

MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY KIM LOẠI TRONG KHUÔN ĐÚC ÁP LỰC CAO VẬT LIỆU NHÔM ADC12

SIMULATION OF METALLIFEROUS FLOW IN THE HIGH-PRESSURE MOLD USED FOR ADC12 ALUMINUM MATERIAL

Nguyễn Tuấn Linh^{1*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Tác giả liên hệ: nguyentuanlinh@hau.edu.vn

(Nhận bài: 22/6/2021; Chấp nhận đăng: 09/7/2021)

Tóm tắt - Trong quá trình đúc áp lực cao, việc tính toán dòng chảy kim loại với vận tốc, nhiệt độ hợp lý để đảm bảo cho kim loại được đồng thời phun vào lòng khuôn, điền đầy tất cả các vị trí góc, rãnh và quá trình kết tinh đồng đều là rất quan trọng để tạo ra được sản phẩm có chất lượng tốt. Bài báo này trình bày phương pháp mô phỏng để tính toán dòng chảy kim loại trong khuôn. Các kết quả cho thấy, vận tốc dòng chảy và nhiệt độ dòng chảy kim loại ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Trong vùng khảo sát, khi vận tốc dòng chảy $v = 0,7$ m/s, nhiệt độ dòng chảy $T = 650^\circ\text{C}$ thì thời gian đông đặc nhỏ nhất, độ co ngót giảm và vị trí rỗ khí nằm ở khu vực đầu ngót. Các kết quả này giúp đánh giá, điều chỉnh các thông số công nghệ và hình học như tiết diện kênh dẫn, vận tốc phun, nhiệt độ đầu vào cũng như việc phân phối dòng chảy sẽ giúp kiểm soát chất lượng của sản phẩm trước khi đưa vào sản xuất.

Từ khóa - Mô phỏng; dòng chảy kim loại; đúc áp lực cao; chất lượng sản phẩm

1. Đặt vấn đề

“Đúc áp lực cao là công nghệ trong đó kim loại lỏng điền đầy khuôn và đông đặc dưới tác dụng của áp lực cao do dòng khí nóng hoặc dầu ép trong xilanh ép tạo ra” [1-2]. Đối với đúc áp lực cao, dòng chảy được giả thiết là dòng chất lỏng Newton. Trong quá trình tính toán dòng chảy, cần tính đến dòng kim loại chảy với vận tốc bảo đảm không gây ra dòng chảy rối. Một trong các yêu cầu quan trọng là dòng chảy phải bảo đảm vận tốc đủ lớn để kim loại được đồng thời phun vào các lòng khuôn, do đó sẽ làm cho quá trình kết tinh đồng đều. Quá trình xác định vận tốc dòng chảy của kim loại khi đúc áp lực cao sẽ giúp tối ưu kích thước rãnh dẫn, kích thước cửa phun, vận tốc, áp lực phun, và thời gian điền đầy khuôn. Quá trình kết tinh của kim loại phụ thuộc vào các yếu tố nhiệt động học. Bằng phương pháp mô phỏng có thể xác định thời gian nguội, thời gian kết tinh, vùng kết tinh nhanh nhất và chậm nhất của vật đúc. Trên cơ sở đó có thể dự đoán quá trình kết tinh bảo đảm tổ chức kim loại đồng đều trên tiết diện sản phẩm và đồng đều trên các sản phẩm khác nhau với cùng một lần đúc. Ngoài ra, mô phỏng cũng giúp xác định ứng suất dư tại các vùng khác nhau của vật đúc. Đồng thời có thể tính bền của khuôn khi chịu áp lực và nhiệt độ cao [3].

Việc tính toán thiết kế khuôn đúc nếu không có mô phỏng sẽ đòi hỏi phải chế thử và cần có nhiều kinh nghiệm, gây tốn kém thời gian, kinh phí, làm tăng giá thành sản phẩm. Chính vì vậy, việc ứng dụng kỹ thuật mô phỏng, theo phương pháp thiết kế công nghệ hiện đại để giảm thiểu các chi phí và nhanh chóng đưa sản phẩm ra thị trường là điều cần thiết. Trên cơ sở tính toán sơ bộ các thông số công nghệ đúc áp lực cao, lấy các

Abstract - In the high-pressure casting process, calculating the metal flow with a guaranteed speed, a reasonable temperature ensures that the metal is simultaneously injected into the mold cavity, filling all the corners, grooves, and positions. This paper presents a simulation method to calculate the metal flow in the mold. The results show that the metal flow rate and temperature affect the product quality. The simulation results in the survey area demonstrate that when the flow rate $v = 0.7$ m/s, the flow temperature $T = 650^\circ\text{C}$, the solidifying time is the smallest, the shrinkage is reduced and the blowhole is located in the feeder head area. This results help to evaluate and adjust technological and geometrical parameters such as channel cross-section, injection speed, inlet temperature. Besides, the flow distribution can be used to control the quality of the product before it goes into production.

