

BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

NGUYỄN ANH TUẤN

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG
NGHỆ ĐẾN TỔ CHỨC VÀ CƠ TÍNH HỢP KIM NHÔM
ADC12 TRONG QUÁ TRÌNH ĐÚC MÁNG NGHIÊNG VÀ
TẠO HÌNH BÁN LỎNG**

Ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2022

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

Người hướng dẫn khoa học:
TS Đào Văn Lưu
TS Lại Đăng Giang

Phản biện 1: GS. TS Đinh Văn Chiến - Đại học Mỏ - Địa chất

Phản biện 2: PGS. TS Phạm Văn Nghệ - Đại học BKHN

Phản biện 3: PGS. TS Phùng Tuấn Anh - Học viện KTQS

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo Quyết định số...../....., ngày Tháng năm..... của Giám đốc Học viện Kỹ thuật quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật quân sự vào hồi..... giờ ngày.... tháng năm....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

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

1. Tính cấp thiết của luận án

Hợp kim nhôm ADC12 là hợp kim nhôm đúc theo tiêu chuẩn JIS của Nhật Bản, hợp kim này được sử dụng rộng rãi trong thiết bị bay, hàng không và trong công nghiệp chế tạo chi tiết cho ô tô, xe máy (pít tông, xi lanh, tay phanh, lốc máy ô tô, xe máy, mâm xe), thiết bị xây dựng, v.v.. do có tính đúc tốt với độ chảy loãng cao và tỷ lệ co ngót thấp. Hợp kim có khả năng chịu nhiệt cao, nhưng đặc trưng bởi độ dẻo rất thấp. Công nghệ tạo hình bán lỏng cho phép tạo hình hợp kim này, trong khi vẫn duy trì và nâng cao được các đặc trưng cơ học của vật liệu (ví dụ như: tăng độ dẻo của pít tông làm tăng độ tin cậy của động cơ đốt trong). Đây chính là hướng nghiên cứu của luận án nghiên cứu phương pháp chuẩn bị tổ chức và phương pháp tạo hình bán lỏng hợp kim nhôm ADC12, để nâng cao tính năng sử dụng và chất lượng của sản phẩm, hay nói cách khác cải thiện độ tin cậy của chi tiết thành phẩm.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

- **Mục tiêu nghiên cứu:** Nghiên cứu khả năng tạo hình bán lỏng xúc biến (ép chảy bán lỏng) chi tiết có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm ADC12 sau khi được chuẩn bị tổ chức tế vi bằng phương pháp máng nghiêng có kết hợp rung.

- Nội dung nghiên cứu

+ Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ rót đúc trên máng nghiêng đến quá trình cầu hoá tổ chức tế vi của hợp kim nhôm ADC12 làm phối liệu cho quá trình tạo hình bán lỏng.

+ Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ ép chảy bán lỏng đảm bảo khả năng tạo hình hợp kim nhôm ADC12, đáp ứng các yêu cầu về cơ tính và tính năng sử dụng của sản phẩm.

3. Đối tượng nghiên cứu

- Vật liệu lựa chọn nghiên cứu: hợp kim nhôm ADC12

- Về các thông số công nghệ nghiên cứu:

Luận án tập trung nghiên cứu các thông số công nghệ chính có liên quan tới quá trình chuẩn bị tổ chức tế vi cho hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng và quá trình tạo hình bán lỏng chi tiết có thành mỏng bằng phương pháp ép chảy xúc biến.

4. Phạm vi nghiên cứu

- Tìm hiểu lý thuyết về công nghệ tạo hình bán lỏng.

- Nghiên cứu cơ chế của quá trình cầu hoá tổ chức cho hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng.

- Nghiên cứu các thông số công nghệ ảnh hưởng đến quá trình chuẩn bị tổ chức phối hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ: nhiệt độ tạo hình (T_{nung}), thời gian giữ nhiệt ($t_{giữ\ nhiệt}$), tốc độ đầu ép (v) đến quá trình tạo hình xúc biến vật liệu ADC12 ở trạng thái bán lỏng.

5. Phương pháp nghiên cứu

- Kết hợp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để thiết lập mối liên hệ giữa các thông số công nghệ trong quá trình chuẩn bị tổ chức và quá trình tạo hình.

- 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, Học viện Kỹ thuật Quân sự; phòng Cơ – lý, Trung tâm Đo lường, Viện Công nghệ, Tổng cục CNQP.

+ Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để phân tích, tổng hợp và xác định ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến quá trình biến dạng và chất lượng sản phẩm.

6. 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 rút đúc trên máng nghiêng, phân tích ảnh hưởng của chúng tới sự hình thành tổ chức tế vi. Đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính (nhiệt độ tạo hình, tốc độ đầu ép, thời gian giữ nhiệt) đến cơ tính của hợp kim nhôm ADC12 khi tạo hình bán lỏng chi tiết có hình dạng phức tạp. Từ các kết quả thu được, góp phần hoàn thiện việc nghiên cứu công nghệ tạo hình bán lỏng cho hợp kim nhôm ADC12.

*** Ý nghĩa thực tiễn**

+ Phương pháp và thiết bị nghiên cứu có thể sử dụng trong tạo hình bán lỏng các hợp kim khác.

+ Cho phép lựa chọn thông số công nghệ cho quá trình chuẩn bị tổ chức hợp kim ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng.

+ Các kết quả thu được cho phép lựa chọn các thông số công nghệ tạo hình bán lỏng khi chế tạo các chi tiết từ hợp kim nhôm ADC12.

7. Các đóng góp mới của luận án

- Đã áp dụng thành công phương pháp rút đúc trên máng nghiêng tạo phôi ADC12 có cấu trúc dạng cầu với kích thước phù hợp cho tạo hình bán lỏng.

- Đã thiết lập được phương trình hồi quy mô tả sự phụ thuộc của kích thước hạt và hệ số hình dạng của hạt đối với hợp kim ADC12 vào các thông số công nghệ nhiệt độ rót, chiều dài máng, góc nghiêng máng.

- Đã thiết lập được phương trình hồi quy của các đặc trưng cơ tính của hợp kim ADC12 phụ thuộc vào các thông số công nghệ của quá trình tạo hình bán lỏng xúc biến, cho phép lựa chọn thông số công nghệ phù hợp để xây dựng quy trình tạo hình các chi tiết có hình dáng phức tạp từ hợp kim này.

8. Bố cục của luận án

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan về công nghệ tạo hình bán lỏng

Chương 2: Cơ sở lý thuyết tạo hình xúc biến

Chương 3: Chuẩn bị tổ chức tế vi cho hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng kết hợp rung

Chương 4: Nghiên cứu quá trình ép chảy bán lỏng

Kết luận chung và hướng phát triển của luận án

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TẠO HÌNH BÁN LỎNG

1.1. Công nghệ tạo hình bán lỏng

Quá trình đông đặc của hợp kim xảy ra trong một khoảng nhiệt độ hữu hạn, trong khoảng nhiệt độ đó hai pha cùng tồn tại, pha lỏng và pha rắn, vật liệu khi đó ở trạng thái bán lỏng. Trong quá trình đông đặc, phần trăm pha rắn chứa trong hợp kim bán lỏng, được gọi là tỷ phần pha rắn f_s , tăng lên. Ngược lại, phần trăm pha lỏng chứa trong hợp kim bán lỏng, gọi là tỷ phần pha lỏng f_l , giảm đi.

Công nghệ tạo hình bán lỏng dựa trên đặc tính xúc biến (thixotropy) của hợp kim ở trạng thái bán lỏng, có thể xuất hiện trong khoảng nhiệt độ giữa đường rắn và đường lỏng của hợp kim, khi đó độ nhớt tỷ lệ nghịch với tốc độ cắt ($\dot{\gamma}$).

Công nghệ tạo hình bán lỏng là sự kết hợp của công nghệ tạo cấu trúc phôi ở trạng thái bán lỏng có tổ chức tế vi dạng cầu và công nghệ tạo hình. Tên gọi của công nghệ tạo hình là sự kết hợp của hai phương pháp này. Căn cứ vào việc có hay không bước làm nguội hợp kim xuống dưới nhiệt độ đường rắn để thu được phôi có tổ chức tế vi dạng đối, người ta có thể chia công nghệ tạo hình bán lỏng làm hai nhóm chu trình tạo hình xúc biến (Thixo-routes) và chu trình tạo hình lưu biến (Rheo-routes).

1.2. Các phương pháp chuẩn bị tổ chức tế vi dạng cầu

- Chuẩn bị tổ chức tế vi từ hợp kim ở trạng thái nóng chảy
- Chuẩn bị tổ chức tế vi từ hợp kim ở trạng thái rắn

1.3. Các phương pháp tạo hình xúc biến

Tạo hình xúc biến (thixoforming) là một thuật ngữ chung để chỉ các phương pháp tạo hình xúc biến bao gồm: đúc xúc biến (thixocasting), dập xúc biến (thixoforging), cán xúc biến (thixorolling), ép chảy xúc biến (thixoextrusion), đúc ép xúc biến liên tục (thixomolding), v.v.. Điểm chung trong phương pháp tạo hình xúc biến này là phôi đã chuẩn bị tổ chức tế vi, được nung nóng đến trạng thái bán lỏng và sử dụng một trong các phương pháp tạo hình truyền thống.

1.4. Tình hình nghiên cứu công nghệ tạo hình bán lỏng

1.4.1. Các hướng nghiên cứu chính trên thế giới

Các nghiên cứu theo hai hướng là nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng:

a) *Nghiên cứu lý thuyết:*

Các nghiên cứu lý thuyết trên thế giới về bán lỏng tập trung vào bốn lĩnh vực sau đây:

- Lý thuyết tạo hạt cầu
- Lý thuyết lưu biến
- Lý thuyết đông đặc dưới áp suất cao
- Lý thuyết biến dạng dẻo hợp kim bán lỏng

b) Nghiên cứu ứng dụng

Các nghiên cứu ứng dụng trên thế giới về bán lỏng tập trung vào ba lĩnh vực sau đây:

- Nghiên cứu công nghệ tạo phôi
- Nghiên cứu công nghệ tạo hình.
- Phát triển và thiết kế các loại vật liệu cho tạo hình bán lỏng

1.4.2. Nghiên cứu đúc lưu biến sử dụng phương pháp máng nghiêng

Các nghiên cứu đều khẳng định rằng phương pháp máng nghiêng là một phương pháp đơn giản và hiệu quả trong tạo ra tổ chức tế vi dạng cầu. Phương pháp này không chỉ ứng dụng chuẩn bị tổ chức cho hợp kim nhôm đúc, hợp kim nhôm rèn mà còn có thể ứng dụng cho cả composite nền nhôm. Khó khăn lớn nhất của phương pháp máng nghiêng là việc lựa chọn bộ thông số công nghệ hợp lý như: nhiệt độ rót, góc nghiêng máng và chiều dài máng sẽ quyết định tổ chức tế vi của hợp kim sau khi rót đúc.

