày sản phẩm s, chiều cao lớn nhất của sản phẩm H, bán kính bán cầu đáy dưới R_{ct} . Việc lựa chọn chi tiết dạng này đảm bảo khuôn biến dạng siêu dẻo theo sơ đồ của phương pháp tạo hình phối hợp (tạo hình âm bản tạo phần trụ ngoài, tạo hình dương bản tạo phần trụ nhỏ phía trong). Giai đoạn biến dạng trong trạng thái tự do ban đầu kết thúc khi phôi chạm lõi khuôn. Tiếp đó phần đáy bán cầu của chi tiết được hình thành nhờ quá trình biến dạng trong trạng thái tự do của phần vành khăn giữa thành cối và lõi khuôn. Như vậy phần đáy bán cầu, chiều dày sẽ bị biến mỏng với mức độ lớn nhất, đây chính là vị trí nguy hiểm trong điều kiện làm việc của chi tiết nghiên cứu.

4.1.3. Thiết bị và dụng cụ thực nghiệm



Hình 4.2. Mô hình khuôn thực nghiệm tạo hình

1 - định vị cối, 2 - cối tạo hình, 3 - kẹp chặt khuôn, 4 - Nắp bật kín, 5 - ống dẫn khí nén, 6 - phôi, 7 - lõi khuôn

4.1.4. Ứng dụng phương pháp QHTN để nghiên cứu quá trình tạo hình siêu dẻo

4.1.4.1. Cơ sở bài toán QHTN

Sử dụng quy hoạch trực giao cấp 2 để xây dựng mô hình toán học miêu tả phương trình hồi quy và quan hệ hàm giữa các nhân tố ảnh hưởng đối với các hàm mục tiêu.

4.1.4.2. Lựa chọn khoảng biến thiên của các thông số

- **Các thông số đầu vào:** Áp suất khí nén tạo hình p_{th} , Nhiệt độ biến dạng T_{bd} , Thời gian tạo hình t_{th} .

- **Các thông số đầu ra:** Chiều cao tương đối của sản phẩm $h^* = H/D$ và mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm $\varepsilon_s = (\Delta S/S_i) \cdot 100\%$ (trong đó: H là chiều cao lớn nhất của sản phẩm, D là đường kính ngoài phần trụ lớn của sản phẩm, S_i là chiều dày trung bình của sản phẩm tính theo định luật thể tích không đổi của từng thí nghiệm, $\Delta S = S_i - S^*$ là lượng biến mỏng chiều dày tại vị trí nguy hiểm, S^* là chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm).

Khoảng biến thiên của các thông số đầu vào được chọn trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Khoảng biến thiên của các thông số đầu vào

TT	Thông số đầu vào	Khoảng biến thiên
1	Áp suất khí nén tạo hình p_{th} , [MPa]	0.7 ÷ 0.9
2	Nhiệt độ biến dạng T_{bd} , [°C]	500 ÷ 530
3	Thời gian tạo hình, t_{th} , [phút]	20 ÷ 40

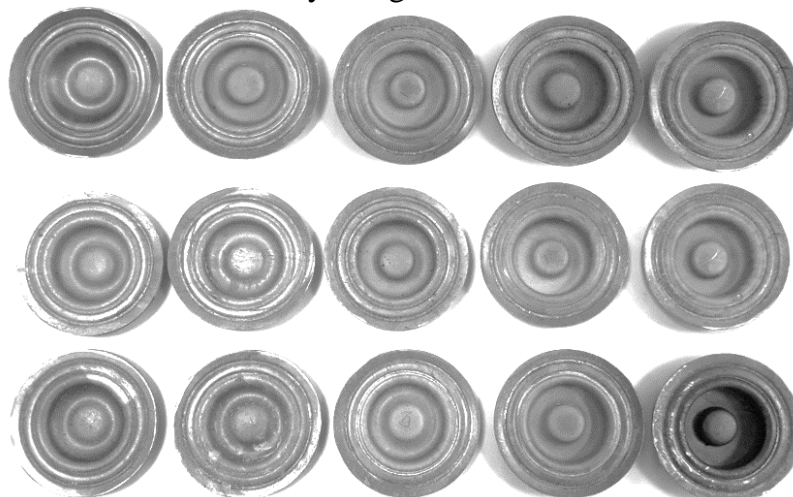
4.1.4.3. Xây dựng ma trận thực nghiệm

- Áp suất chất khí tạo hình (p_{th}) được mã hóa bởi biến x_1 ;
- Nhiệt độ biến dạng (T_{bd}) được mã hóa bởi biến x_2 ;
- Thời gian tạo hình (t_{th}) được mã hóa bởi biến x_3 ;

Hàm mục tiêu được xác định là chiều cao tương đối của sản phẩm h^* được mã hóa bằng hàm Y_1 và mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm ε_s được mã hóa bằng hàm Y_2 (%).