Key words - Simulation; flow of metal; high pressure casting; product quality

thông số đó làm điều kiện đầu vào cho mô phỏng.

Trên thế giới đã có một số công trình nghiên cứu về lĩnh vực đúc áp lực. Guoding Yuan và các cộng sự [4], đã nghiên cứu nhằm kiểm soát toàn diện, hợp lý và chính xác các thông số khác nhau trong quá trình đúc áp lực, từ đó đảm bảo sự ổn định của quá trình sản xuất và nâng cao chất lượng của sản phẩm. Trong nghiên cứu [5], Jayant K. Kittur đã mô hình hóa quá trình đúc khuôn áp lực cao bằng cách sử dụng thuật toán mạng nơ-ron lan truyền ngược. Quá trình đúc áp lực được coi là một mô hình đầu vào - đầu ra với vận tốc phun nhanh, tăng cường áp suất, thay đổi pha theo điểm và thời gian được coi như các thông số đầu vào, trong khi độ nhám bề mặt, độ cứng và độ xốp được coi như các thông số đầu ra của hệ thống. Y. Abdulfatah Abdu và các cộng sự [6] đã đề xuất cách thiết kế và phân tích khuôn đúc áp lực. Nhằm đạt được dung sai nhỏ nhất, giảm chi phí gia công và có thể làm cho quy trình trở thành lựa chọn tối ưu cho sản xuất số lượng nhỏ. M. Thirugnanam trong nghiên cứu [7] phân tích về quy trình đúc hiện đại, đã khắc phục được những nhược điểm của các quá trình đúc bình thường như không khí và lỗ thoát khí được giảm thiểu rất nhiều, cấu trúc tế vi của sản phẩm sau khi đúc tốt, độ dày thành đúc đã giảm xuống giá trị sắp xỉ 0,5 mm mà trong quá trình đúc thông thường không thể làm được và sự co rút cục bộ được ép ra ngoài.

Qua khảo sát ta thấy, phần mềm Procast có đầy đủ chức năng cho việc phân tích mô phỏng quá trình đúc áp lực. Do đó, trong nghiên cứu này, phần mềm Procast được sử dụng để mô phỏng và mô đun Postprocessor được sử dụng để lấy

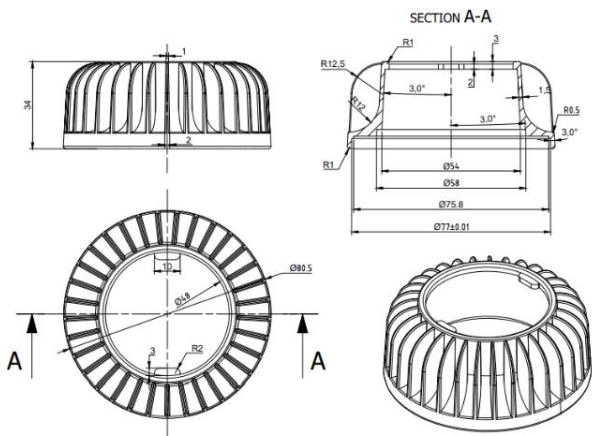
¹ Hanoi University of Industry (Nguyen Tuan Linh)

kết quả. Phân tích các kết quả tính toán về nhiệt độ, vận tốc phun, thời gian phun, so sánh các phương án để tìm ra được kết quả tốt hơn.

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Mô hình vật liệu

Chi tiết dùng để đúc áp lực là chi tiết sử dụng trong đèn LED có chứa các cánh mỏng tản nhiệt, một dạng chi tiết rất khó đúc. Bản vẽ chi tiết đúc được thể hiện như Hình 1. Sử dụng vật liệu đúc là nhôm ADC12 với thành phần hóa học như Bảng 1, tính chất vật lý và đặc tính được thể hiện như Bảng 2.



