MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH ĐÚC ÉP BÁN LỎNG HỢP KIM NHÔM AlSi9Mg

Nguyễn Anh Tuấn, Đào Văn Lưu, Lại Đăng Giang*

Tóm tắt: *Mô hình độ nhớt Power Law Cut-Off (PLCO) được lựa chọn để mô hình hóa bài toán, kết hợp với phần mềm mô phỏng số PROCAST để mô phỏng số quá trình đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg, khảo sát ảnh hưởng của thông số công nghệ chính như tốc độ đầu ép, nhiệt độ rót đúc và nhiệt độ gia nhiệt khuôn đến quá trình điền đầy lòng khuôn và kết tinh khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg. Kết quả cho thấy, khi tốc độ đầu ép hoặc nhiệt độ rót đúc thấp, làm giảm khả năng điền đầy lòng khuôn, tuy nhiên, nếu quá cao sẽ dễ xảy ra hiện tượng chảy rối, làm ảnh hưởng xấu đến tổ chức và tính chất vật đúc. Nhiệt độ gia nhiệt khuôn ảnh hưởng lớn đến quá trình kết tinh. Đã xác định được thông số công nghệ hợp lý khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg: tốc độ đầu ép v=0.05~0.20 m.s^{-1}, nhiệt độ rót T_p=570~580^{o}C, nhiệt độ gia nhiệt khuôn T_d=200~350^{o}C. Thực nghiệm kiểm chứng phù hợp với kết quả tính toán khẳng định sự đúng đắn của mô hình lựa chọn và phương pháp tính toán.*

Từ khoá: Bán lỏng; Đúc ép; Đúc ép bán lỏng; Ép bán lỏng lưu biến.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ tạo hình bán lỏng (Semi-solid Metal Processing, SSM) là một phương pháp tạo hình tiên tiến, nó tổ hợp được nhưng ưu điểm của công nghệ dập nóng và đúc truyền thống, đặc biệt là tạo được sản phẩm có cơ tính tổng hợp cao mà chỉ cần trong một nguyên công tạo hình. SSM hiện đang là một trong những công nghệ được các nhà khoa học và doanh nghiệp đặc biệt quan tâm, nhất là trong công nghiệp ô tô, hàng không vũ trụ,… [1-3]. Trong công nghệ tạo hình bán lỏng, theo đặc điểm tạo hình được phân thành hai phương pháp cơ bản: tạo hình xúc biến (Thixoforming) và tạo hình lưu biến (Rheoforming) [1-3].

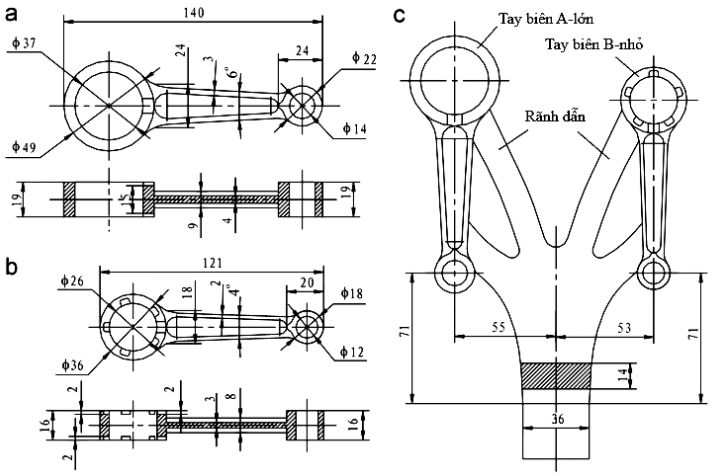
Trong công nghệ tạo hình bán lỏng, ngoài việc tạo ra tổ chức cầu hóa, nhỏ mịn, một vấn đề vô cùng quan trọng là giảm thiểu các khuyết tật trong tổ chức như: thiên tích, rỗ, phân tách pha lỏng-rắn,... Công nghệ đúc áp lực (HPDC) được sử dụng rộng rãi trong tạo hình bán lỏng, tuy nhiên, do tốc độ điền đầy rất lớn nên, khi điền đầy dễ bị chảy rối, do vậy có thể phát sinh các khuyết tật của vật đúc như rỗ khí,… [1-3]. Để khắc phục những nhược điểm này, phương pháp đúc ép bán lỏng (Semi-Solid Squeeze Casting, SSSC) ra đời, phương pháp này tương tự như HPDC nhưng tốc độ điền đầy lòng khuôn nhỏ hơn đáng kể. Ngoài ra, phương pháp SSSC tổng hợp được những ưu điểm của phương pháp rèn nóng và đúc áp lực truyền thống. Do vậy, công nghệ đúc ép bán lỏng được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu. Các nghiên cứu về đúc ép bán lỏng đã được quan tâm rộng rãi. Trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu về công nghệ đúc ép áp lực [4-5] và công nghệ đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm và Magiê [6-10]. Mao [9] và cộng sự đã ứng dụng công nghệ đúc ép để ép bán lỏng lưu biến (Rheo-Squeeze Casting, RSC) hợp kim nhôm A356, kết quả cho thấy, với áp lực ép 22 MPa thì lòng khuôn không được điền đầy, tuy nhiên, khi áp lực ép tăng lên 34 MPa, lòng khuôn được điền đầy khá tốt, bề mặt vật đúc nhẵn, sáng đẹp. Dao [11] cũng đã có những kết quả nghiên cứu thực nghiệm về công nghệ đúc ép bán lỏng (SSSC), đã khảo sát ảnh hưởng của áp lực ép, nhiệt độ rót đúc và nhiệt độ gia nhiệt khuôn đến tổ chức và tính chất của hợp kim nhôm AlSi9Mg, đã thu được những kết quả khả quan.