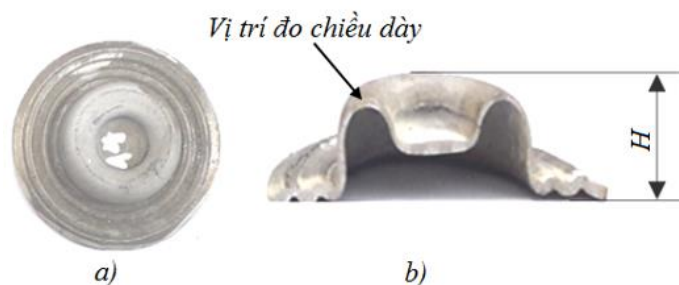
4.2. Kết quả thực nghiệm

Các sản phẩm tạo hình được trình bày trong hình 4.6.



Hình 4.3. Sản phẩm tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075

Tiến hành cắt đôi sản phẩm theo mặt phẳng đi qua trục đối xứng của chi tiết (hình 4.7). Đo kích thước chiều dày sản phẩm tại vị trí nguy hiểm tại Trung tâm đo lường - Viện Công nghệ - TCCNQP trên thiết bị kính hiển vi vạn năng JENA (Đức).



Hình 4.4. Sản phẩm sau khi cắt để đo kích thước hình học
a) sản phẩm thí nghiệm, b) xác định chiều cao và chiều dày thành

Bảng tổng hợp các kích thước sản phẩm và tính toán được trình bày trong bảng 4.4.

Bảng 4.2. Bảng kết quả thực nghiệm

No	H (mm)	S_i (mm)	S^* (mm)	ΔS (mm)	$\Delta S/S_i$ (%)	Y_1	Y_2 (%)
1	7.5	0.98	0.86	0.12	12	0.25	12
2	9.7	0.90	0.77	0.13	14	0.32	14
3	9.9	0.88	0.75	0.13	14.8	0.33	14.8
4	11.1	0.78	0.65	0.13	16.5	0.37	16.5
5	10.3	0.80	0.68	0.12	15.5	0.34	15.5

6	11.2	0.78	0.63	0.15	18.8	0.37	18.8
7	10.2	0.84	0.71	0.13	16	0.34	16
8	11.7	0.70	0.58	0.12	17	0.39	17
9	8.9	0.89	0.75	0.14	15.8	0.30	15.8
10	12.7	0.64	0.52	0.12	18.4	0.42	18.4
11	7.9	0.96	0.84	0.12	13	0.26	13
12	10	0.87	0.70	0.17	20	0.33	20
13	8.3	0.92	0.80	0.12	12.8	0.28	12.8
14	11.3	0.75	0.61	0.14	18.8	0.38	18.8
15	10.1	0.85	0.71	0.14	16.6	0.34	16.6

Các phương trình hồi quy được xây dựng có dạng:

* Phương trình hồi quy cho hàm mục tiêu chiều cao tương đối của sản phẩm:

$$Y_1 = 0.333 + 0.032x_1 + 0.021x_2 + 0.027x_3 - 0.014x_2x_3 + 0.022x_1^2 - 0.022x_2^2 \quad (4.10)$$

* Phương trình hồi quy cho hàm mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm:

$$Y_2 = 14.07 + 0.289x_1 + 1.142x_2 + 0.587x_3 + 0.425x_1x_2 + 0.425x_2x_3 + 0.325x_1x_3 + 2.407x_1^2 + 0.307x_2^2 + 0.849x_3^2 \quad (4.11)$$

4.4. Phân tích kết quả và bàn luận

4.4.1. Ảnh hưởng của các thông số đến chiều cao tương đối của sản phẩm

4.4.1.1. Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao tương đối của sản phẩm