Qua nghiên cứu, phân tích nhận thấy rằng, phương pháp máng nghiêng là phương pháp cho phép thu được tổ chức tế vi dạng cầu đối với các hợp kim nhôm công nghiệp; có thể thay đổi tổ chức tế vi của hợp kim thông qua các thông số công nghệ một cách dễ dàng; tổ chức tế vi dạng cầu thu được đồng đều, tạo được phôi có kích thước và hình dạng theo yêu cầu v.v.. Bên cạnh đó, yêu cầu về thiết bị, dụng cụ để xử lý nhiệt 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. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào đưa ra được mô hình toán lý cho quá trình rót đúc trên máng nghiêng, mối quan hệ giữa các thông số công nghệ đến chiều dày lớp đông đặc (hay sự dính bám) chưa được nghiên cứu kỹ. Các nghiên cứu về quá trình rót đúc trên máng nghiêng đối với hợp kim nhôm đúc ADC12 còn ít.

1.4.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến tổ chức và cơ tính khi tạo hình xúc biến hợp kim nhôm trên thế giới

Nhiều công trình nghiên cứu về thixoforming đã khẳng định công nghệ này khắc phục được nhược điểm của công nghệ đúc như thiên tích vĩ mô, co ngót và rỗ xốp. Tuy nhiên, hạn chế của quá trình thixoforming bao gồm: chi phí phát triển khuôn cao, thành phần không đồng nhất trong chi tiết tạo hình, thiên tích pha lỏng do biến dạng không đồng đều và khó kiểm soát nhiệt độ chính xác khi tạo hình, đặc biệt là đối với các hợp kim có khoảng nhiệt độ đông đặc hẹp, chi phí sản xuất phôi cao, khó tái chế. Các nhược điểm này đã khuyến khích các nhà nghiên cứu khắc phục các hạn chế về thixoforming bằng nhiều phương pháp khác nhau. Các phương pháp thixoforming được sử dụng rộng rãi là thixocasting, thixoforging, thixoextrusion và thixomoulding. Mỗi

phương pháp tạo ra các loại cơ tính khác nhau của sản phẩm, do đó tạo khả năng cho các phát hiện mới. Mặt khác, các nghiên cứu về thixotropy thường tập trung vào sự tiến hóa của tổ chức tế vi, nhiệt độ gia nhiệt phối, nhiệt độ khuôn, cơ tính, độ nhớt và chất lượng sản phẩm cuối cùng.

Qua nghiên cứu, phân tích nhận thấy rằng, công nghệ tạo hình xúc biến đã khẳng định ưu điểm vượt trội của công nghệ tạo hình bán lỏng so với công nghệ tạo hình truyền thống. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào trình bày một cách hệ thống về cơ sở lý thuyết tạo hình xúc biến và đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình tạo hình xúc biến.

1.4.4. Nghiên cứu về công nghệ tạo hình bán lỏng ở Việt Nam

Hiện nay, trong nước có 3 đơn vị đang tiến hành nghiên cứu đó là: Phòng thí nghiệm Công nghệ vật liệu thuộc trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Bộ môn Công nghệ và thiết bị vật liệu cơ khí – khoa Cơ khí thuộc trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh và bộ môn Gia công áp lực, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

1.5. Xác định vật liệu nghiên cứu cho luận án

Từ nghiên cứu tổng quan về công nghệ tạo hình bán lỏng, vật liệu trong công nghệ tạo hình bán lỏng, các phương pháp chuẩn bị tổ chức vi mô cầu hoá và ứng dụng của công nghệ bán lỏng, nghiên cứu nhận thấy rằng: Trong tạo hình bán lỏng, các nhà công nghệ đã thành công về mặt thương mại với các hợp kim nhôm đúc A355, A356, A357, A319, A380 và A390.

Một số câu hỏi đặt ra cho nghiên cứu: *“Có phải tất cả các hợp kim nhôm thương mại được sử dụng trong công nghệ đúc có thể sử dụng trong tạo hình xúc biến được không?”* Có phải vì hàm lượng silic trong hợp kim Al-Si, mà chỉ các hợp kim nhôm đúc có hàm lượng silic tiêu chuẩn mới được khuyến nghị sử dụng trong tạo hình bán lỏng?

Tiêu chuẩn của hiệp hội đúc Mỹ (NADCA) đã có khuyến nghị các hợp kim nhôm đúc sử dụng trong công nghệ tạo hình bán lỏng (NADCA - North American Die Casting Association: Wheeling, IL, USA, Publication No. 403, 2006). Các hợp kim nhôm đúc có hàm lượng silic tiêu chuẩn (5-10 % silic hoặc 16-18 % silic) được khuyến nghị sử dụng trong công nghệ tạo hình bán lỏng. Nhận thấy có một khoảng trống các hợp kim nhôm đúc theo hàm lượng silic (11 - 13%) không được khuyến nghị sử dụng trong công nghệ tạo hình bán lỏng. Các hợp kim Al-Si chứa 11 - 13% silic là hợp kim cùng tinh.

Các hợp kim nhôm chứa 11 - 13% Si: ADC12 -Tiêu chuẩn JIS, A384 tiêu chuẩn AA Mỹ, AC-46100 tiêu chuẩn Châu Âu, AJI25 – GOST tiêu chuẩn Nga. Các hợp kim này là các hợp kim rất phổ biến trong đúc áp lực và là các hợp kim được sử dụng rộng rãi trong hàng không, trong chế tạo chi tiết cho ô tô, xe máy (pít tông, xi lanh, ốc máy ô tô, xe máy, mâm xe), thiết bị xây dựng v.v...

Trong nghiên cứu này, chọn hợp kim nhôm ADC12 làm đối tượng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp máng nghiêng kết hợp rung để thay đổi tổ chức vi

mô của hợp kim nhôm ADC12, sử dụng phương pháp ép chảy bán lỏng để tạo hình sản phẩm. Mục tiêu của nghiên cứu là khẳng định có thể sử dụng công nghệ tạo hình bán lỏng xúc biến cho hợp kim nhôm đúc ADC12. Ngoài ra, sử dụng công nghệ tạo hình bán lỏng xúc biến giúp tăng độ giãn dài và giới hạn bền của hợp kim nhôm ADC12 trong quá trình tạo hình nhưng vẫn duy trì các đặc tính cơ học khác, giúp tăng cơ tính chi tiết thành phẩm. Nói cách khác làm tăng độ tin cậy của chi tiết trong quá trình sử dụng.

1.6. Kết luận

Qua việc phân tích, đánh giá các kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới và trong nước, đề tài nhận thấy chưa có nghiên cứu nào trình bày một cách hệ thống ở Việt Nam và trên thế giới về quá trình chế tạo chi tiết từ hợp kim sắt trước cùng tinh hệ Al-Si có vùng đông đặc hẹp bằng công nghệ tạo hình bán lỏng, đáp ứng tiêu chí cơ tính tổng hợp (bền và dẻo) nhằm chế tạo sản phẩm cơ khí có hình dạng phức tạp. Từ đó, luận án đặt ra nhiệm vụ áp dụng công nghệ tạo hình bán lỏng đối với hợp kim nhôm ADC12 (có vùng đông đặc hẹp), giúp cải thiện cơ tính của hợp kim nhôm ADC12 và mở rộng khả năng công nghệ của hợp kim này.

CHƯƠNG 2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT TẠO HÌNH XÚC BIẾN

Công nghệ tạo hình bán lỏng đang được nghiên cứu, phát triển như một phương pháp hiệu quả tận dụng được ưu điểm của quá trình tạo hình vật liệu ở trạng thái rắn và trạng thái lỏng. Hợp kim ở trạng thái bán lỏng ($f_s > 0,5$), khi không có tác động của ngoại lực vẫn giữ được hình dạng ban đầu. Dưới tác dụng của lực cắt, độ nhót giảm đáng kể vật liệu chảy như chất lưu.

2.1. Trạng thái xúc biến của hợp kim bán lỏng

2.1.1. Quan điểm vĩ mô

- *Nguồn gốc xúc biến:* Để hợp kim bán lỏng thể hiện đặc tính xúc biến rõ rệt, tổ chức tế vi của hợp kim phải có các hạt pha rắn có dạng hình cầu, ít hay nhiều có liên kết với nhau tạo thành khung 3D cho khối vật liệu, khi bị biến dạng khung 3D này bị bẻ gãy trong pha lỏng, độ nhót của hợp kim bán lỏng giảm mạnh, vật liệu chảy như chất lưu (có độ nhót cao).

- *Sự kết tụ:* Trong quá trình hợp kim đông đặc không có khuấy, trọng lực sẽ đưa các hạt tiếp xúc lại với nhau và không có lực cắt để phá vỡ các liên kết. Do đó, một khung 3D có thể hình thành trong hợp kim bán lỏng, có ứng xử như một chất rắn dưới tác dụng của ngoại lực.

- *Vai trò của tổ chức tế vi cầu hóa:* Trong quá trình biến dạng các liên kết giữa các hạt pha rắn bị phá vỡ các hạt có thể chuyển động lăn và trượt trên nhau trong khi lớp kim loại lỏng bao quanh chúng đóng vai trò như là chất bôi trơn. Sự dễ dàng di chuyển của các hạt phụ thuộc vào tỷ phần pha lỏng, kích thước của hạt và mức độ kết.

- *Ứng xử tức thời của hợp kim bán lỏng*: Tính chất xúc biến của vật liệu bán lỏng rõ rệt khi các hạt pha rắn có dạng cầu, khi đó độ nhót của vật liệu bán lỏng phụ thuộc nhiều vào tốc độ cắt.

2.1.2. *Quan điểm vĩ mô*

- *Ảnh hưởng của nhiệt độ*
- *Thiên tích pha lỏng*
- *Độ thay đổi tỷ phần pha lỏng theo nhiệt độ*

2.2. Lưu biến của hợp kim bán lỏng

2.2.1. *Độ nhót*

Độ nhót là thông số lưu biến cơ bản của hợp kim bán lỏng. Độ nhót có ảnh hưởng đến khả năng điền đầy khuôn và lực cần thiết cho biến dạng hợp kim ở trạng thái bán lỏng. Nghiên cứu xác định độ nhót được xem là một hướng tiếp cận quan trọng trong nghiên cứu về bán lỏng.

2.2.2. *Ứng xử của hợp kim bán lỏng*

Hợp kim ở trạng thái bán lỏng với hình thái cầu của pha rắn và tỷ phần pha rắn nhỏ hơn 0,6 thường thể hiện hai đặc điểm lưu biến riêng biệt: xúc biến và giả dẻo. Xúc biến là sự phụ thuộc thời gian của độ nhót (trạng thái không ổn định) ở một tốc độ cắt cho trước, trong khi giả dẻo biểu hiện qua trạng thái ổn định của độ nhót ở một tốc độ cắt không đổi. Hành vi lưu biến của hợp kim bán lỏng liên quan chặt chẽ với hai thuộc tính này. Do đó, hiểu rõ về ứng xử lưu biến của hợp kim bán lỏng là cần thiết để ứng dụng công nghệ này một cách hiệu quả.