Như đã biết, đúc ép bán lỏng là một quá trình phức tạp, quá trình làm nguội có xảy ra sự chuyển biến pha, đông đặc kết tinh của hợp kim bán lỏng dưới tác dụng của áp suất cao,

một mặt độ nhớt hợp kim không ngừng tăng do nhiệt độ giảm, mặt khác do tác động của tốc độ ứng suất tiếp làm độ nhớt giảm đi,... Mô phỏng số là một công cụ hữu hiệu được ứng dụng để khảo sát quá trình công nghệ phức tạp này [1-3, 12]. Trong bài báo này, mô hình đúc ép bán lỏng chi tiết tay biên vật liệu AlSi9Mg đã được thiết lập, sử dụng mô hình Power Law Cut-Off (PCLO) để mô hình hóa độ nhớt của hợp kim bán lỏng AlSi9Mg, với các hệ số thực nghiệm được xác định cho hợp kim nhôm AlSi9Mg ở trạng thái bán lỏng. Mô hình này đã mô tả được độ nhớt của kim loại bán lỏng phụ thuộc vào nhiệt độ và cải tiến được độ chính xác của mô phỏng cho vật liệu trên so với các mô phỏng ở trạng thái bán lỏng trước đây [1-3, 12]. Đồng thời sử dụng phần mềm PROCAST để tiến hành mô phỏng số quá trình đúc ép bán lỏng, khảo sát ảnh hưởng của các tham số công nghệ chính như tốc độ đầu ép (hoặc áp lực ép), nhiệt độ rót đúc, nhiệt độ gia nhiệt khuôn đến quá trình điền đầy và kết tinh khi đúc ép bán lỏng tay biên làm từ hợp kim nhôm AlSi9Mg.

2. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG SỐ

Chi tiết tay biên trong động cơ đốt trong có hình dáng, kính thước tương đối phức tạp như hình 1, được làm từ vật liệu AlSi9Mg, có thành phần hóa học được trình bày trong bảng 1. Hợp kim này có nhiệt độ nóng chảy 595^{o}C, nhiệt độ đông đặc 555^{o}C, khoảng nhiệt độ bán lỏng tương đối hẹp (40^{o}C), đường cong tỉ lệ pha rắn theo nhiệt độ theo thí nghiệm phân tích nhiệt quét vi sai (DSC) thu được như trên hình 2 [11].



Hình 1. *Chi tiết tay biên:*
(a) Tay biên A -lớn, (b) Tay biên B – nhỏ và tay biên được chế tạo bằng SSSC (c).

Bảng 1. *Thành phần hoá học của hợp kim AlSi9Mg.*

Thành phần	Si	Mg	Mn	Al
%	9,23	0,25	0,5	Còn lại

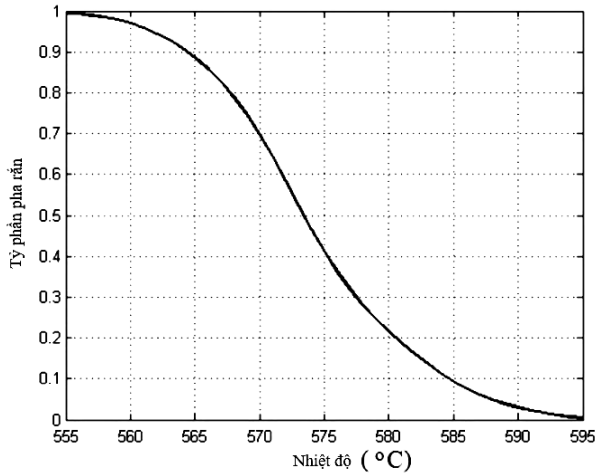
Hình 3 là mô hình dập ép bán lỏng chi tiết tay biên hợp kim nhôm AlSi9Mg. Hình 3a là mô hình hình học của khuôn gồm nửa khuôn trái, nửa khuôn phải, đầu ép và hệ thống gia nhiệt khuôn. Hai tay biên có hình dáng tương tự nhau, chỉ khác nhau kích thước. Hình 3b là mô hình chia lưới của khuôn. Để giảm thời gian tính toán mà vẫn bảo đảm được độ chính xác tính toán, sử dụng lưới nhỏ mịn để chia lưới chi tiết đúc ép, sử dụng lưới tương đối thô to chia lưới cho bộ khuôn.