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao tương đối của sản phẩm, căn cứ vào các phương trình 4.10 ta có:

$$Y_1(x_1, 1, 1) = 0.345 + 0.031x_1 + 0.022x_1^2 \quad (4.10a)$$

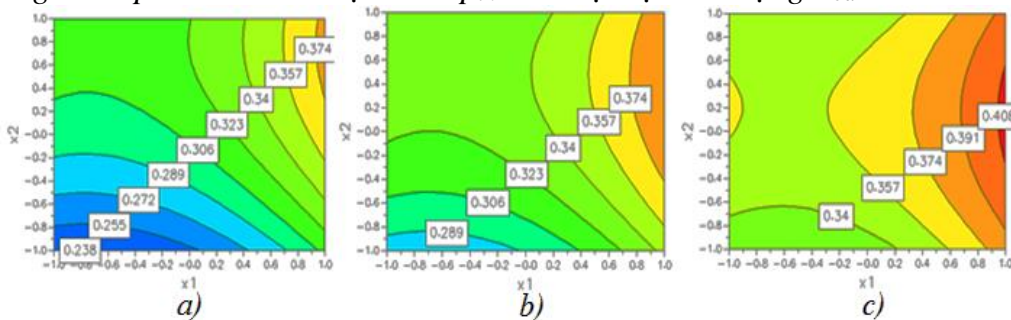
$$Y_1(1, x_2, 1) = 0.413 + 0.007x_2 - 0.022x_2^2 \quad (4.10b)$$

$$Y_1(1, 1, x_3) = 0.385 + 0.013x_3 \quad (4.10c)$$

Từ các phương trình 4.10a, 4.10b, 4.10c nhận thấy biến x_1 (áp suất tạo hình) có ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo là biến x_3 (thời gian tạo hình) và biến x_2 (nhiệt độ biến dạng) ảnh hưởng ít nhất đến chiều cao tương đối của sản phẩm.

4.4.1.2. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao tương đối của sản phẩm:

* Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và nhiệt độ biến dạng T_{bd}



Hình 4.19. Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và nhiệt độ biến dạng T_{bd} đến chiều cao tương đối của sản phẩm

a) $x_3 = -1$; b) $x_3 = 0$; c) $x_3 = 1$

- Khi thời gian tạo hình tăng thì thu được sản phẩm có chiều cao tương đối h^* lớn hơn.

$$+ x_3 = -1, h^*_{\min} = 0.238, h^*_{\max} = 0.374$$

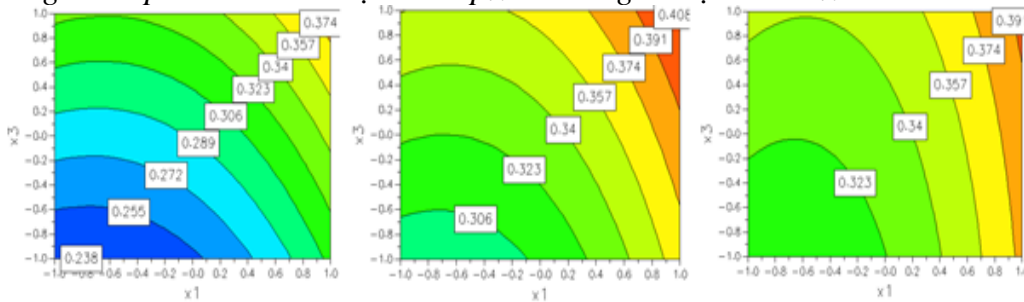
$$+ x_3 = 0, h^*_{\min} = 0.289, h^*_{\max} = 0.374$$

$$+ x_3 = 1, h^*_{\min} = 0.34, h^*_{\max} = 0.408$$

- Khi thời gian tạo hình ngắn (hình 4.19a), chiều cao tương đối h^* của sản phẩm phụ thuộc vào áp suất khí nén tạo hình và nhiệt độ biến dạng. Với xu hướng chung là khi nhiệt độ biến dạng và áp suất khí nén tạo hình tăng lên thì chiều cao tương đối h^* của sản phẩm tăng.

- Khi thời gian tạo hình dài (hình 4.19c), nhận thấy với các giá trị áp suất tạo hình $x_1 \in (-1 \div -0.3)$ thì chiều cao tương đối h^* của sản phẩm tăng khi nhiệt độ tăng, tuy nhiên khi giá trị áp suất tạo hình $x_1 > -0.3$ thì khi nhiệt độ biến dạng tăng đến một giá trị nhất định thì h^* tăng, khi nhiệt độ biến dạng tiếp tục tăng thì h^* có xu hướng giảm. Điều này có thể lý giải là do khi áp suất tăng thì tốc độ biến dạng của phôi tăng, cùng với nhiệt độ biến dạng cao sẽ làm khả năng biến dạng siêu dẻo của phôi giảm.

* Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và thời gian tạo hình t_{th}



Hình 4.20. Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và thời gian tạo hình t_{th} đến chiều cao tương đối của sản phẩm

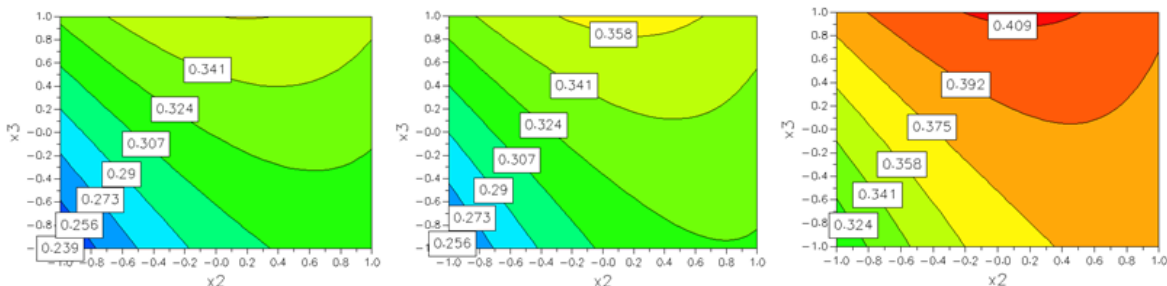
a) $x_2 = -1$; b) $x_2 = 0$; c) $x_2 = 1$

- Khi nhiệt độ biến dạng tăng trong khoảng $x_2 \in (-1 \div 0)$ thì chiều cao tương đối h^* của chi tiết tăng lên (h^*_{\max} tăng từ giá trị 0.374 lên 0.408). Tuy nhiên, nếu nhiệt độ biến dạng tiếp tục tăng $x_2 \in (0 \div 1)$ thì chiều cao tương đối h^* có xu hướng giảm. Điều này được giải thích là khi nhiệt độ tăng, làm cho quá trình lớn lên của hạt nhanh hơn, dẫn đến, làm giảm tốc độ biến dạng và do đó làm giảm mức độ biến dạng của vật liệu.

- Khi biến dạng với cùng nhiệt độ, chiều cao tương đối h^* của sản phẩm phụ thuộc vào áp suất khí nén tạo hình (x_1) và thời gian tạo hình (x_3). Với mỗi áp suất khí nén tạo hình, giá trị h^* tăng khi thời gian tạo hình tăng. Trên hình 4.20b nhận thấy h^* đạt giá trị lớn nhất khi $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 1$.

- Khi tạo hình với cùng thời gian (x_3), nhận thấy khi áp suất tạo hình $x_1 > -0.6$ thì với giá trị x_1 tăng thì h^* cũng tăng. Khi $x_1 < -0.6$ với áp suất tạo hình tăng thì giá trị h^* giảm.

* Ảnh hưởng của nhiệt độ biến dạng T_{bd} và thời gian tạo hình t_{th}



Hình 4.21. Ảnh hưởng của nhiệt độ biến dạng T_{bd} và thời gian tạo hình t_{th} đến chiều cao tương đối của sản phẩm

a) $x_1 = -1$; b) $x_1 = 0$; c) $x_1 = 1$

- Khi áp suất tạo hình x_1 tăng thì thu được sản phẩm có chiều cao tương đối h^* lớn hơn.

$$+ x_1 = -1, h^*_{\min} = 0.239, h^*_{\max} = 0.341$$

$$+ x_1 = 0, h^*_{\min} = 0.256, h^*_{\max} = 0.358$$

$$+ x_1 = 1, h^*_{\min} = 0.324, h^*_{\max} = 0.409$$

- Khi biến dạng với nhiệt độ x_2 nhất định, giá trị h^* tăng khi thời gian biến dạng tăng.

Khi biến dạng với cùng thời gian x_3 , giá trị h^* tăng khi nhiệt độ tăng đến một giá trị nhất định, sau đó h^* có xu hướng giảm khi nhiệt độ tiếp tục tăng.

4.4.2. Ảnh hưởng của các thông số đến mức độ biến mỏng

4.4.2.1. Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mức độ biến mỏng

Để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mức độ biến mỏng tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm, căn cứ vào các phương trình 4.11 ta có:

$$Y_2(x_1, 1, 1) = 17.38 + 1.039x_1 + 2.407x_1^2 \quad (4.11a)$$

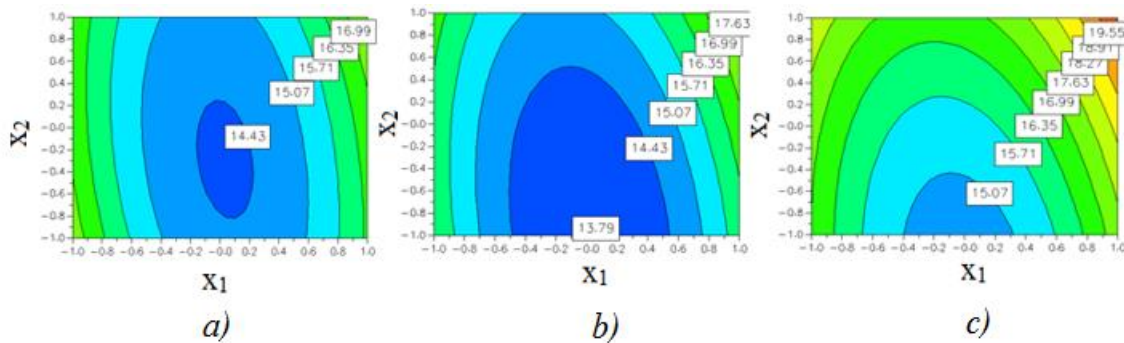
$$Y_2(1, x_2, 1) = 18.527 + 1.992x_2 + 0.307x_2^2 \quad (4.11b)$$

$$Y_2(1, 1, x_3) = 18.64 + 1.337x_3 + 0.849x_3^2 \quad (4.11c)$$

Từ các phương trình 4.11a, 4.11b, 4.11c nhận thấy biến x_2 (nhiệt độ biến dạng) có ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo là biến x_3 (thời gian tạo hình) và biến x_1 (áp suất khí nén tạo hình) ảnh hưởng ít nhất đến mức độ biến mỏng thành tại vị trí nguy hiểm.

4.4.2.2. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến mức độ biến mỏng tại vị trí nguy hiểm

* Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và nhiệt độ biến dạng T_{bd}



Hình 4.22. Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và nhiệt độ biến dạng T_{bd} đến mức độ biến mỏng chiều dày

a) $x_3 = -1$; b) $x_3 = 0$; c) $x_3 = 1$

- Khi thời gian tạo hình tăng lên thì thu được sản phẩm có mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm tăng.

$$+ x_3 = -1, \varepsilon_{s\max} = 16.69\%$$

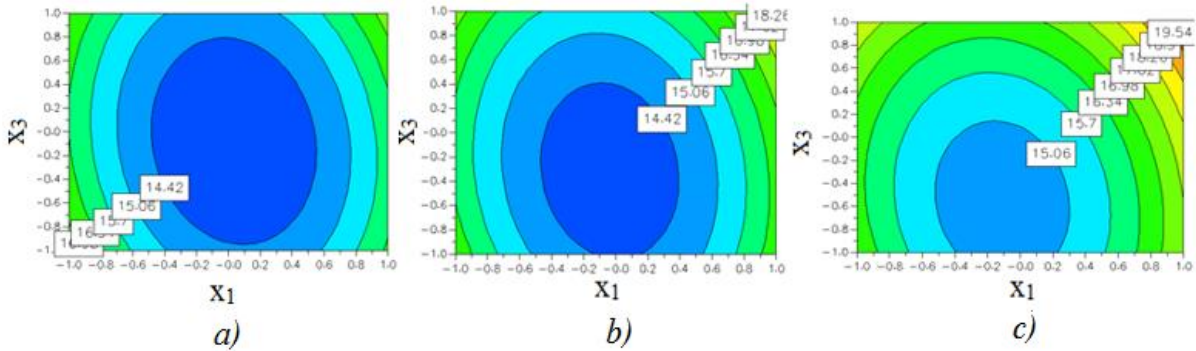
$$+ x_3 = 0, \varepsilon_{s\max} = 17.63\%$$

$$+ x_3 = 1, \varepsilon_{s\max} = 19.55\%$$

- Khi cùng một thời gian tạo hình, mức độ biến mỏng của sản phẩm phụ thuộc vào áp suất khí nén tạo hình và nhiệt độ biến dạng. Với xu hướng chung là khi nhiệt độ biến dạng tăng lên thì mức độ biến mỏng chiều dày thành sản phẩm tăng. Ví dụ trên hình 4.22c khi nhiệt độ tăng từ $x_2 = -0.5$ đến $x_2 = 1$ thì mức độ biến mỏng tăng từ $\varepsilon_s = 15.07\%$ đến $\varepsilon_s = 19.55\%$.

- Với cùng một nhiệt độ biến dạng, nhận thấy mức độ chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm giảm khi áp suất tạo hình tăng đến một giá trị nhất định, khi áp suất tạo hình tiếp tục tăng thì mức độ biến mỏng có xu hướng tăng. Điều này có thể lý giải là do khi áp suất tăng thì tốc độ biến dạng của phôi tăng sẽ làm khả năng biến dạng của phôi giảm. Trên hình 4.22a nhận thấy khi áp suất tạo hình tăng từ 0.7Mpa đến 0.8Mpa thì mức độ biến mỏng giảm (từ $\varepsilon_s = 16.99\%$ xuống $\varepsilon_s = 14.43\%$), khi áp suất tạo hình tăng từ 0.8Mpa đến 0.9Mpa thì mức độ biến mỏng tăng (từ $\varepsilon_s = 14.43\%$ lên $\varepsilon_s = 19.55\%$).

* Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và thời gian tạo hình t_{th}



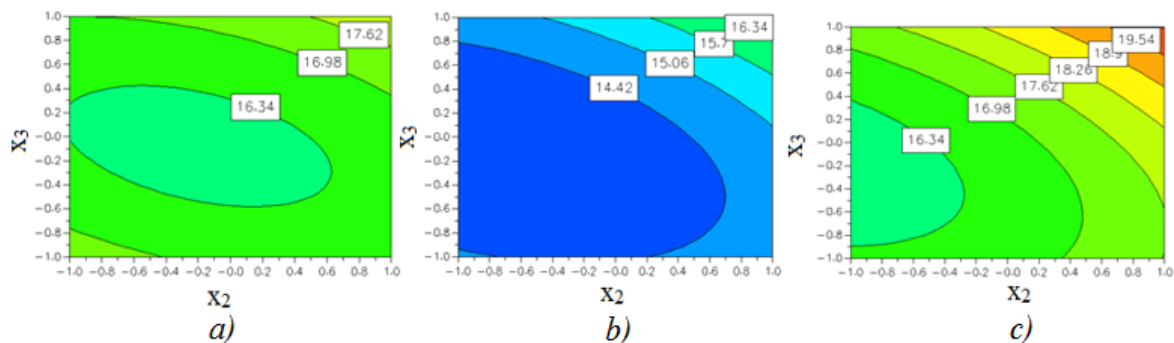
Hình 4.23. Ảnh hưởng của áp suất khí nén tạo hình p_{th} và thời gian tạo hình t_{th} đến mức độ biến mỏng chiều dày

a) $x_2 = -1$; b) $x_2 = 0$; c) $x_2 = 1$

- Với cùng một nhiệt độ biến dạng, mức độ biến mỏng phụ thuộc vào các thông số x_1 (áp suất khí nén tạo hình) và x_3 (thời gian tạo hình). Với xu hướng chung là khi x_3 (thời gian tạo hình) tăng lên thì mức độ biến mỏng chiều dày thành sản phẩm tăng. Ví dụ trên hình 4.23b khi nhiệt độ tăng (từ $x_3 = -1$ đến $x_3 = 1$) thì mức độ biến mỏng chiều dày tăng từ $\varepsilon_s = 14.42\%$ đến $\varepsilon_s = 18.26\%$.

- Xét trong từng khoảng thời gian tạo hình khác nhau, nhận thấy mức độ chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm giảm khi áp suất tạo hình tăng đến một giá trị nhất định, khi áp suất tạo hình tiếp tục tăng thì mức độ biến mỏng có xu hướng tăng. Trên hình 4.23b nhận thấy khi áp suất tạo hình tăng từ 0.7Mpa đến 0.8Mpa thì mức độ biến mỏng giảm (từ $\varepsilon_s = 16.90\%$ xuống $\varepsilon_s = 14.42\%$), khi áp suất tạo hình tăng từ 0.8Mpa đến 0.9Mpa thì mức độ biến mỏng tăng (từ $\varepsilon_s = 14.42\%$ lên $\varepsilon_s = 18.26\%$).

* Ảnh hưởng của nhiệt độ biến dạng T_{bd} và thời gian tạo hình t_{th}



Hình 4.24. Ảnh hưởng của nhiệt độ biến dạng T_{bd} và thời gian tạo hình t_{th} đến mức độ biến mỏng chiều dày

a) $x_1 = -1$; b) $x_1 = 0$; c) $x_1 = 1$

- Với các giá trị áp suất tạo hình có thể xác định được mức độ biến mỏng (ε_{min} , ε_{max}) chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm:

+ $x_1 = -1$, $\varepsilon_{smin} = 16.34\%$ và $\varepsilon_{smax} = 17.62\%$

+ $x_1 = 0$, $\varepsilon_{smin} = 14.42\%$ và $\varepsilon_{smax} = 16.34\%$

+ $x_1 = 1$, $\varepsilon_{smin} = 16.34\%$ và $\varepsilon_{smax} = 19.54\%$

- Tại các giá trị áp suất tạo hình cố định, mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm tăng khi nhiệt độ biến dạng tăng.

Trên hình 4.24c khi nhiệt độ tăng từ $x_2 = 0.3$ đến $x_2 = 1$ thì mức độ biến mỏng chiều dày thành tăng từ $\varepsilon_s = 16.98\%$ lên đến $\varepsilon_s = 19.54\%$.