Ứng xử lưu biến phụ thuộc vào độ nhót kim loại bán lỏng (η). Độ nhót của hợp kim bán lỏng phụ thuộc vào hai nhóm thông số luyện kim và công nghệ. Nó có dạng hàm số với các biến số như phương trình sau:

$$\eta = f(\dot{\gamma}, t_s, T_a, \dot{T}, C_o, f_s, S_f, \lambda, h_{\text{istory}}) \quad (2.9)$$

Trong đó: $\dot{\gamma}$ tốc độ cắt, t_s là thời gian cắt, T_a là nhiệt độ của hợp kim bán lỏng, \dot{T} là tốc độ làm nguội từ trạng thái lỏng tới nhiệt độ T_a trong vùng bán lỏng, C_o là thành phần hoá học của hợp kim, f_s là tỷ phần pha rắn ở nhiệt độ T_a , S_f là hệ số hình dạng, λ là tham số cấu trúc và h_{istory} là ảnh hưởng của lịch sử. Nói chung hàm lượng chất tan cao và tốc độ làm nguội lớn là nguyên nhân gây ra nhiều nhánh cây hơn và do đó độ nhót cao hơn đối với tỷ phần pha rắn đã cho. Độ nhót biểu kiến của hợp kim bán lỏng tại một thời điểm cụ thể phụ thuộc vào trạng thái trước đó (ảnh hưởng của lịch sử). Trạng thái bên trong của vật liệu liên tục thay đổi và được mô tả theo các thông số luyện kim như: kích thước hạt, phân bố kích thước hạt, hình thái hạt và phân bố pha rắn trong nền pha lỏng.

2.3. Các thông số ảnh hưởng đến độ nhót khi tạo hình xúc biến

- *Tỷ phần pha lỏng*
- *Tham số cấu trúc*
- *Hình thái pha rắn*
- *Kích thước và phân bố của hạt*

- *Tốc độ làm nguội, nhiệt độ giữ nhiệt và thời gian giữ nhiệt*
- *Tốc độ tạo hình*

2.4. Kết luận

Chương 2, đã trình bày cơ sở lý thuyết tạo hình xúc biến, đã tổng hợp các nghiên cứu của nhiều tác giả khác nhau về các thông số công nghệ trong tạo hình xúc biến. Luận án đã phân tích ứng xử (hành vi cơ nhiệt) của hợp kim ở trạng thái bán lỏng và khẳng định độ nhớt của hợp kim bán lỏng là thông số phản ánh ứng xử này. Độ nhớt của hợp kim bán lỏng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: tỷ phần pha, hình thái pha rắn, tham số cấu trúc, v.v.. Nhưng thông số ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhớt của hợp kim bán lỏng là tỷ phần pha và hình thái của pha rắn. Hai thông số này chịu tác động bởi các yếu tố vĩ mô là tốc độ làm nguội, nhiệt độ, thời gian giữ nhiệt và tác động cơ học ($\dot{\gamma}$) là các thông số quan trọng trong quá trình tạo hình xúc biến. Từ những vấn đề lý thuyết trên đặt ra cho luận án phải giải quyết:

- Tạo được hình thái dạng cầu cho hợp kim nhôm ADC12 với các hạt pha rắn, α -Al, phân bố đồng đều thông qua tốc độ làm nguội, nhiệt độ và tác động cơ học nhờ phương pháp máng nghiêng.

- Xác định các khoảng nhiệt độ tạo hình thông qua tỷ phần pha, thời gian giữ nhiệt, tốc độ đầu ép phù hợp cho hợp kim nhôm ADC12 trong quá trình tạo hình bán lỏng xúc biến.

Chương 3

CHUẨN BỊ TỔ CHỨC TẾ VI HỢP KIM NHÔM ADC12 BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÁNG NGHIÊNG KẾT HỢP RUNG

3.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp máng nghiêng

- *Phương pháp máng nghiêng*: Phương pháp máng nghiêng được ứng dụng rộng rãi trong thực tế sản xuất. Quá trình này dựa trên việc rót kim loại lỏng lên một bề mặt nghiêng được làm mát, tạo ra trạng thái bán lỏng trên bề mặt máng và trong lòng khuôn. Quá trình min hoá các hạt pha rắn (α -Al) trong hợp kim bán lỏng có thể thực hiện bằng cách kết hợp máng nghiêng với hệ thống làm mát bằng nước hoặc dầu, hoặc kết hợp rung với máng nghiêng. Thông số công nghệ của quá trình này chính là chiều dài và góc nghiêng của máng, vật liệu làm máng nghiêng và độ quá nhiệt của kim loại lỏng.

- *Bài toán máng nghiêng*: Nghiên cứu tài liệu cho thấy bài toán của Z. Lipnicki và cộng sự xây dựng cho thiết bị tích nhiệt tương đồng với bài toán rót đúc trên máng nghiêng. Kết quả tính toán chỉ ra rằng chiều dày của lớp đông đặc phụ thuộc vào thời gian kim loại lỏng ở trên máng, nhiệt độ của dòng kim loại lỏng, số Prandtl Pr và số Reynolds Re. Dựa trên lời giải thu được, trong giai đoạn đầu chiều dày của lớp đông đặc tăng lên rất nhanh đến khi đạt được giá trị ổn định. Nó xuất hiện do sự suy giảm của truyền nhiệt qua lớp đông đặc do chiều dày của lớp đông đặc tăng lên, hay còn gọi là nhiệt trở của lớp đông đặc.

3.2. Mục đích và nội dung thực nghiệm

* Mục đích thực nghiệm:

Chuẩn bị tổ chức cho hợp kim nhôm ADC12 có tổ chức tế vi dạng cầu hoặc có thể chuyển sang hình thái cầu khi được gia nhiệt đến trạng thái bán lỏng, đồng thời xác định bộ thông số công nghệ hợp lý cho quá trình rót đúc trên máng nghiêng nhằm thu được cấu trúc vi mô đáp ứng yêu cầu.

* Nội dung thực nghiệm:

- + Xác định khoảng biến thiên của các thông số thực nghiệm.
- + Thực nghiệm rót đúc trên máng nghiêng với bộ thông số thực nghiệm được chọn.
- + Tối ưu hoá các thông số thực nghiệm.

3.3. Chuẩn bị thực nghiệm

3.3.1. Chuẩn bị phối và thiết bị thực nghiệm

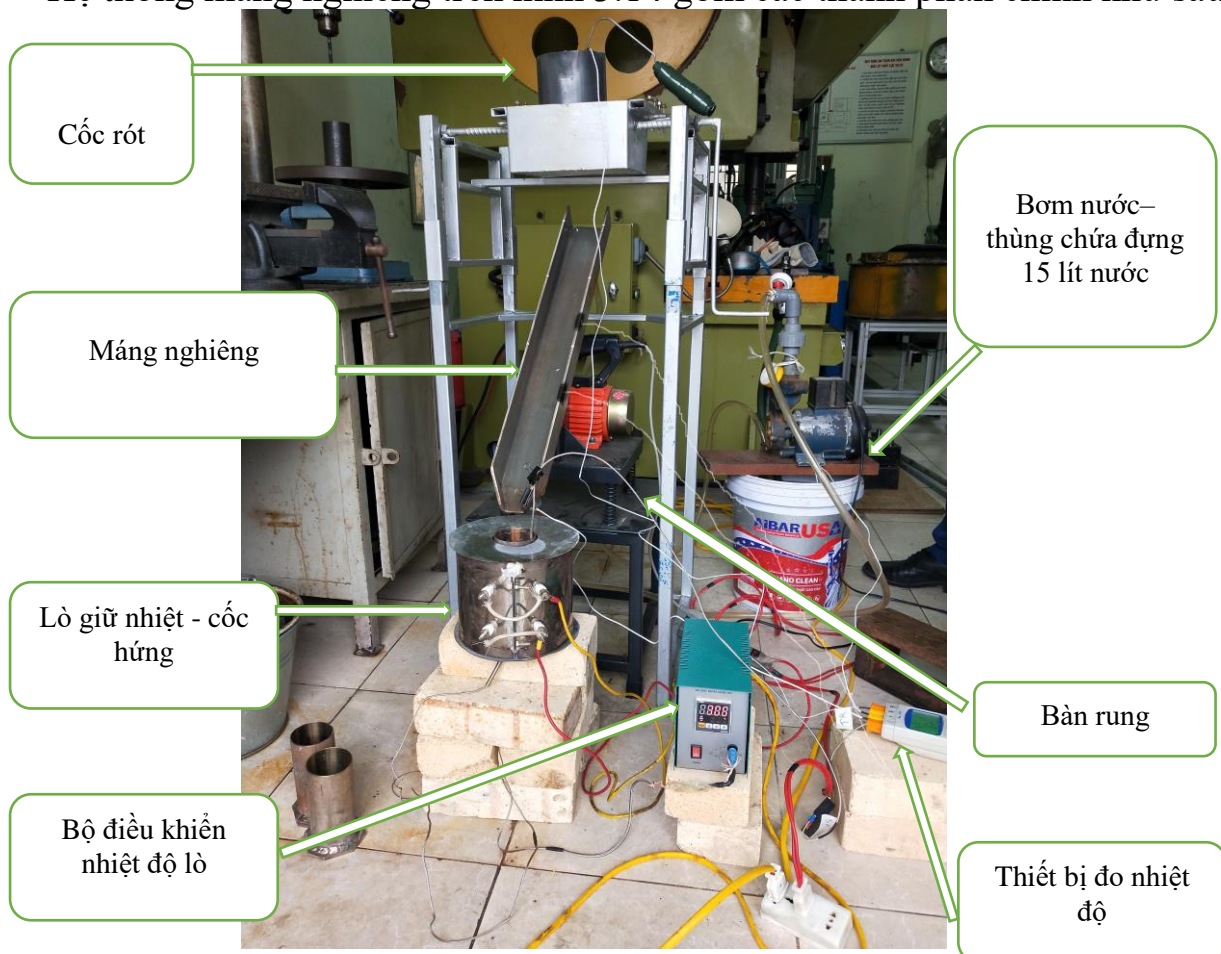
Phôi hợp kim nhôm ADC12 có thành phần hóa học của hợp kim nhôm ADC12 được xác định bằng máy quang phổ phát xạ SPECTROLAB (bảng 3.1.)