Để thuận tiện cho tính toán, trong nghiên cứu này đưa giả thiết sau [1-3, 12]:

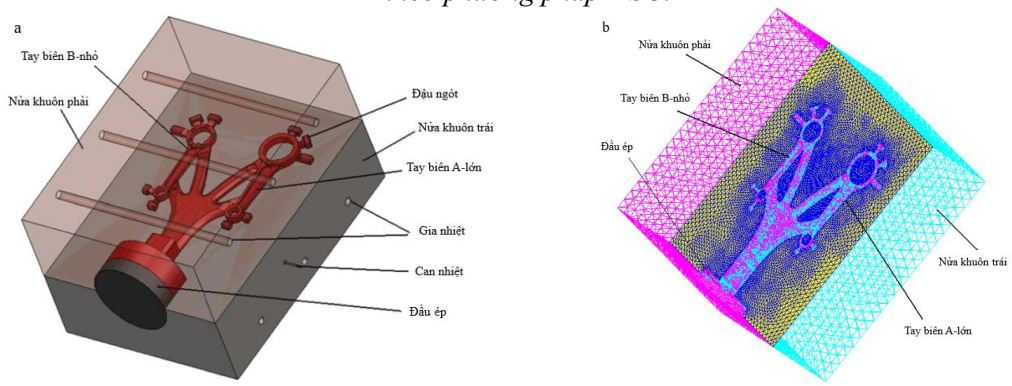
- Nhôm bán lỏng là chất lỏng phi Newton không nén được;
- Nhôm bán lỏng và khuôn đúc ép là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng;

- Trong quá trình tính toán, không xem xét ảnh hưởng của trường nhiệt độ thay đổi đến mật độ nhôm bán lỏng, tức bỏ qua sự giãn nở nhiệt của hợp kim nhôm bán lỏng, mật độ nhôm bán lỏng là không đổi;

Hợp kim nhôm bán lỏng được xem là đơn pha, không xem xét hiện tượng phân tách hai pha rắn – lỏng trong quá trình tạo hình, điều này có nghĩa hai pha rắn lỏng chuyển động cùng tốc độ, như vậy có thể dùng mô hình đơn pha để mô hình hóa nhôm bán lỏng.



Hình 2. *Đường cong tỷ phần pha rắn theo nhiệt độ của AlSi9Mg thu được theo phương pháp DSC.*



a) *b)*

Hình 3*. Mô hình học đúc ép tay biên theo phương pháp SSSC: (a) Sơ đồ công nghệ (b) Mô hình sau chia lưới.*

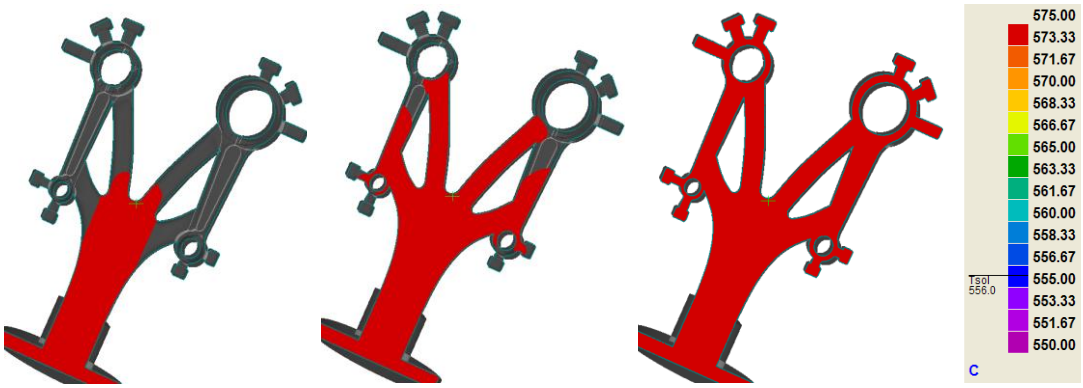
Trong quá trình đúc ép bán lỏng SSSC, tốc độ đầu ép, áp lực ép, nhiệt độ rót đúc và nhiệt độ gia nhiệt khuôn là 4 thông số công nghệ quan trọng có ảnh hưởng rất lớn đến trường nhiệt độ, trường dòng chảy, quá trình ngưng kết,... và do vậy, ảnh hưởng đến quá trình điền đầy và kết tinh của vật đúc. Tuy nhiên, do áp lực ép và tốc độ trục chính là hai thông số không phải độc lập, nên trong nghiên cứu này dùng tốc độ của đầu ép để thay thế. Đồng thời, sử dụng phần mềm PROCAST 2008 để mô phỏng số quá trình đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg, khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính: tốc độ đầu ép (v), nhiệt độ rót đúc (T_p) và nhiệt độ gia nhiệt khuôn (T_d) đến quá trình điền đầy và kết tinh khi đúc ép áp lực hợp kim nhôm AlSi9Mg chi tiết tay biên. Căn cứ vào tính chất của hợp kim nhôm bán lỏng và một số nghiên cứu, sơ bộ xác định giá trị cho các thông số công nghệ này như sau: v=0,035~0,30 $m.s^{-1}$, T_p=565~580^oC, T_d=250~350^oC. Vật liệu làm khuôn là thép hợp kim dập nóng, hệ số truyền nhiệt giữa khuôn và nhôm bán lỏng là 1500 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH

Quá trình đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm được chia thành 2 giai đoạn: giai đoạn đầu điền đầy lòng khuôn và giai đoạn sau là quá trình làm nguội, kết tinh tạo ra vật đúc.

3.1. Ảnh hưởng đến quá trình điền đầy lòng khuôn

Hình 4 là quá trình điền đầy lòng khuôn khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg tay biên ở những thời điểm khác nhau với các tham số công nghệ: tốc độ ép v=0.20 m.s^{-1}, nhiệt độ rót T_p=575^{o}C, nhiệt độ gia nhiệt khuôn T_d=250^{o}C.



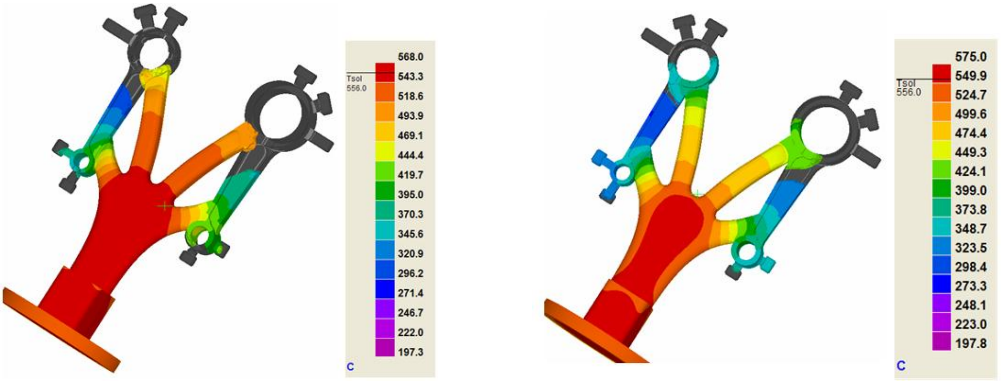
(a) t = 0.126 s *(b) t = 0.149 s* *(c) t = 0.162 s*

Hình 4. *Quá trình điền đầy lòng khuôn khi đúc ép bán lỏng.*

Từ hình 4 cho thấy, với điều kiện công nghệ như trên, nhôm bán lỏng điền đầy khá ổn định, thời gian điền đầy khá ngắn (0.162s). Do vậy, kết thúc quá trình điền đầy, trường nhiệt độ hầu như thay đổi không đáng kể, nhiệt độ hợp kim bán lỏng vẫn cao hơn đáng kể so với đường rắn, tuy nhiên đã có một bộ phận đã bị kết tinh, nhiệt độ thấp nhất là 574.4 ^{o}C.

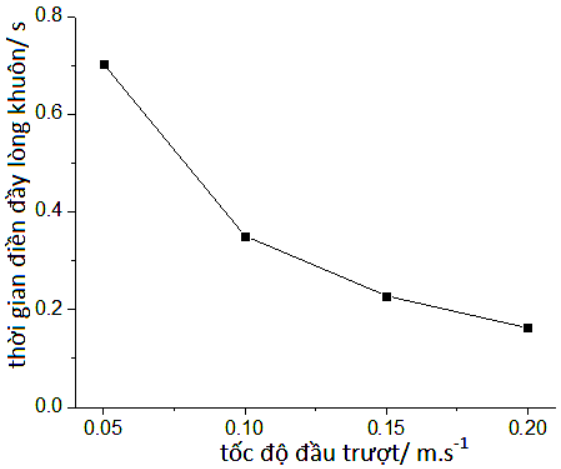
Kết quả mô phỏng cho thấy, ảnh hưởng nhiều nhất đến khả năng điền đầy lòng khuôn trong quá trình đúc ép bán lỏng là tốc độ đầu ép và nhiệt độ rót T_p, trong khi ảnh hưởng của nhiệt độ gia nhiệt khuôn là tương đối nhỏ, mà nguyên nhân do thời gian điền đầy lòng khuôn rất ngắn, giữa kim loại bán lỏng và khuôn chưa có sự trao đổi nhiệt đáng kể. Khi nhiệt độ rót quá cao, tỷ phần pha rắn nhỏ, độ nhớt của hợp kim bán lỏng tương đối thấp, do vậy khả năng điền đầy lòng khuôn rất tốt. Tuy nhiên, do độ nhớt nhỏ, nếu với tốc độ lớn rất dễ sinh ra hiện tượng chảy rối khi điền đầy, điều này dẫn đến lẫn khí và tạp chất vào hợp kim, sau kết tinh sẽ dễ sinh ra hiện tượng rỗ khí và khuyết tật khác, ảnh hưởng xấu đến chất lượng vật đúc. Ngược lại, khi nhiệt độ rót đúc quá thấp, tỷ phần pha rắn cao, độ nhớt của hợp kim bán lỏng cao nên tuy dòng chảy khá ổn định, nhưng làm giảm khả năng điền đầy lòng khuôn, thậm chí xuất hiện tượng không điền đầy lòng khuôn. Kết quả mô phỏng cho thấy, khi nhiệt độ rót đúc thấp hơn 568^{o}C, dù tốc độ đầu ép rất lơn, nhưng lòng khuôn đều không thể điền đầy (hình 5). Do vậy, nhiệt độ rót đúc nên cao hơn 570^{o}C.