- Với các giá trị của áp suất tạo hình nhỏ, mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm sẽ giảm khi nhiệt độ biến dạng tăng đến một giá trị nhất định, sau đó nhiệt độ biến dạng tiếp tục tăng thì mức độ biến mỏng sẽ tăng.

4.5. Kết luận chương 4

Trong chương 4, luận án đã tiến hành thực nghiệm tạo hình siêu dẻo chi tiết dạng phức tạp từ hợp kim nhôm AA7075 trên cơ sở phương pháp QHTN. Các kết quả thu được đã được phân tích, đánh giá với các nội dung sau:

- Tạo hình siêu dẻo chi tiết dạng rỗng có hình dạng phức tạp theo sơ đồ phương pháp tạo hình siêu dẻo phối hợp (âm bản và dương bản).

- Đã xây dựng được các phương trình hồi quy (các phương trình 4.10 và 4.11) biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số công nghệ: Áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} , thời gian tạo hình t_{th} đến hàm mục tiêu là chiều cao tương đối của sản phẩm (h^*) và mức độ biến mỏng chiều dày thành (ϵ_s) tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm.

- Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của từng thông số công nghệ đến các hàm mục tiêu nghiên cứu thông qua các phương trình từ 4.10a đến 4.10c và 4.11a đến 4.11c.

- Chiều cao tương đối của sản phẩm (h^*) phụ thuộc vào 3 thông số công nghệ được xét (p_{th} , T_{bd} , t_{th}), trong đó thông số áp suất khí nén tạo hình có ảnh hưởng nhiều nhất. Khi nhiệt độ biến dạng tăng, thời gian tạo hình tăng và áp suất khí nén tạo hình tăng đến một giá trị nhất định thì chiều cao tương đối của sản phẩm tăng.

- Mức độ biến mỏng chiều dày thành (ϵ_s) tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm phụ thuộc vào cả 3 thông số công nghệ được xét (p_{th} , T_{bd} , t_{th}), trong đó thông số nhiệt độ biến dạng có ảnh hưởng nhiều nhất. Khi thời gian tăng thì mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm tăng, áp suất khí nén tạo hình và nhiệt độ biến dạng tăng đến các giá trị nhất định thì mức độ biến mỏng chiều dày thành có xu hướng giảm, nếu áp suất khí nén tạo hình và nhiệt độ tiếp tục tăng thì mức độ biến mỏng tăng.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

1. Kết quả luận án

Luận án đã được hoàn thành theo đúng mục tiêu đề ra với các kết quả nghiên cứu chính như sau:

- Nghiên cứu tổng quan về công nghệ tạo hình siêu dẻo tấm kim loại bằng áp suất khí nén, trong đó tập trung vào các vấn đề lựa chọn sơ đồ phương pháp tạo hình, lựa chọn vật liệu nghiên cứu, lựa chọn phương pháp chuẩn bị tổ chức vật liệu... Từ đó đã xác định được nội dung cần nghiên cứu cho luận án.

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết bài toán tạo hình siêu dẻo tấm vật liệu. Mô hình bài toán khi tạo hình siêu dẻo bằng khí nén trong trạng thái biến dạng tự do được tìm hiểu. Trên cơ sở phân tích các bài toán biến dạng, cho phép xác định các thông số công nghệ chính ảnh hưởng đến quá trình tạo hình siêu dẻo, đó là cơ sở quan trọng để xác định các thông số công nghệ cho việc nghiên cứu và tiến hành thực nghiệm tạo hình siêu dẻo.

- Luận án đã nghiên cứu các phương pháp làm nhỏ hạt kim loại, qua phân tích đã lựa chọn phương pháp gia công cơ nhiệt để chuẩn bị tổ chức hạt nhỏ mịn cho hợp kim nhôm độ bền cao AA7075. Với phương pháp lựa chọn và thực hiện, thu được tấm hợp kim có tổ chức nhỏ mịn và đồng đều ($\sim 13\mu m$), đáp ứng quá trình tạo hình siêu dẻo.

- Luận án đã tiến hành đánh giá khả năng tạo hình siêu dẻo của hợp kim AA7075 đã được chuẩn bị tổ chức thông qua các thí nghiệm kéo đơn trong trạng thái đẳng nhiệt và thực nghiệm xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng của ứng suất chảy (m). Các thí nghiệm đều cho thấy khả năng tạo hình của hợp kim nghiên cứu: mức độ giãn dài tương đối của mẫu kéo đạt $\delta_{max} = 280\%$, hệ số m có giá trị trong khoảng từ $0.3 \div 0.6$. Ngoài ra, thông qua các thí

nghiệm, luận án cũng xác định được các thông số công nghệ tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075: áp suất khí nén tạo hình p_{th} ($0.7 \div 0.9$ MPa), nhiệt độ biến dạng T_{bd} ($500 \div 530$ °C) và thời gian tạo hình t_{th} ($20 \div 40$ phút).