Bảng 3.1. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm ADC12

Thành phần	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	Al
wt.%	11,58	0,63	2,09	0,17	0,081	0,023	0,055	0,77	0,048	0,056	Còn lại

3.3.2. Xây dựng thiết bị thí nghiệm

Hệ thống máng nghiêng trên hình 3.14 gồm các thành phần chính như sau:



Hình 3.14. Hệ thống thí nghiệm

- Hệ thống rót cho phép thay đổi chiều cao rót, giúp đảm bảo rót kim loại lỏng ở một độ cao không đổi so với điểm tiếp xúc trên bề mặt máng.

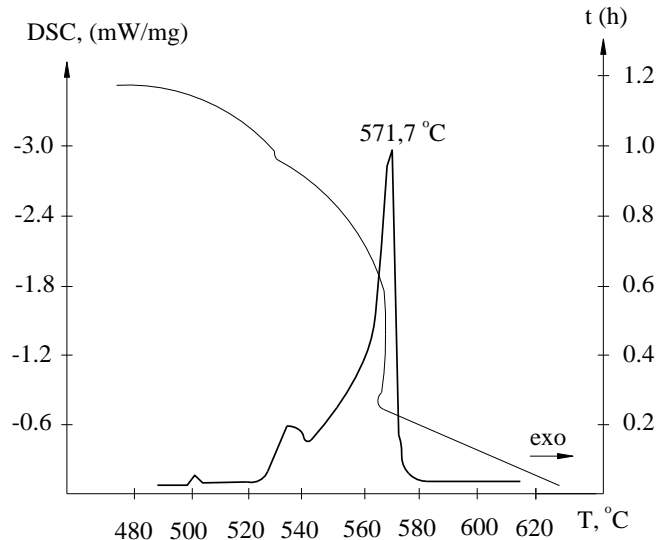
- Máng nghiêng được cố định trên bàn rung, góc nghiêng của máng so với phương nằm ngang có thể thay đổi từ 0-80 độ. Máng nghiêng làm bằng thép không gỉ SUS304, chiều dài của máng là 750 mm. Máng được chế tạo từ thép tấm có chiều dày 5 mm, chiều rộng lòng máng là 50 mm. Mặt sau của máng bố trí hệ thống nước tuần hoàn giúp làm nguội máng.

- Cốc hứng làm bằng thép không gỉ SUS 304, đường kính ngoài 65 mm, chiều cao 130 mm, mặt trong được tiện côn. Cốc hứng được đặt trong lò giữ nhiệt điện trở. Nhiệt độ của lò được điều khiển bởi bộ điều khiển nhiệt độ.

- Động cơ rung có tần số 50 Hz, công suất của động cơ 0,75 kW.

3.3.3. Xác định nhiệt độ đường lỏng, rắn của hợp kim nhôm ADC12

- Phân tích nhiệt quét vi sai: Kết quả cho thấy nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ rắn của ADC12 lần lượt là 577 °C và 545 °C. Khoảng nhiệt độ bán lỏng theo phương pháp phân tích nhiệt lượng quét vi sai khoảng 32 °C.



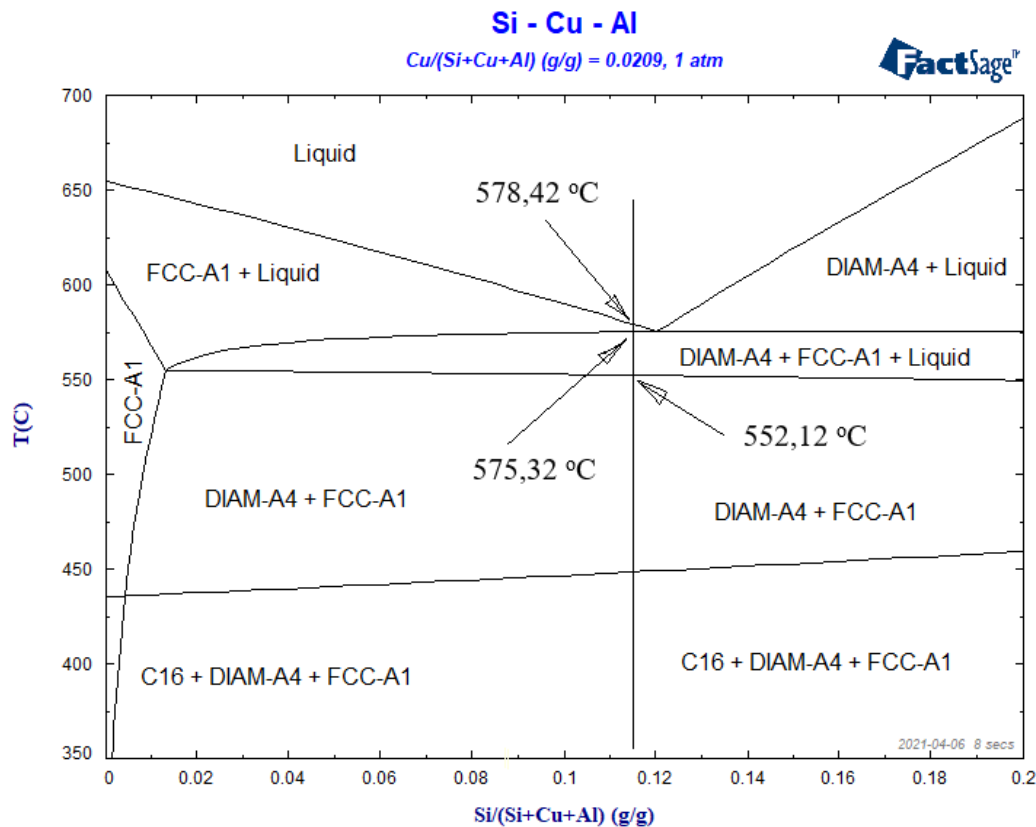
Hình 3.15. Đường cong DSC của hợp kim ADC12

- Tính toán theo giản đồ pha: Sử dụng phần mềm Factsage 8.0 vẽ giản đồ pha dưới dạng mặt cắt, là giản đồ của hệ hai cấu tử Al-Si với sự có mặt của nguyên tố Cu 2,09 %. Mặt cắt của giản đồ pha được biểu diễn trên hình 3.17.

Từ giản đồ pha, tính toán bằng phần mềm Factsage 8.0 xác định được nhiệt độ đường lỏng và nhiệt độ đường đặc đối với hợp kim nhôm ADC12 lần lượt là 578,42 °C và 552,12 °C. Khoảng nhiệt độ đông đặc cho hệ hợp kim ADC12 là 26 °C. Các pha xuất hiện trên giản đồ bao gồm: α -AL (FCC-A1), Silic (DIAM-A4), Al₂Cu (C16).

Theo tính toán bằng phần mềm Factsage 8.0 nhận thấy rằng, sự có mặt của đồng trong hệ hợp kim Al-Si dẫn đến ba thay đổi sau: (1) xuất hiện vùng tồn tại cân bằng ba pha Al-Si-lỏng, là vùng ba pha khi làm nguội pha lỏng chuyển thành pha rắn α -Al, Si cùng tinh và pha lỏng cùng tồn tại. (2) khoảng nhiệt độ của vùng ba pha trở lên rộng hơn khi nồng độ Cu tăng đến khoảng 3,5 %. (3) điểm cùng

tinh Al-Si di chuyển nhẹ về phía có nồng độ Si thấp hơn. Ba thay đổi này là do sự xuất hiện của đồng trong hệ hợp kim Al-Si. Khi không có mặt của đồng, vùng tồn tại cân bằng ba pha này không xuất hiện. Khi có mặt của đồng vùng này xuất hiện và khoảng nhiệt độ này rộng hơn khi nồng độ Cu gia tăng. Điều này có thể được giải thích, khi làm nguội hệ hợp kim Al-Si-Cu xuống dưới nhiệt độ đường lỏng, đồng hoà tan trong pha lỏng đã ức chế quá trình hình thành pha rắn cùng tinh (eutectic lamellar) giúp mở rộng khoảng nhiệt độ cùng tinh từ một điểm thành một khoảng đồng đặc.



Hình 3.17. Mặt cắt giản đồ pha ba nguyên Al-Si-Cu

3.4. Thực nghiệm rót đúc trên máng nghiêng

3.4.1. Xây dựng ma trận thực nghiệm

Trong mỗi thí nghiệm 1100 g hợp kim được nấu chảy trong lò điện trở Nabertherm ở 720 °C trong nồi nấu 30 phút, nhiệt độ của hợp kim lỏng được kiểm tra bằng cân nhiệt loại K nhúng trong nồi nấu, không sử dụng việc khử khí hoặc chất biến tính trong quá trình nấu chảy kim loại. Khi nhiệt độ của kim loại lỏng đạt đến nhiệt độ rót, hợp kim lỏng được rót lên trên bề mặt máng với chiều cao rót cố định (cách điểm tiếp xúc mặt máng khoảng 150 mm). Kim loại lỏng rót trực tiếp lên máng nghiêng trong không khí. Kim loại lỏng chảy trên bề mặt máng nghiêng trước khi được thu vào cốc hứng. Cốc hứng được đặt trong lò giữ nhiệt với nhiệt độ được đặt trước và được gia nhiệt 30 phút trước khi tiến hành rót kim loại lỏng lên máng. Hợp kim sau khi chảy vào cốc hứng được giữ đồng đều nhiệt độ một thời gian trước khi làm nguội nhanh trong nước.

3.4.2. Kết quả thực nghiệm

Kết quả thu được của 20 thực nghiệm được trình bày trong phần phụ lục, thực nghiệm được thực hiện với các thông số nêu trong bảng 3.3.