Tốc độ đầu ép là một thông số công nghệ quan trọng ảnh hưởng đến dòng chảy và khả năng điền đầy lòng khuôn. Khi đầu ép tốc độ quá cao, đồng nghĩa với tốc độ ứng suất cắt lớn, dẫn đến độ nhớt hợp kim bán lỏng giảm đáng kể, điều này có thể làm xuất hiện hiện tượng chảy rối làm ảnh hưởng không tốt đến chất lượng sản phẩm. Ngược lại, khi tốc độ đầu ép quá thấp, thời gian điền đầy lòng khuôn kéo dài, dẫn đến một phần hợp kim đã bị đông đặc, độ nhớt tăng cao, do vậy dễ xảy ra hiện tượng không điền đầy lòng khuôn (hình 5b). Kết quả mô phỏng cho thấy, với tốc độ đầu ép không được nhỏ hơn 0.05 m.s^{-1}. Hình 6 là đường cong thời gian điền đầy lòng khuôn phụ thuộc vào tốc độ đầu ép.



(a) Khi nhiệt độ rót đúc quá thấp *(b) Khi tốc độ đầu ép quá nhỏ*

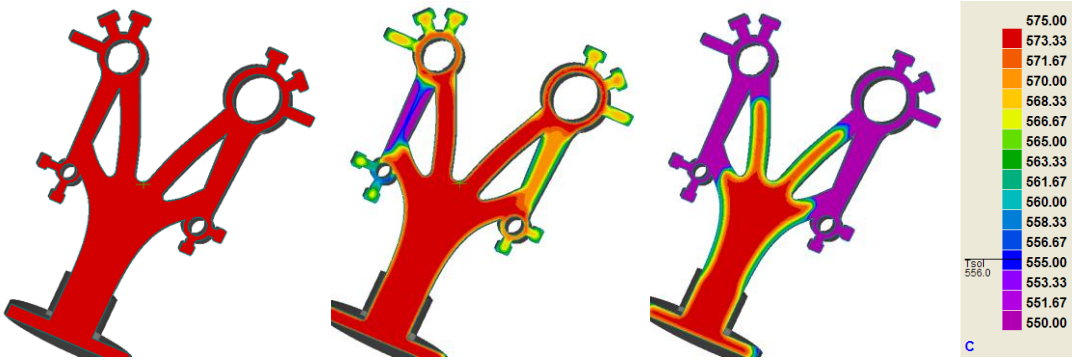
Hình 5. *Khuyết tật lòng khuôn điền không đầy.*



Hình 6. *Ảnh hưởng của tốc độ đầu ép đến thời gian điền đầy lòng khuôn.*

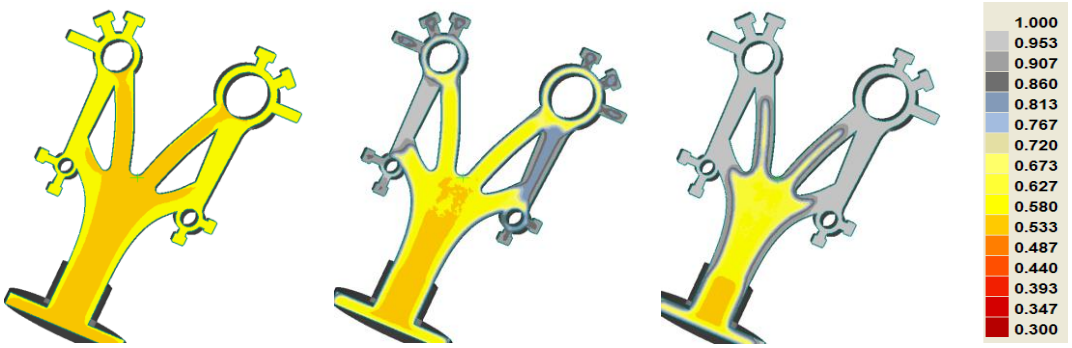
3.2. Ảnh hưởng đến quá trình kết tinh

Sau quá trình điền đầy lòng khuôn, hợp kim tiếp tục được làm nguội và kết tinh tạo ra vật đúc. Do có chênh lệch nhiệt độ rất lớn giữa hợp kim bán lỏng và khuôn, nên nhiệt độ hợp kim bán lỏng giảm liên tục, đồng thời là quá trình kết tinh. Hình 7 và 8 là phân bố trường nhiệt độ và diễn tiến tỷ phần pha rắn (kết tinh) theo thời gian khi đúc ép với v=0.20 $m.s^{-1}$, T_p=575^oC và T_d=250^oC.