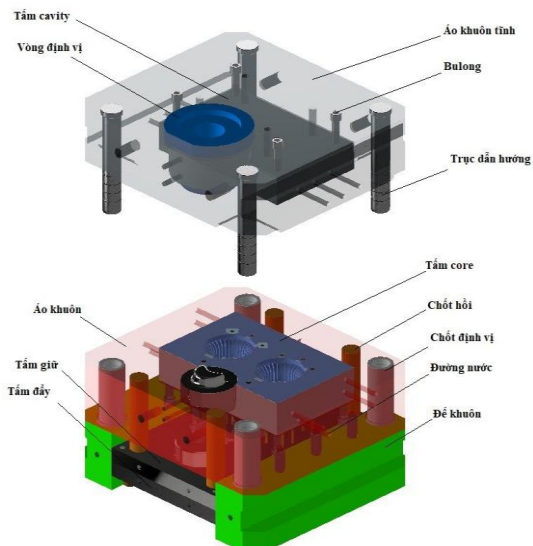
Hình 1. Bản vẽ chi tiết đúc

Bảng 1. Thành phần hóa học của nhôm ADC12

Mã hợp kim	Cu %	Si %	Mg %	Zn%	Fe %	Mn %	Ni %	Sn %	Al
ADC12	1,5 ÷ 3,5	9,6 ÷ 12	< 0,3	< 1,0	< 0,9	< 0,5	< 0,5	< 0,3	Còn lại

Bảng 2. Tính chất vật lý và đặc tính của nhôm ADC12

Mã hợp kim	Độ bền kéo (Kgf/mm ²)	Độ giãn %	Nhiệt độ nóng chảy (°C)	Nhiệt độ kết tinh (°C)	Dẫn điện % LACS	Dẫn nhiệt CGS	Hệ số giãn nở	Trọng lượng riêng %
ADC12	33	1	663	491	23	0,23	20,5	2,7



Hình 2. Bản vẽ 3D lòng khuôn và lõi khuôn

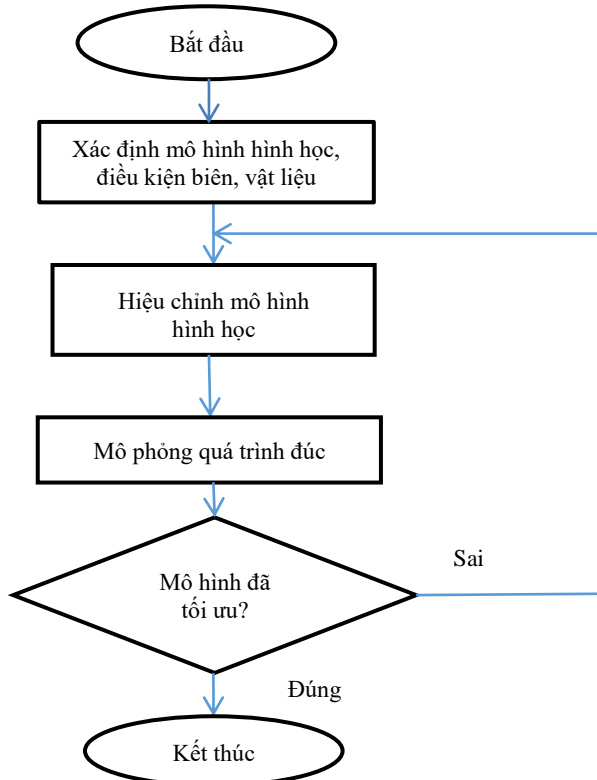
Lòng khuôn và lõi khuôn được thiết kế để có thể đúc đồng thời hai sản phẩm theo tiêu chuẩn của hãng FUTABA, bản vẽ thiết kế lòng khuôn và lõi khuôn được thể hiện như Hình 2. Vật liệu làm khuôn là SKD61 với thành phần hóa học như Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hóa học của SKD61

Mác thép	Thành phần hoá học (%)				
	C	Si	Mn	Cr	Mo
SKD61	0.4 ÷ 0.5	≤ 0.35	≤ 1.0	1.0 ÷ 1.5	0.2 ÷ 0.4

2.2. Sơ đồ khối mô phỏng dòng chảy trên phần mềm Procast

Mục tiêu của bài toán mô phỏng này là thời gian điền đầy các sản phẩm gần bằng nhau, tại thời điểm kết thúc điền đầy, nhiệt độ kim loại lỏng trong lòng khuôn vẫn trên nhiệt độ kết tinh. Nếu không đáp ứng yêu cầu, điều chỉnh dòng chảy kim loại thông qua điều chỉnh hình dáng kích thước rãnh dẫn và cửa phun. Với các kích thước sơ bộ của lòng khuôn trong các tính toán, thiết kế khuôn ở trên, lựa chọn các chi tiết cơ bản để mô phỏng: Khuôn giữa, khuôn trên, khuôn dưới. Các chi tiết còn lại như tấm gá động, tấm gá tĩnh, tấm đáy, chốt, bulông, ty đẩy, theo tiêu chuẩn của máy đúc áp lực 350 tấn. Các lỗ khoan phục vụ cho gá lắp không mô phỏng trong bài toán này. Sơ đồ khối quá trình mô phỏng dòng chảy kim loại trong khuôn khi đúc áp lực được thể hiện như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối mô phỏng đúc áp lực