Bảng 3.3. Kết quả thực nghiệm theo thiết kế hỗn hợp ở tâm CCD

Thứ tự	Tham số thực nghiệm			Kết quả thực nghiệm	
	Nhiệt độ rót (°C)	Chiều dài máng (mm)	Góc nghiêng máng (Độ)	Kích thước hạt (µm)	Hệ số hình dạng
1	-1	-1	-1	62,5	0,77
2	1	-1	-1	72,6	0,75
3	-1	1	-1	55	0,768
4	1	1	-1	51,5	0,792
5	-1	-1	1	48,8	0,829
6	1	-1	1	58,5	0,8
7	-1	1	1	57,1	0,71
8	1	1	1	53,2	0,734
9	1,682	0	0	58,2	0,754
10	-1,682	0	0	64,6	0,764
11	0	1,682	0	57,2	0,788
12	0	-1,682	0	50,3	0,738
13	0	0	1,682	59,6	0,77
14	0	0	-1,682	51,6	0,753
15	0	0	0	57,7	0,716
16	0	0	0	56,9	0,714
17	0	0	0	57	0,716
18	0	0	0	57,3	0,72
19	0	0	0	56,2	0,71
20	0	0	0	56	0,722

3.5. So sánh các kết quả thực nghiệm

3.6. Tính toán kết quả thực nghiệm

3.6.1. Xác định hàm hồi quy đường kính hạt trung bình

Phương trình hồi quy kích thước hạt thể hiện ảnh hưởng của các thông số công nghệ như sau:

$$y = 56,56 + 1,70x_1 - 2,72x_2 - 2,74x_3 - 3,4x_1x_2 + 3,95x_2x_3 + 1,74x_1^2 - 0,96x_2^2 \quad (3.10)$$

3.6.2. Xác định hàm hồi quy hệ số hình dạng

Phương trình hồi quy xác định hệ số hình dạng có dạng như sau:

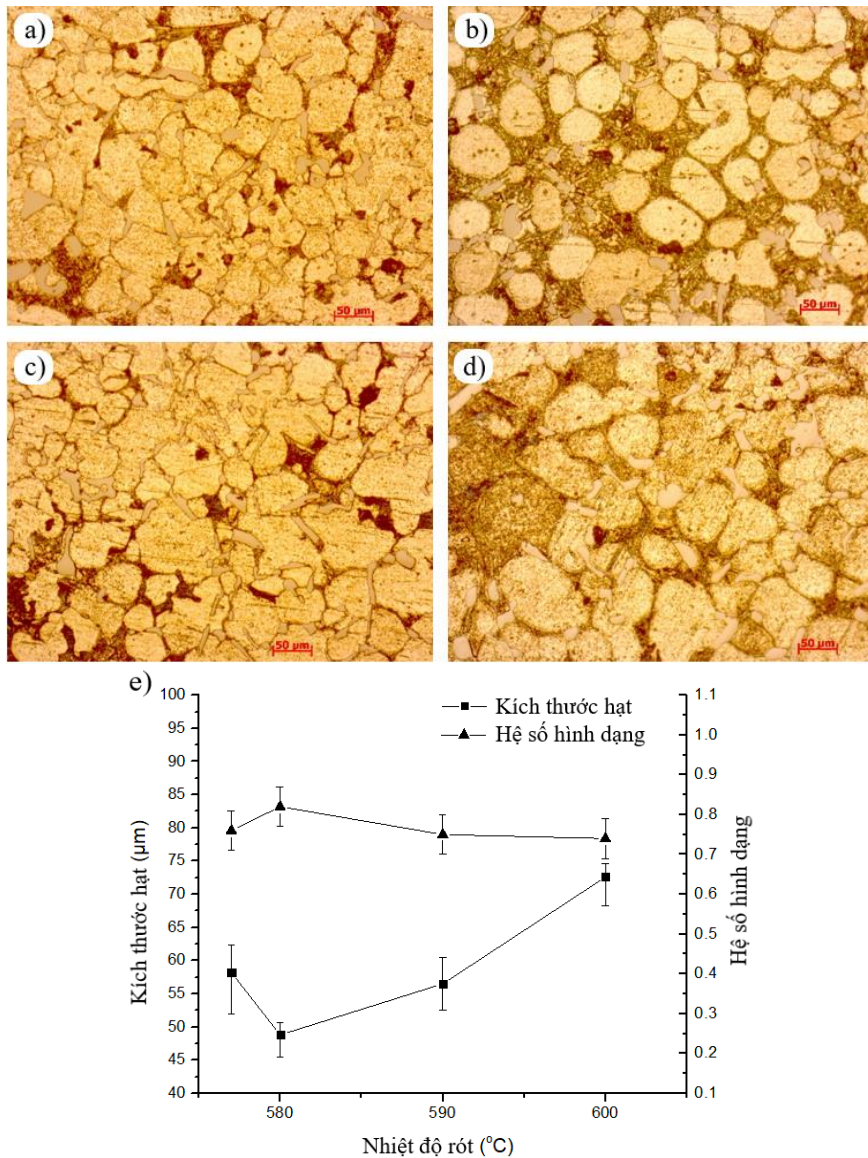
$$y = 0,716 - 0,017x_2 + 0,012x_1x_2 - 0,028x_2x_3 + 0,016x_1^2 + 0,018x_2^2 + 0,017x_3^2 \quad (3.11)$$

3.6.3. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ

a) Ảnh hưởng của nhiệt độ rót

Hình 3.28a-d mô tả tổ chức tế vi của hợp kim nhôm ADC12 ở nhiệt độ rót khác nhau với chiều dài máng (300 mm) và góc nghiêng máng (65 °) không đổi.

Thông số công nghệ đặc trưng của các thí nghiệm về máng nghiêng được liệt kê trong bảng 3.2.



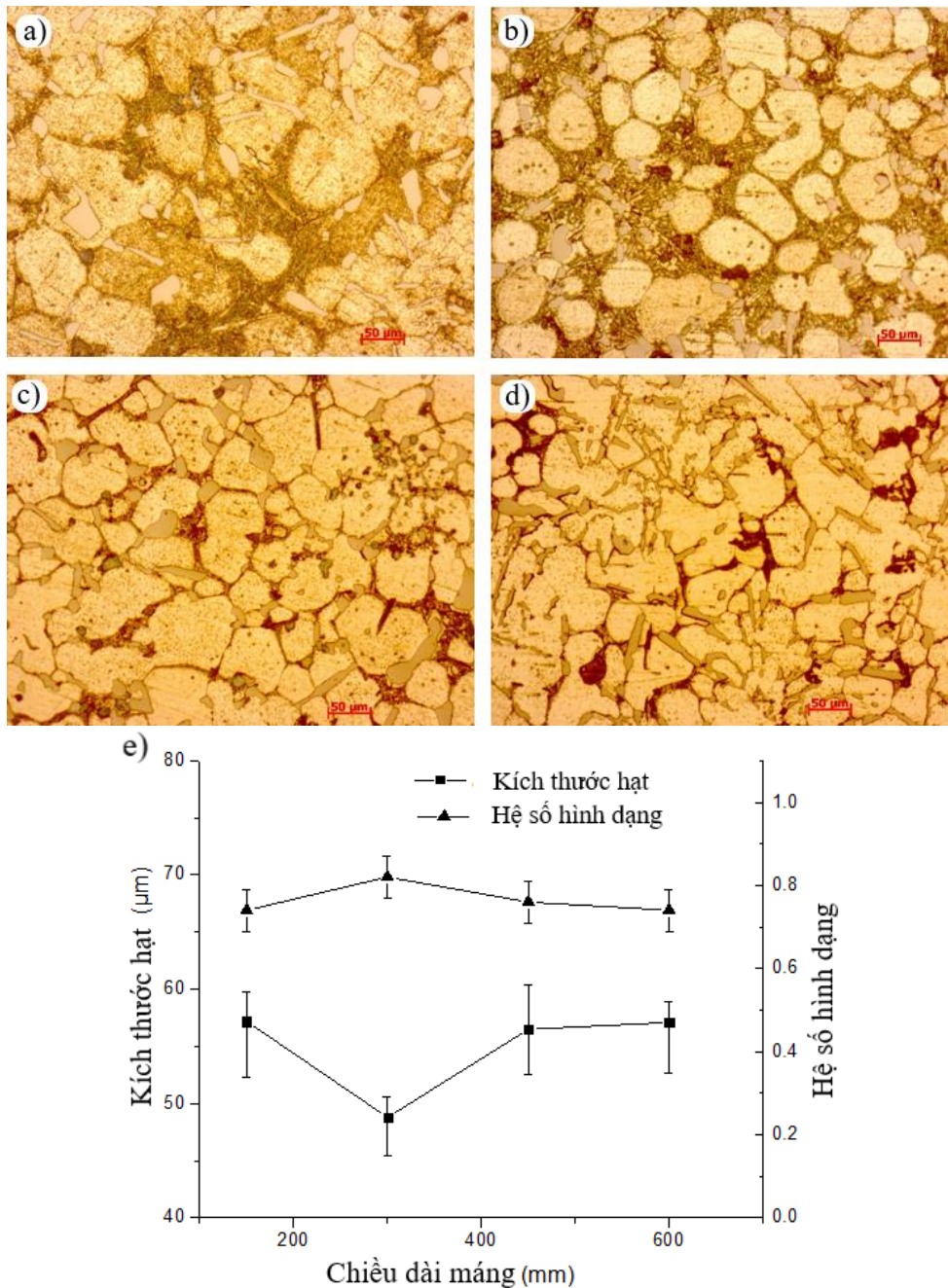
Hình 3.28. Tổ chức tế vi của phôi đúc ở các nhiệt độ rót khác nhau (Chiều dài máng 300 mm, góc nghiêng máng 65°)

a) 577 °C, b) 580 °C, c) 590 °C, d) 600 °C, e) Ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến kích thước hạt và hệ số hình dạng

Như thể hiện trong hình 3.28a-d, hình thái của các hạt α -Al sơ cấp có xu hướng cầu hơn khi nhiệt độ rót giảm dần. Hình 3.28c, d cho thấy hình thái của hạt α -Al sơ cấp không đều và thô hơn khi nhiệt độ rót là 590 và 600 °C. Hình thái của hạt α -Al sơ cấp chuyển thành hình cầu ở nhiệt độ rót 580 °C; tuy nhiên, tiếp tục giảm nhiệt độ rót độ cầu của hạt giảm đi hình 3.28e.

b) Ảnh hưởng của chiều dài máng

Hình 3.29 cho thấy sự thay đổi tổ chức tế vi của mẫu đúc lưu biến ở các chiều dài máng khác nhau với nhiệt độ rót không đổi (580 °C) và góc nghiêng máng (65 °).