(a) t = 0.162 s *(b) t = 2,083 s* *c) t = 4,483 s*

Hình 7. *Trường nhiệt độ biến đổi khi làm nguội và kết tinh.*



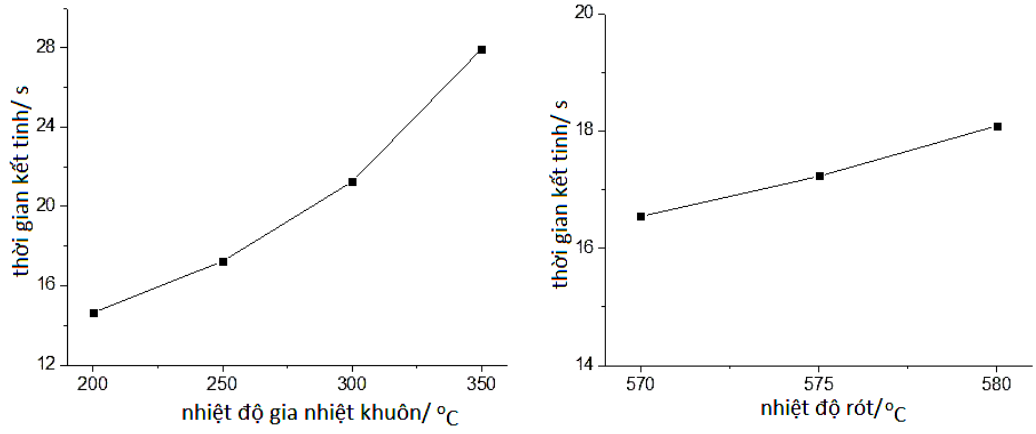
(a) t = 0.162 s *(b) t = 2,083 s* *(c) t = 4,483 s*

Hình 8. *Sự thay đổi của tỷ phần pha rắn (kết tinh) theo thời gian.*

Từ hình 7 và 8 cho thấy, ngay khi kết thúc quá trình điền đầy, nhiệt độ hợp kim bán lỏng còn khá cao, tỷ phần pha rắn cơ bản còn giữ nguyên như lúc rót đúc. Tuy nhiên, theo thời gian, trường nhiệt độ giảm, dẫn đến tỷ phần pha rắn tăng lên. Sau thời gian 2,083s, chi tiết tay biên cơ bản đã được kết tinh toàn bộ.

Trong các yếu tố công nghệ chính, nhiệt độ gia nhiệt khuôn T_d có ảnh hưởng lớn nhất đến thời gian kết tinh, sau đó là nhiệt độ rót đúc T_p, còn tốc độ đầu ép ảnh hưởng không đáng kể, tuy nhiên, tốc độ ép và áp lực ép có mối quan hệ tỷ lệ thuận, nên đây là yếu tố vô cùng quan trọng ảnh hưởng đến tổ chức và tính chất của vật đúc (hình 9).

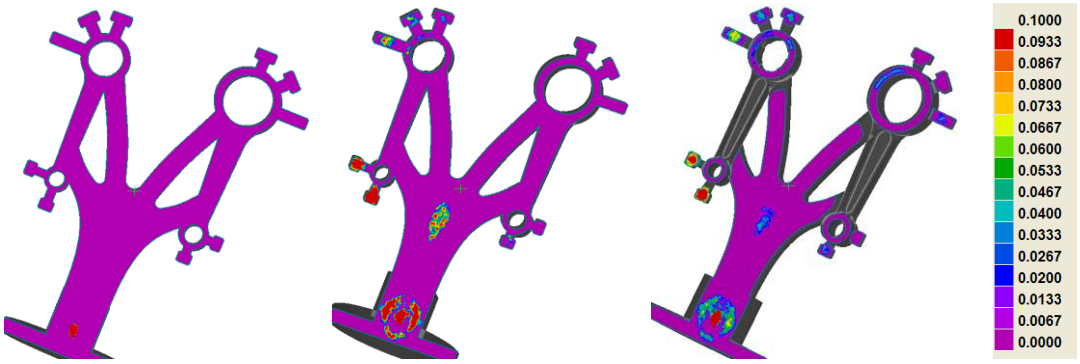
Từ hình 9 cho thấy, ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến quá trình kết tinh rất rõ ràng, còn ảnh hưởng của nhiệt độ rót đúc đến thời gian kết tinh không nhiều. Khi nhiệt độ gia nhiệt khuôn thấp, do có độ chênh lệch nhiệt độ lớn nên hợp kim bán lỏng nhanh chóng bị làm nguội. Điều này một mặt làm có thể tổ chức tế vi của vật đúc nhỏ mịn, nhưng mặt khác do chênh lệch nhiệt độ lớn, dễ xảy ra hiện tượng sốc nhiệt, ảnh hưởng không tốt đến chất lượng vật đúc. Ngược lại, khi nhiệt độ gia nhiệt khuôn quá cao, độ chênh nhiệt giữa khuôn và hợp kim bán lỏng nhỏ, dẫn đến thời gian kết tinh kéo dài, sẽ ảnh hưởng không tốt đến tổ chức và tính chất của vật đúc. Còn nhiệt độ rót đúc sẽ ảnh hưởng rất lớn đến tỷ phần pha rắn ban đầu, do vậy, sẽ có ảnh hưởng rất lớn đến tổ chức vật đúc thu được trong quá trình đúc ép bán lỏng.