Điều kiện biên nhiệt:

- Khối khuôn nguội trong không khí 40°C;
- Bề mặt lòng khuôn sau khi sấy đạt 250°C;
- Làm nguội vật đúc bằng đường nước 20°C;
- Nhiệt độ bề mặt khuôn lớn nhất 650°C.

Điều kiện biên dòng chảy

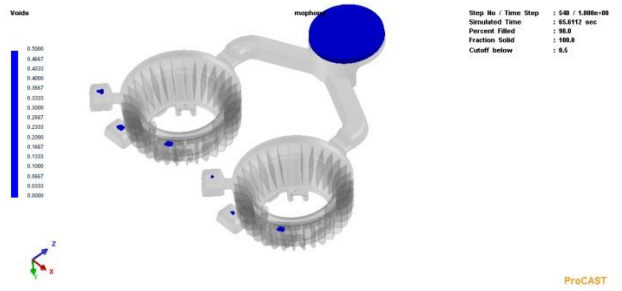
- Vận tốc cửa nạp: 1 m/s;
- Vận tốc cổng: 30 m/s;
- Vận tốc lớn nhất khi bắn max: 44,5 Kg/s;
- Đầu nạp: 95 Kg/s.

3. Kết quả và bàn luận

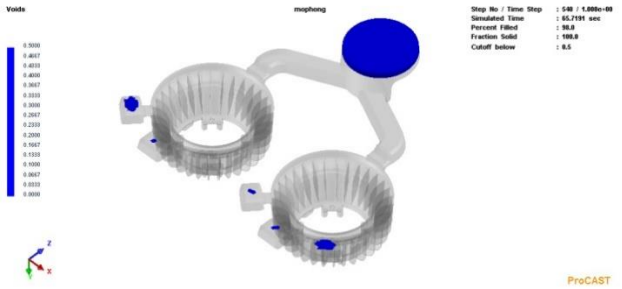
3.1. Ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy kim loại

3.1.1. Ảnh hưởng đến thời gian đông đặc

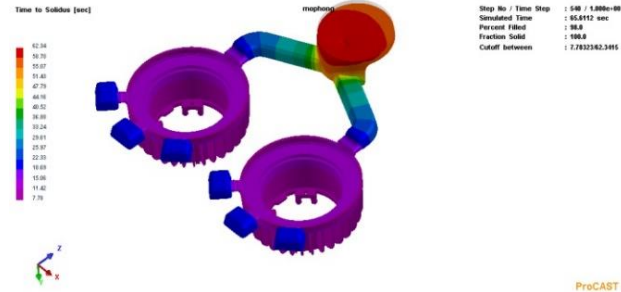
Khảo sát nhiệt độ dòng kim loại ở mức $T = 700^{\circ}\text{C}$, hai trường hợp vận tốc $V = 1 \text{ m/s}$ và $V = 0,7 \text{ m/s}$.



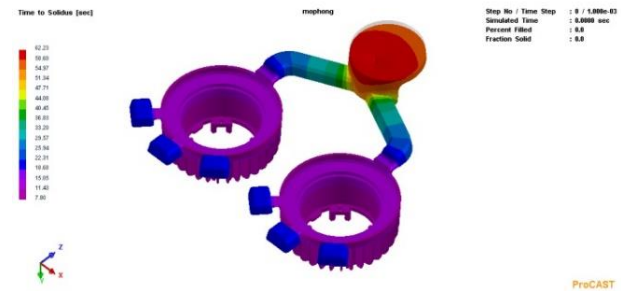
Hình 6. Vị trí rỗ khí của trường hợp $V = 1 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$



Hình 7. Vị trí rỗ khí của trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$



Hình 4. Thời gian đông đặc của trường hợp $V = 1 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$



Hình 5. Thời gian đông đặc của trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$

Bảng 4. Thời gian điền đầy trong 2 trường hợp vận tốc khác nhau

Thông số	Trường hợp $V = 1 \text{ m/s}$	Trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$
Thời gian đông đặc của chi tiết	15,6s	15,05s
Thời gian đông đặc của rãnh dẫn	47,79s	47,71s
Thời gian đông đặc của đầu nạp	62,34s	62,23s