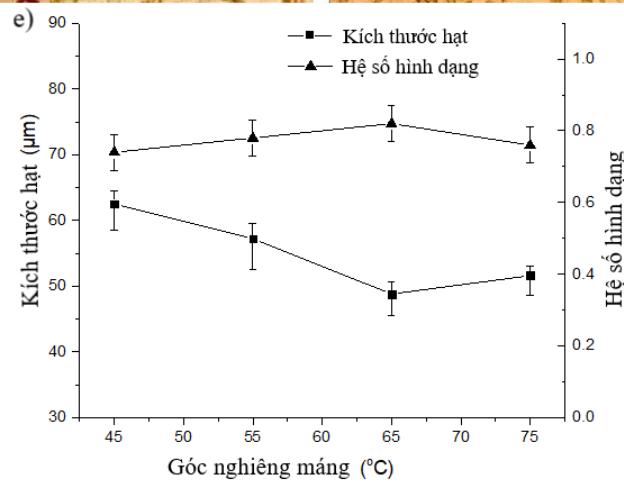
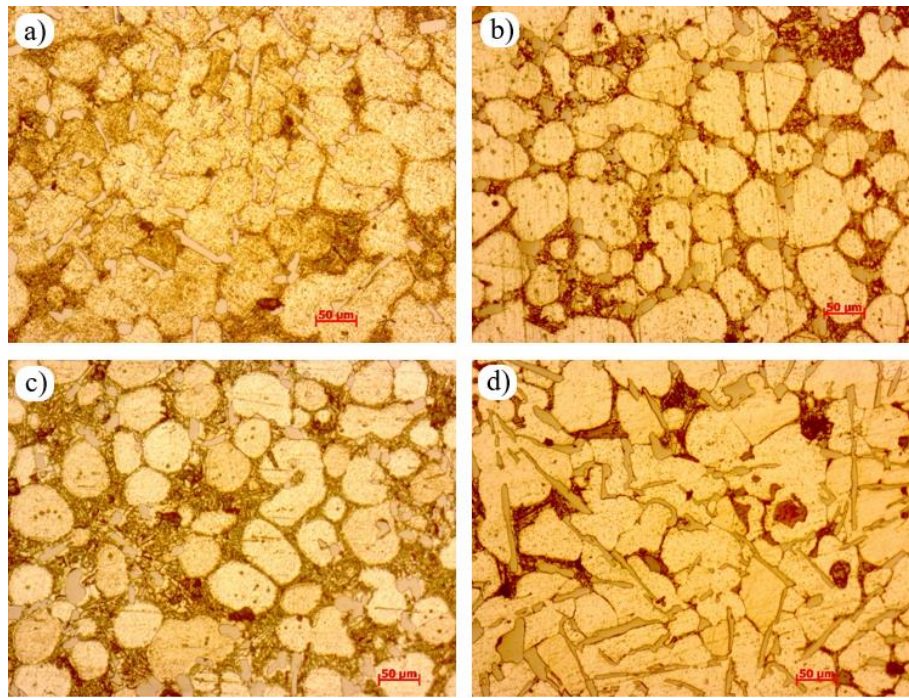
Hình 3.29. Tổ chức tế vi của phôi đúc ở các chiều dài máng khác nhau (Nhiệt độ rót 580 °C, góc nghiêng máng 65 °)

a) 150 mm, b) 300 mm, c) 450 mm, d) 600 mm, e) Ảnh hưởng của chiều dài máng đến kích thước hạt và hệ số hình dạng

Khi chiều dài máng tăng từ 150 đến 300 mm, kích thước hạt của pha sơ cấp giảm và độ cầu hoá hạt tăng lên. Khi chiều dài máng tăng từ 300 mm đến 600 mm, kích thước hạt tăng lên (hình 3.29e) trong khi độ cầu của hạt giảm.

c) Ảnh hưởng của góc nghiêng máng

Góc nghiêng máng chi phối tốc độ dòng chảy và thời gian tiếp xúc giữa hợp kim nóng chảy với bề mặt máng. Hình 3.30 cho thấy sự thay đổi kích thước hạt và hệ số hình dạng của pha sơ cấp α -Al do sự thay đổi góc nghiêng máng ở nhiệt độ rót (580 °C) và chiều dài máng (300 mm) không đổi.



Hình 3.30. Tổ chức tế vi của phôi đúc ở các góc nghiêng máng khác nhau (Chiều dài máng 300 mm, nhiệt độ rót 580 °C)

a) 45 °, b) 55 °, c) 65 °, d) 75 °, e) Ảnh hưởng của góc nghiêng máng đến kích thước hạt và hệ số hình dạng

3.6.4. Thông số tối ưu

Trong nghiên cứu này, hàm mục tiêu (desirability function) của các thông số đầu ra được sử dụng để tìm ra thông số tối ưu cho kết quả thực nghiệm. Hai thông số đầu ra cần phải tối ưu là kích thước hạt trung bình (đạt giá trị nhỏ nhất) và hệ số hình dạng (mong muốn càng gần 1 càng tốt). Căn cứ trên hai điều kiện tối ưu đó bộ thông số đầu vào tối ưu được tìm ra trên bảng 3.6.

Bảng 3.6. Thông số tối ưu đa mục tiêu (d_{min} , $S_f \max$)

Số thứ tự	Nhiệt độ rót	Chiều dài máng	Góc nghiêng máng	Đường kính hạt	Hệ số hình dạng	Hàm mục tiêu	Ưu tiên
1	580,000	300,000	65,000	48,274	0,824	0,979	Lựa chọn
2	580,000	300,066	64,901	48,343	0,823	0,976	

3.7. Kết luận

Luận án đã tiến hành chuẩn bị tổ chức cho hợp kim nhôm ADC 12 bằng phương pháp máng nghiêng kết hợp rung. Kết quả cho thấy đã tạo được tổ chức tế vi dạng cầu cho phôi hợp kim nhôm ADC12. Nghiên cứu thực nghiệm đã thu được kết quả như sau:

- Phân tích giản đồ pha và DSC của hợp kim nhôm ADC12, xác định khoảng nhiệt độ đông đặc của hợp kim này và lựa chọn khoảng biến thiên cho các thông số công nghệ trong quá trình rót đúc trên máng nghiêng.

- Tổ chức tế vi hợp kim nhôm ADC12 có dạng cầu, kích thước hạt trung bình 48 μm , hệ số hình dạng 0,82 và tương đối đồng đều giữa các vị trí khác nhau của mẫu. Tổ chức này đảm bảo điều kiện tạo hình bán lỏng.

- Kết quả phân tích ảnh hưởng các thông số công nghệ đến kích thước và hệ số hình dạng của hạt được dùng làm cơ sở để xác định thông số công nghệ tối ưu cho quá trình rót đúc.

- Đã tìm ra bộ thông số công nghệ tối ưu cho quá trình rót đúc trên máng nghiêng với hệ thống thiết bị đã xây dựng. Giá trị tối ưu là nhiệt độ rót 580 °C, chiều dài máng 300 mm và góc nghiêng 65 độ. Giá trị này được sử dụng để tiến hành rót đúc phôi phục vụ cho quá trình ép chảy bán lỏng trong chương tiếp theo của luận án.

Chương 4

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH ÉP CHẢY BÁN LỎNG

4.1. Chuẩn bị thực nghiệm

4.1.1. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

- **Mục tiêu nghiên cứu:** Khẳng định khả năng tạo hình bán lỏng xúc biến đối với hợp kim nhôm ADC12, nâng cao cơ tính của chi tiết sau tạo hình so với phương pháp đúc và đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến cơ tính của chi tiết sau tạo hình.

- **Nội dung thực nghiệm:**

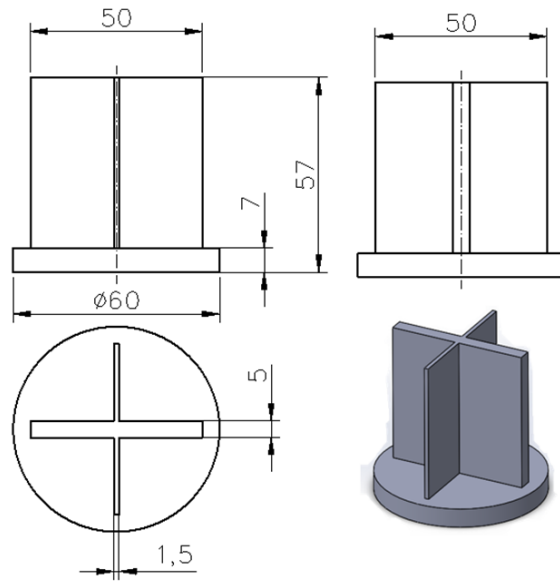
- + Nghiên cứu thực nghiệm ép chảy bán lỏng chi tiết có hình dạng phức tạp từ hợp kim nhôm ADC12 đã được chuẩn bị tổ chức với các thông số công nghệ (nhiệt độ tạo hình T, thời gian giữ nhiệt, tốc độ đầu ép v) khác nhau.

- + Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ trên đến cơ tính của sản phẩm bằng phương pháp QHTN.

- + Khảo sát sự thay đổi của tổ chức tế vi của sản phẩm sau tạo hình nhằm đánh giá khả năng tạo hình bán lỏng của hợp kim nhôm ADC12.

4.1.2. Lựa chọn chi tiết nghiên cứu

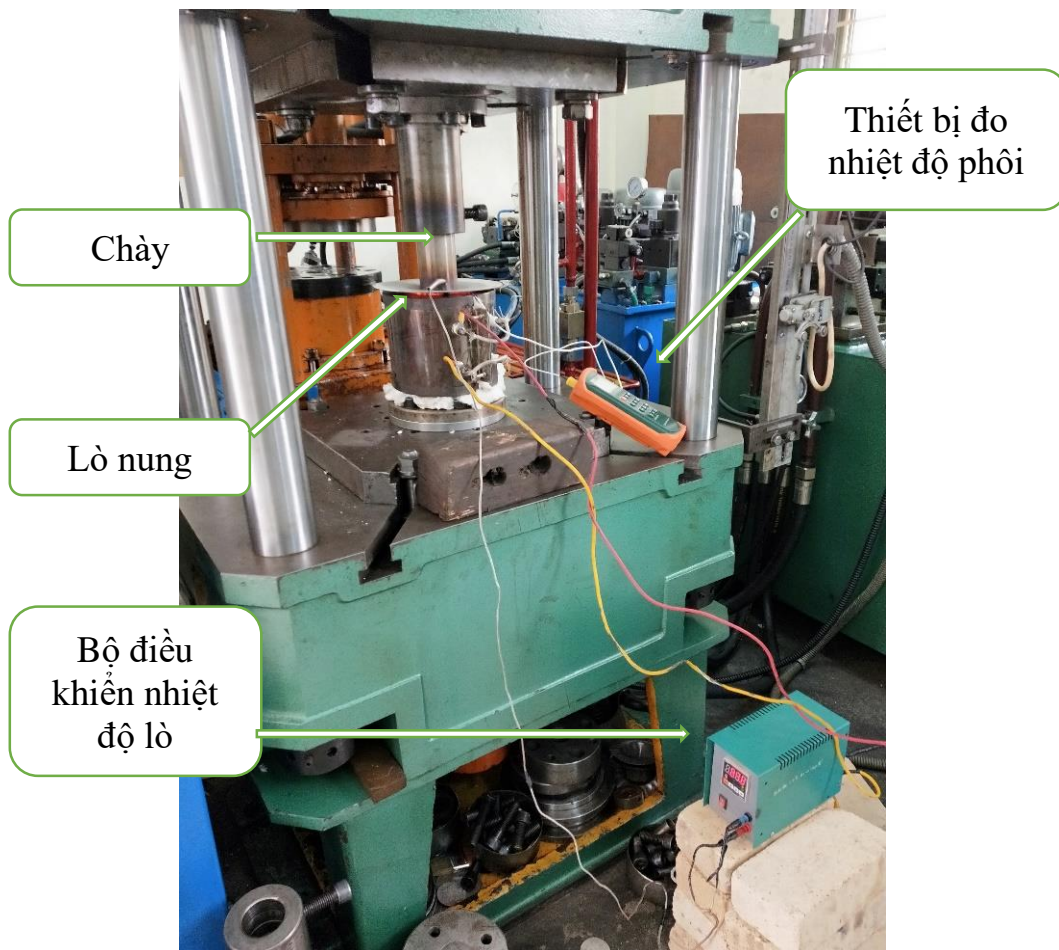
Trên cơ sở phân tích về công nghệ tạo hình và cơ sở lý thuyết tạo hình xúc biến trong chương 1 và chương 2, đã lựa chọn mô hình hình học chi tiết, là một chi tiết có thành mỏng để đánh giá khả năng công nghệ của quá trình ép chảy bán lỏng và có thể khảo sát được cơ tính của chi tiết sau tạo hình. Kích thước và thông số hình học của chi tiết thể hiện trên hình 4.1.