(a) v = 0.2 m.s^{-1}, T_p = 575 °C *(b) v = 0,2 m.s^{-1}, T_d = 250 °C*

Hình 9. *Ảnh hưởng của nhiệt độ gia nhiệt khuôn và nhiệt độ rót đến thời gian kết tinh.*

Như vậy, tốc độ đầu ép (hoặc áp lực ép), nhiệt độ rót đúc và nhiệt độ gia nhiệt khuôn có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình điền đầy và kết tinh khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm. Khi nhiệt độ rót đúc hoặc tốc độ đầu ép quá cao, khả năng điền đầy lòng khuôn lớn, nhưng do tỷ phần pha rắn ban đầu nhỏ, độ nhớt thấp, dễ xảy ra hiện tượng chảy rối làm ảnh hưởng xấu đến tổ chức và tính chất vật đúc; Ngược lại, khi các thông số công nghệ này quá thấp, do tỷ phần pha rắn ban đầu cao, độ nhớt cao, làm giảm khả năng điền đầy lòng khuôn, thậm chí lòng khuôn điền không đầy. Nhiệt độ gia nhiệt khuôn ảnh hưởng lớn đến thời gian kết tinh, quá thấp dễ xảy ra sốc nhiệt, quá cao làm thời gian kết tinh dài, ảnh hưởng không tốt đến tổ chức và tính chất vật đúc. Hình 10 là ảnh hưởng của thông số công nghệ này đến khả năng xuất hiện khuyết tật trong vật đúc (shrinkage porosity) khi thông số công nghệ hợp lý hoặc không.



(a) Thông số hợp lý *(b) Nhiệt độ rót cao* *(c) Tốc độ trục chính cao*

Hình 10. *Khả năng xuất hiện khuyết tật co, rỗ trong vật đúc.*

Từ kết quả mô phỏng số thu được và phân tích, nhận thấy, các thông số công nghệ hợp lý khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg như sau: nhiệt độ rót đúc 570~580^{o}C, tốc độ đầu ép 0.05~0.20 m.s^{-1} (tương ứng áp lực ép 25~100 MPa), nhiệt độ gia nhiệt khuôn 200~350^{o}C. Với các điều kiện này, lòng khuôn được điền đầy tốt, thời gian kết tinh ngắn, khả năng xuất hiện các khuyết tật nhỏ, do vậy sẽ thu được vật đúc có chất lượng tốt nhất.

3.3. Thực nghiệm kiểm chứng

Để kiểm chứng kết quả mô phỏng số, trong nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm kiểm chứng. Thiết bị là máy đúc ép áp lực SCH-400, với lực ép danh nghĩa 400 tấn. Các thông số công nghệ được lựa chọn giống như phần mô phỏng. Kết quả cho thấy, khi thông số công nghệ hợp lý, vật đúc được điền đầy tốt, bề mặt đẹp; ngược lại khi thông số công nghệ không hợp lý, dẫn đến các khuyết tật như điền không đầy, bề mặt có vết hằn hoặc các khuyết tật trong tổ chức tế vi, như hình 11. Kết quả thực nghiệm này đã kiểm chứng cho sự tin cậy của mô hình tính toán và kết quả mô phỏng số của nghiên cứu này.



(a) Thông số hợp lý *(b) Tốc độ trục chính thấp* *(c) Nhiệt độ rót thấp*

Hình 11. *Kết quả thực nghiệm đúc ép bán lỏng.*

4. KẾT LUẬN

- Đã mô hình hóa quá trình đúc ép bán lỏng chi tiết tay biên hợp kim nhôm AlSi9Mg, trong đó sử dụng mô hình độ nhớt PLCO để mô hình hóa độ nhớt của hợp kim bán lỏng;

- Tốc độ đầu ép (áp lực ép) ảnh hưởng lớn đến khả năng điền đầy và chất lượng vật đúc. Khi tốc độ quá thấp, khả năng điền đầy lòng khuôn kém, ngược lại, tốc độ quá cao dễ xảy ra hiện tượng chảy rối làm ảnh hưởng xấu đến tổ chức và tính chất vật đúc;