- Đã tiến hành thực nghiệm tạo hình siêu dẻo chi tiết dạng rỗng hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm AA7075 dựa trên phương pháp QHTN. Từ đó thiết lập được các phương trình mô tả ảnh hưởng của các thông số công nghệ cơ bản là: áp suất khí nén tạo hình p_{th} , nhiệt độ biến dạng T_{bd} , thời gian tạo hình t_{th} đến mục tiêu nghiên cứu là chiều cao tương đối sản phẩm h^* và mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm của sản phẩm ε_s :

$$h^* = 0.333 + 0.032x_1 + 0.021x_2 + 0.027x_3 - 0.014x_2x_3 + 0.022x_1^2 - 0.022x_2^2 \quad (4.10)$$

$$\varepsilon_s = 14.07 + 0.289x_1 + 1.142x_2 + 0.587x_3 + 0.425x_1x_2 + 0.425x_2x_3 \quad (4.11)$$

$$+ 0.325x_1x_3 + 2.407x_1^2 + 0.307x_2^2 + 0.849x_3^2$$

trong đó: x_1, x_2, x_3 tương ứng là các biến mã hóa của p_{th}, T_{bd}, t_{th}

- Từ các mối quan hệ giữa các thông số công nghệ đầu vào và hàm mục tiêu cho phép xác định được giá trị của chiều cao tương đối của sản phẩm tạo hình (h^*) với mức độ biến mỏng chiều dày thành tại vị trí nguy hiểm (ε_s) trong phạm vi cho phép đối với từng sản phẩm.

Các kết quả nghiên cứu của luận án là những đóng góp cụ thể và thiết thực trong việc nghiên cứu công nghệ tạo hình siêu dẻo vật liệu tấm, đồng thời là cơ sở quan trọng cho việc tính toán, thiết kế và ứng dụng công nghệ tiên tiến này vào thực tế sản xuất công nghiệp.

2. Hướng phát triển của đề tài

- Phát triển hệ thống trang thiết bị thực nghiệm tạo hình siêu dẻo theo hướng nâng cao khả năng biến dạng các vật liệu khó biến dạng, độ bền cao.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học khuôn, ma sát tiếp xúc, áp suất đối áp và một số thông số công nghệ khác khi tạo hình siêu dẻo chi các chi tiết có hình dáng phức tạp khác.

- Tối ưu hóa các thông số công nghệ khi tạo hình siêu dẻo các chi tiết có hình dạng và kích thước cụ thể.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Nguyễn Mạnh Tiến**, Nguyễn Trường An, Trần Đức Hoàn (2018), Mô hình toán và mô phỏng số quá trình tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng từ hợp kim nhôm, *Tuyển tập công trình trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ X*, Tập 3, 1235-1240.
2. **Nguyen Manh Tien**, Nguyen Truong An, Tran Duc Hoan (2019), Affect of process parameters on the distribution of wall thickness in superplastic forming of a hemispherical part from Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloy, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự*, 198, 11-18.
3. **Nguyen Manh Tien**, Nguyen Truong An, Tran Duc Hoan (2019), Preparation and microstructural characterization of the Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloy for superplastic deformation, *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự*, 198, 5-10.
4. **Nguyen Manh Tien**, Nguyen Truong An, Tran Duc Hoan, Lai Dang Giang and Le Trong Tan (2019), Experimental Study on Effects of Process Parameters on Superplastic Deformation Ability of 7075 Aluminium Alloy using Taguchi Method, *International Conference on Engineering Research and Applications - ICERA 2019 (SCOPUS)*, published by Springer.
5. **Nguyễn Mạnh Tiến**, Nguyễn Trường An, Trần Đức Hoàn, Ong Thế Đức (2020), Nghiên cứu công nghệ tạo hình siêu dẻo chi tiết rỗng có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm AA7075, *Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ lần XV, Học viện Kỹ thuật Quân sự*.
6. **Nguyễn Mạnh Tiến**, Nguyễn Trường An, Trần Đức Hoàn, Ong Thế Đức (2020), Xác định hệ số nhạy cảm với tốc độ biến dạng trong quá trình tạo hình siêu dẻo hợp kim nhôm AA7075, *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự*, 67, 188 – 197.