Hình 4.1. Chi tiết nghiên cứu

4.1.3. Thiết bị và dụng cụ thực nghiệm

Phôi tạo hình được đặt trên bề mặt của cối và được gia nhiệt bằng lò điện trở, nhiệt độ của phôi được kiểm tra bằng can nhiệt gắn vào trong phôi (hình 4.3). Tạo hình được thực hiện trên máy máy ép thủy lực METL YH32 100 tấn.



Hình 4.3. Thiết bị thực nghiệm ép chảy bán lỏng

4.1.4. Xây dựng kế hoạch thực nghiệm

- Các thông số công nghệ chính

Nhiệt độ tạo hình T, thời gian giữ nhiệt t, và vận tốc đầu ép v. Hai thông số đầu ra đánh giá cơ tính là giới hạn bền và độ giãn dài tương đối sản phẩm.

- Lựa chọn khoảng biến thiên của các thông số:

Khoảng biến thiên của các yếu tố đầu vào được lựa chọn và xác định được trình bày trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Khoảng biến thiên của các yếu tố đầu vào

TT	Biến đầu vào	Khoảng biến thiên
1	Nhiệt độ tạo hình T, [$^{\circ}$ C]	560 ÷ 568
2	Thời gian giữ nhiệt t, [phút]	5 ÷ 15
3	Vận tốc đầu ép v, [mm/s]	3 ÷ 15

c) Xây dựng ma trận thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, luận án sử dụng quy hoạch trực giao cấp một để xây dựng kế hoạch thực nghiệm. Khoảng biến thiên của các thông số thí nghiệm được cho trong bảng 4.2, ma trận thực nghiệm trong bảng 4.4.

Bảng 4.2. Các mức biến đổi và khoảng biến thiên trong các thí nghiệm

Các mức biến đổi của biến số	Các biến số mã hóa		
	x ₁	x ₂	x ₃
Mức trên (+1)	568	15	15
Mức dưới (-1)	560	5	3
Khoảng biến thiên	8	10	12

Hàm mục tiêu giới hạn bền, $\sigma_{bền}$ được mã hóa bằng hàm Y₁ và độ giãn dài của sản phẩm δ được mã hóa bằng hàm Y₂ (%).

4.2. Thực nghiệm tạo hình ép chảy bán lỏng

- Các bước tiến hành thực nghiệm

Trong thí nghiệm này, sử dụng phôi hợp kim nhôm ADC12 đã được chuẩn bị tổ chức, có kích thước $\Phi 50 \times 20$

Hệ thống thiết bị thí nghiệm được trình bày trong hình 4.3 gồm: khuôn được làm từ thép SKD 61 (ASTM H13), đã nhiệt luyện đạt 55-60 HRC. Quá trình tạo hình không sử dụng chất bôi trơn. Một lò điện trở có công suất 1,5 kW được sử dụng để gia nhiệt cho khuôn và phôi. Để kiểm soát nhiệt độ nung của lò, can nhiệt kiểu K có đường kính 5 mm được gắn vào khoảng không giữa lò và khuôn. Nhiệt độ của phôi cũng được kiểm soát bởi can nhiệt kiểu K có đường kính 2,5 mm, lỗ của can điện được gia công đến đường kính 3 mm ở tâm của các phôi, nhiệt độ của phôi được kiểm soát bởi thiết bị đo nhiệt Thermometer EXTECH, khi phôi đạt được nhiệt độ ép, giữ nhiệt ở khoảng thời gian t, sau đó tiến hành ép bằng máy ép thủy lực 100 tấn YH32.

- Sản phẩm ép và kết quả thử kéo

Từ các sản phẩm thu được, đã lựa chọn phương án gia công mẫu kéo theo TCVN 197-1:2014, kết quả thử kéo thể hiện trên bảng 4.4.

Bảng 4.4. Bảng kết quả thực nghiệm

Thứ tự	Tham số thực nghiệm			Kết quả thực nghiệm	
	x ₁ : Nhiệt độ tạo hình (°C)	x ₂ : Thời gian giữ nhiệt (phút)	x ₃ : Vận tốc đầu ép (mm/s)	Y ₁ : Giới hạn bền (MPa)	Y ₂ : Độ giãn dài tương đối (δ, %)
1	-1	-1	-1	304	3,0
2	1	-1	-1	248	2,0
3	-1	1	-1	287	2,3
4	1	1	-1	277	2,5
5	-1	-1	1	311	3,3
6	1	-1	1	254	1,6
7	-1	1	1	305	3,2
8	1	1	1	285	2,3
9	0	0	0	288	2,4
10	0	0	0	287	2,3
11	0	0	0	285	2,4

4.3. Tính toán kết quả thực nghiệm tạo hình

4.3.1. Xác định hàm hồi quy thực nghiệm

Sử dụng phần mềm Design expert 11.1.0.1 để tính toán, xác định được phương trình hồi quy cho giới hạn bền Y₁ và độ giãn dài tương đối của sản phẩm Y₂ được thể hiện trong phương trình (4.2) và (4.3) dưới đây:

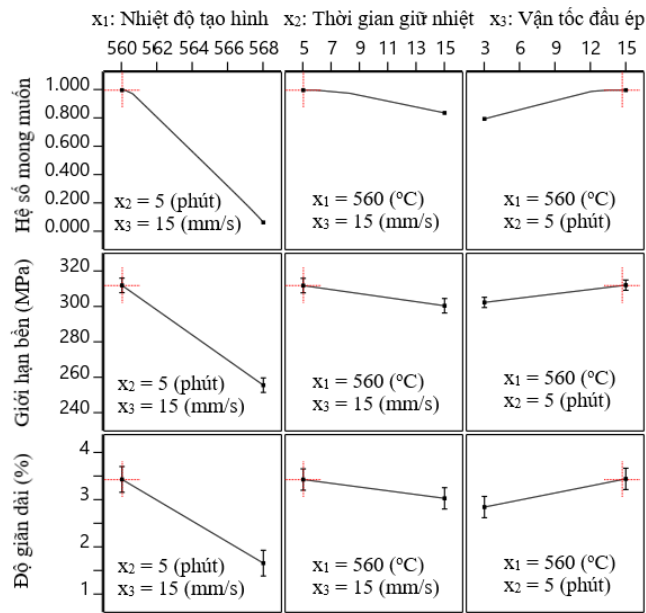
$$Y_1 = 283,88 - 17,87x_1 + 4,63x_2 + 4,88x_3 + 10,38x_1x_2 \quad (4.2)$$

$$Y_2 = 2,53 - 0,425x_1 + 0,25x_1x_2 - 0,225x_1x_3 \quad (4.3)$$

Phân tích ANOVA được sử dụng để xác định mức độ đầy đủ và ý nghĩa của mô hình. Ngoài ra, để đánh giá ảnh hưởng của sự không phù hợp (lack of fit) đối với mô hình và ý nghĩa của hệ số trong mô hình. Phân tích ANOVA cũng được sử dụng để đánh giá sự phù hợp của mô hình hồi quy.

4.3.2. Ảnh hưởng của các thông số đến cơ tính của sản phẩm

Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến giới hạn bền và độ giãn dài của chi tiết được thể hiện trong hình 4.13. Theo kết quả tính toán trong mục 4.3.1, nhiệt độ tạo hình là thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến hai yếu tố đầu ra này. Tăng nhiệt độ tạo hình đều làm giảm độ bền và độ giãn dài của các chi tiết vì nhiệt độ tạo hình ảnh hưởng trực tiếp đến tỷ phần pha lỏng của phôi, nhiệt độ tạo hình cao tỷ phần pha lỏng lớn làm cho tỷ phần pha cùng tinh (eutectic) cao trong sản phẩm, pha cùng tinh cứng và giòn làm giảm độ bền và độ giãn dài của sản phẩm khi làm nguội.



Hình 4.13. Ảnh hưởng của các thông số đến giới hạn bền và độ giãn dài

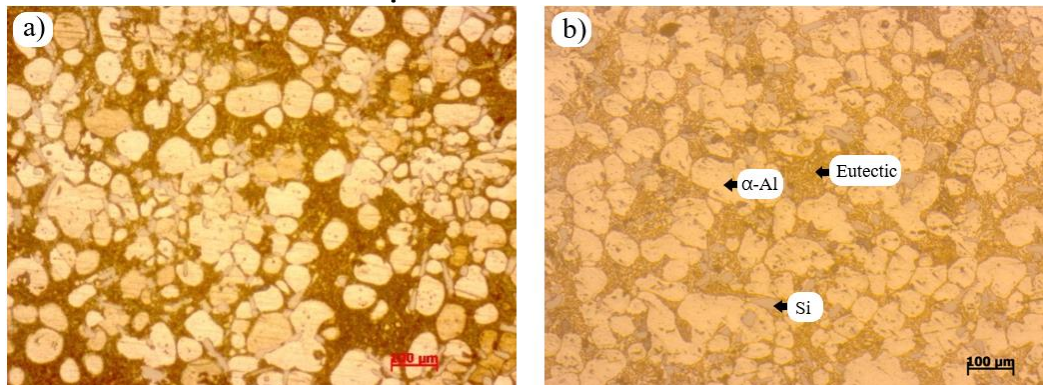
4.3.3. Thông số công nghệ tối ưu

Tính năng tối ưu hóa hàm mục tiêu của hàm hồi quy đã được sử dụng cho tất cả các yếu tố đầu ra. Quá trình tối ưu hóa là tìm ra các giá trị hợp lý của các thông số tạo hình, để thu được giá trị giới hạn bền và độ giãn dài tương đối trong quá trình ép chảy bán lỏng là lớn nhất. Giá trị tối ưu được lựa chọn khi hệ số mong muốn lớn nhất như sau: nhiệt độ tạo hình (560 °C) thời gian giữ nhiệt (5 phút) và tốc độ ép (15 mm/s).