- Nhiệt độ rót thấp làm giảm khả năng điền đầy, thậm chí không thể điền đầy lòng khuôn. Nhiệt độ rót cao làm tăng khả năng điền đầy, nhưng sẽ ảnh hưởng xấu đến tổ chức vật đúc;

- Nhiệt độ gia nhiệt khuôn ảnh hưởng lớn đến quá trình làm nguội và kết tinh của vật đúc khi đúc ép bán lỏng. Nhiệt độ khuôn thấp dễ xảy ra hiện tượng sốc nhiệt, nhiệt độ khuôn quá cao sẽ làm thời gian kết tinh dài, ảnh hưởng xấu đến tổ chức và tính chất vật đúc;

- Đã xác định được thông số công nghệ hợp lý khi đúc ép bán lỏng hợp kim nhôm AlSi9Mg: tốc độ đầu ép v=0.05~0.20 $m.s^{-1}$, nhiệt độ rót T_p=570~580^oC, nhiệt độ gia nhiệt khuôn T_d=200~350^oC. Với thông số này, sẽ thu được vật đúc có khả năng điền đầy tốt, ít khuyết tật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Fan Z. *"Semisolid metal processing[J]"*. International Materials reviews, 2002, 47(2): 1-39.

[2]. Flemings MC. "*Behavior of metal alloys in the semisolid state[J]"*. Metallur. Tran. A, 1991, 22A: 957-981.

[3]. Atkinson HV. *"Current Status of Semi-Solid Processing of Metallic Materials[M]"*. Uni. of Leicester, 2009: 81-98.

[4]. Ghomashchi MR, Vikhrov A. *"Squeeze casting: an overview"*. J. of Mater. Process. Technol., 2000, 101: 1-9.

[5]. Kleiner S, Beffort O, Wahlen A, et al. *"Microstructure and mechanical properties of squeeze cast and semi-solid cast Mg-Al alloy[J]"*. J. of Light Metal, 2002, 2: 277-280.

[6]. Chang SY, Choi JC. *"Semi-solid squeeze casting of ignition-proof Mg-Ca-Zr system alloys[J]"*. Metals and Materials, 1998, 4(2): 165-171.

[7]. Zhai YB, Liu CM, Han ZT, et al. *"Semi-solid squeeze casting of a ZL109 alloy[J]"*. Rare Metals, 2008, 27(2): 329-334.

[8]. Chen Q, Yuan BG, Zhao GZ, et al. *"Microstructural evolution during reheating and tensile mechanical properties of thixoforged AZ91D-RE magnesium alloy prepared by squeeze casting–solid extrusion[J]"*. Mater. Sci. and Eng. A, 2012, 537: 25-38.

[9]. Mao WM, Zheng Q, Zhu DP. *"Rheo-squeeze casting of semi-solid A356 aluminum alloy slurry[J]"*. Tran. Nonferrous Met. Soc. China, 2010, 20: 1769-1773.

[10]. Dai W, Wu SS, Lu SL, et al. *"Effects of rheo-squeeze casting parameters on microstructure and mechanical properties of AlCuMnTi alloy [J]"*. Mater. Sci. and Eng. A, 2012, 538: 320-326.

[11]. Vanluu Dao, Shengdun Zhao et al. *"Effect of process parameters on microstructure and mechanical properties in AlSi9Mg connecting-rod fabricated by semi-solid squeeze casting[J]"*. Materials Science and Engineering: A. Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing. 2012, 558: 95-102.

[12]. Vanluu Dao, Shengdun Zhao, Wenjie Lin. *"Numerical and experimental study on effect of process parameters on preparation of A356 aluminum alloy semi-solid slurry by electromagnetic stirring [J]"*. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 2013, 41: 153-165.

ABSTRACT

NUMERICAL SIMULATION SQUEEZE CASTING OF ALUMINUM ALLOY ALSI9MG

Based on the PLCO model, the model of AlSi9Mg alloy connecting-rod fabricated by semi-solid squeeze casting (SSSC) process is established and simulated by PROCAST software. The effect of process parameters, such as ram speed (or applied pressure), pouring temperature and die preheated temperature on die cavity filling, filling ability and solidification process was investigated with corresponding experimental verification. The reasonable process parameters of AlSi9Mg alloy connecting-rod fabricated by SSSC were further identified: ram speed v=0.05~0.20 m.s^{-1}, pouring temperature T_p=570~580^{o}C, die preheated temperature T_d=200~350^{o}C. The simulation results are significantly approved with corresponding experimental ones, that verifying the reliability of the calculation models and the software algorithm.

Keywords: Semi-solid; Squeeze casting; Semi-solid squeeze casting; Rheo-Squeeze casting.

Nhận bài ngày 06 tháng 5 năm 2020
Hoàn thiện ngày 19 tháng 6 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 10 năm 2020

Địa chỉ: Học viện Kỹ thuật quân sự.
*Email: danggiang248@gmail.com.