4.4. Khảo sát sự đồng đều về tổ chức tế vi và cơ tính của sản phẩm

4.4.1. Tổ chức tế vi của vật liệu sau quá trình tạo hình bán lỏng

Tổ chức tế vi của phôi sau khi ép bán lỏng ảnh hưởng trực tiếp đến cơ tính của sản phẩm. Vì vậy, sau khi ép chảy bán lỏng vẫn giữ được tổ chức vi mô cầu hoá giúp nâng cao cơ tính sản phẩm. Luận án đã tiến hành khảo sát tổ chức tế vi của phôi và sản phẩm sau khi tạo hình bán lỏng nhằm đánh giá sự thay đổi tổ chức của hợp kim nhôm ADC12 sau tạo hình. Sau khi ép lấy mẫu để kiểm tra tổ chức tế của chi tiết thể hiện trên hình 4.14.



Hình 4.14. Tổ chức tế vi của phôi và chi tiết ép No5 (x50)

(a) Phôi được chuẩn bị tổ chức (b) Chi tiết ép chảy (với $T = 568^\circ\text{C}$, $t = 5$ phút, $v = 15$ mm/s)

Hình 4.14 thể hiện tổ chức của phôi trước khi ép (a) và sau khi ép (b). Tổ chức tế vi của chi tiết sau khi ép là tổ chức dạng cầu hoá tương đối đồng đều trong các chi tiết ép thu được. Sau khi ép chi tiết vẫn giữ được tổ chức cầu hoá của các hạt α -Al.

4.4.2. Kết quả thử cơ tính của chi tiết sau khi tạo hình

Bảng 4.8 trình bày kết quả thử cơ tính của chi tiết ép chảy từ hợp kim nhôm ADC12. Dữ liệu tham khảo được lấy từ tiêu chuẩn công nghiệp Nhật Bản JIS H5302 2000 và một số tài liệu khác.

Bảng 4.8. Cơ tính của hợp kim nhôm ADC12 và tương đương

TT	Công nghệ sản xuất	Vật liệu	Cơ tính		
			Giới hạn bền, MPa	Giới hạn chảy, MPa	δ , %
1	Đúc khuôn kim loại	ADC12	228	154	1,4
2	Đúc khuôn kim loại	AJ125	220	220	0,5
3	Dập lỏng (P = 150 MPa)	AJ125	250	240	0,85
4	Cơ tính chi tiết chảy bán lỏng	ADC12	283	251	3,3

Kết quả cho thấy giới hạn bền của chi tiết tạo hình bằng phương pháp ép chảy bán lỏng tăng 24 % và độ giãn dài của chi tiết tăng 135 % so với giới hạn bền và độ giãn dài của chi tiết được tạo hình bằng phương pháp đúc thông thường. Hiện tượng này có thể giải thích như sau, khi tạo hình bán lỏng tổ chức tế vi của hợp kim nhôm ADC 12 được thay thế từ tổ chức tế vi nhánh cây sang tổ chức tế vi dạng cầu. Việc thay đổi tổ chức tế vi của hợp kim nhôm ADC 12 đã làm thay đổi đáng kể cơ tính của vật liệu giúp vật liệu tăng được cả giới hạn bền và độ giãn dài tương đối.

4.5. Kết luận

Các kết quả thực nghiệm đã được phân tích, đánh giá khẳng định:

- Tạo hình bán lỏng thành công chi tiết thành mỏng từ hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp ép chảy bán lỏng.

- Các phương trình hồi quy được xây dựng đã xác định mối quan hệ giữa: nhiệt độ tạo hình (T), thời gian giữ nhiệt (t), vận tốc đầu ép (v) và hàm mục tiêu giới hạn bền và độ giãn dài của sản phẩm. Nhiệt độ tạo hình là thông số ảnh hưởng lớn nhất đến giới hạn bền và độ giãn dài của sản phẩm, khi tăng nhiệt độ tạo hình giới hạn bền và độ giãn dài đều có xu hướng giảm. Hai thông số còn lại thời gian giữ nhiệt và vận tốc đầu ép có mức độ ảnh hưởng tương đối nhỏ (khoảng 5%) đến hai tham số đầu ra trên.

Các kết quả nghiên cứu có thể giúp các nhà thiết kế công nghệ xác định được các quy luật tác động tương hỗ, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ khi tạo hình bán lỏng các chi tiết có hình dạng phức tạp. Từ đó khuyến cáo lựa chọn bộ thông số công nghệ hợp lý trong quá trình thiết kế công nghệ và thực tế sản xuất, góp phần giảm thời gian thiết kế, thử nghiệm, nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm.

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 đã khẳng định có thể sử dụng công nghệ tạo hình bán lỏng cho hợp kim nhôm ADC12 (có vùng đông đặc hẹp). Ngoài ra, việc áp dụng công nghệ tạo hình bán lỏng giúp tăng độ giãn dài và giới hạn bền của hợp kim nhôm ADC12 trong quá trình tạo hình bán lỏng nhưng vẫn duy trì các đặc tính cơ học khác, giúp cải thiện cơ tính chi tiết thành phẩm.

- Luận án đã xây dựng mô hình thực nghiệm rót đúc trên máng nghiêng, đã tiến hành đánh giá xác định khoảng nhiệt độ đông đặc của hợp kim nhôm ADC12 làm cơ sở cho việc xác định khoảng biến thiên của các thông số công nghệ cho quá trình rót đúc trên máng cũng như quá trình ép chảy bán lỏng.

- Dựa trên phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã tiến hành thực nghiệm rót đúc trên máng nghiêng hợp kim nhôm ADC12, xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính như: nhiệt độ rót, chiều dài máng nghiêng và góc nghiêng của máng đến tổ chức tế vi thu được. Kết thực nghiệm cho thấy phiêu thu được có tổ chức tế vi dạng cầu, đã xây dựng được phương trình hồi quy mô tả ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính đến hai thông số đầu ra là kích thước hạt trung bình và hệ số hình dạng. Trên cơ sở đó, đã xác định được thông số công nghệ tối ưu khi chuẩn bị tổ chức bán lỏng hợp kim nhôm ADC12 bằng phương pháp máng nghiêng là: nhiệt độ rót ở $580\text{ }^{\circ}\text{C}$, chiều dài máng $L = 300\text{ mm}$ và góc nghiêng của máng $\alpha = 65\text{ }^{\circ}$, khi đó thu được tổ chức tế vi dạng cầu có kích thước hạt trung bình $d = 48\text{ }\mu\text{m}$, hệ số hình dạng $S_f = 0,82$.

- Đã xây dựng mô hình thực nghiệm ép chảy bán lỏng hợp kim nhôm ADC12 chi tiết có thành mỏng, trên cơ sở trang thiết bị hiện có của Bộ môn Gia công áp lực, HVKTQS; đã xác định khoảng biến thiên của các thông số công nghệ trong quá trình ép chảy xúc biến hợp kim nhôm ADC12.

- Đã tiến hành thực nghiệm ép chảy bán lỏng hợp kim nhôm ADC12 trên mô hình thực nghiệm ép chảy bán lỏng và phương pháp quy hoạch thực nghiệm, khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính như: nhiệt độ tạo hình, thời gian giữ nhiệt và tốc độ đầu ép đến tổ chức tế vi và cơ tính của hợp kim nhôm

ADC12. Kết quả thực nghiệm cho thấy, có thể tạo hình được chi tiết có hình dạng phức tạp, thành mỏng bằng phương pháp ép chảy bán lỏng, sản phẩm thu được có tổ chức tế vi và cơ tính đồng đều trong toàn bộ thể tích sản phẩm. Tổ chức tế vi sau tạo hình có dạng cầu rõ rệt so với phiê phiê sau khi được chuẩn bị tổ chức. Cơ tính của sản phẩm được nâng cao so với các phương pháp đúc thông thường (giới hạn bền 283 Mpa, độ giãn dài tương đối là 3,3 %). Trên cơ sở quy hoạch thực nghiệm, đã xây dựng được phương trình hồi quy đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính đến cơ tính của sản phẩm sau khi ép chảy bán lỏng, đồng thời xác định được thông số công nghệ tối ưu cho quá trình ép chảy bán lỏng như sau: nhiệt độ tạo hình (560 °C) thời gian giữ nhiệt (5 phút) và tốc độ đầu ép (15 mm/s).

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 bán lỏng hợp kim nhôm ADC12, đồng thời là cơ sở 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 bán lỏng theo hướng nâng cao khả năng tạo hình các vật liệu khó biến dạng, có độ bền cao.

- Nghiên cứu xây dựng mô hình ứng xử cho vật liệu xúc biến ở trạng thái bán lỏng, nhận dạng mô hình cho hợp kim nhôm ADC12 làm cơ sở để tiến hành mô phỏng quá trình tạo hình bằng các phần mềm ANSYS, Comsol, Flow 3D Cast, Magma soft v.v...

- Tính toán bài toán rót đúc trên máng nghiêng cho trường hợp chảy rôi và mô phỏng bài toán rót đúc này.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học khuôn, ma sát tiếp xúc và một số yếu tố công nghệ khác khi tạo hình bán lỏng chi các chi tiết có kích thước lớn với nhiều thành mỏng và chiều dày thành nhỏ.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyen Anh Tuan, Dao Van Luu, Lai Dang Giang (2020); Effect of processing parameters on the thixotropic semi-solid microstructure of ADC12 aluminium cast alloy by cooling slope, *Tuyển tập báo cáo hội nghị 45 năm Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam*, trang 355 - 362, ISBN: 978-604-9985-06-5.
2. Lai Dang Giang, Nguyen Anh Tuan, Dao Van Luu, Nguyen Vinh Du and Nguyen Manh Tien (2021); Optimization of Process Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of ADC12 Alloy Aptomat Contact Fabricated by Thixoextrusion, *The 1st International Electronic Conference on Metallurgy and Metals - IEC2M 2021, Mater. Proc.* vol. 3, no. 1, p. 29, doi: <https://doi.org/10.3390/IEC2M-09240>. ISSN 2673 – 4605.
3. Nguyen Anh Tuan, Dao Van Luu, Lai Dang Giang (2021); Optimization of Processing Parameters of Primary Phase Particle Size of Cooling Slope Process for Semi-solid Casting of ADC 12 Al Alloy, *Structural Health Monitoring and Engineering Structures. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 148. Springer, Singapore. pp 49-61, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0945-9_4 (SCOPUS).
4. Tuan Nguyen Anh, Giang Lai Dang, Van Luu Dao (2021), Muti object prediction and optimization process parameters in cooling slope using Taguchi-grey relational analysis, *Modern Mechanics and Applications. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. pp 811-822, https://doi.org/10.1007/978-981-16-3239-6_62 (SCOPUS).
5. Lại Đăng Giang, Đào Văn Lưu, Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Hồng Phong, Đặng Văn Thức, Hoàng Tú (2022), Nghiên cứu sự thay đổi tổ chức tế vi của hợp kim nhôm ADC12 trong quá trình đúc lưu biến, *Journal of Science and Technique*, vol 17, No. 2, trang 34 - 44, ISSN: 1859-0209.