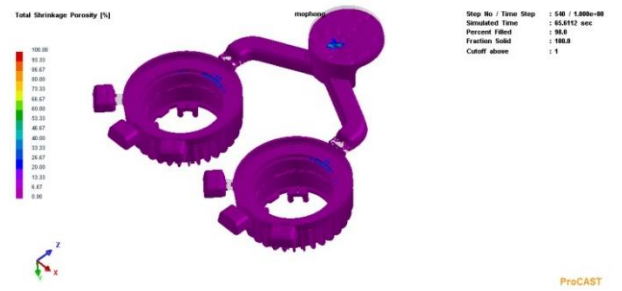
Mô phỏng cho phép quan sát được dòng chảy của kim loại lỏng theo thời gian. Kết quả mô phỏng thiết kế ban đầu nhận thấy, kim loại lỏng điền đầy lần lượt từ chi tiết gần đầu rót, sau mới đến chi tiết xa hơn. Nếu thấy dòng chảy chưa hợp lý, chỉnh sửa lại mô hình, kích thước đường dẫn và cửa phun. Chạy mô phỏng nhiều lần, tính toán dòng chảy để bố trí các rãnh dẫn và cửa phun hợp lý, khi đó kim loại lỏng phun vào lòng khuôn và kết thúc điền đầy gần như cùng thời điểm. Do đó, bảo đảm cho quá trình nhiệt đồng đều. Thời gian chênh lệch điền đầy của hai sản phẩm là 1,52s.

3.1.2. Ảnh hưởng đến vị trí rỗ khí

Qua kết quả mô phỏng cho thấy, vị trí tập trung rỗ khí nhiều nhất của cả 2 trường hợp đều tập trung vào đầu rót và đầu ngót của sản phẩm đúc, các vị trí rỗ khí của cả 2 trường hợp không ảnh hưởng đến chi tiết, như vậy vận tốc gần như không ảnh hưởng đến rỗ khí.

3.1.3. Ảnh hưởng đến độ co ngót

Co ngót là một trong những tính chất của hợp kim nhôm đúc khi hợp kim được chuyển từ thể lỏng sang thể rắn cho đến khi nó được làm nguội đến nhiệt độ phòng. Co ngót được chia thành ba giai đoạn: co ngót chất lỏng, co ngót hóa rắn và co ngót rắn. Sự co ngót của hợp kim có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng vật đúc, ảnh hưởng đến kích thước lỗ co ngót, sự sinh ứng suất, sự hình thành vết nứt và sự thay đổi kích thước của vật đúc.



Hình 8. Độ co ngót của trường hợp $V = 1 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$



Hình 9. Độ co ngót của trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$, $T = 700^{\circ}\text{C}$

Các kết quả mô phỏng cho thấy, tại trường hợp $V = 1 \text{ m/s}$ co ngót tập trung tại đầu ngót rãnh dẫn và đặc biệt tập trung nhiều ở thành chi tiết. Còn trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$ co ngót chỉ tập trung nhiều ở đầu rót và rãnh dẫn và xuất hiện rất ít ở chi tiết nên không gây ảnh hưởng đến chi tiết. Do đó, có thể thấy, nếu tăng vận tốc dòng kim loại lỏng thì độ co ngót cũng tăng và ngược lại. Nếu độ co

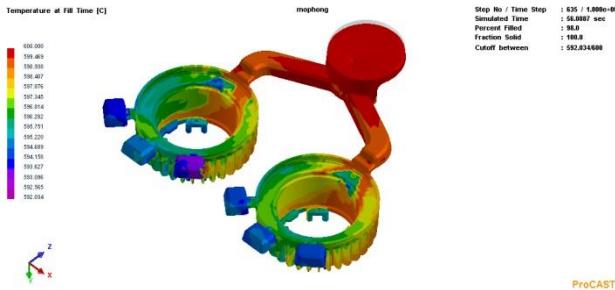
ngót lớn sẽ gây ra tập trung ứng suất càng lớn và điều đó làm tăng khả năng nứt sản phẩm.

Cả hai trường hợp không ảnh hưởng đến thời gian đông đặc của chi tiết. Dòng kim loại chảy đều trên cả 2 chi tiết, kim loại lỏng phun vào lòng khuôn và kết thúc điền đầy gần như cùng thời điểm, như vậy, bảo đảm cho quá trình nhiệt đồng đều.

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

3.2.1. Ảnh hưởng đến thời gian đông đặc

Tiến hành khảo sát với thông số vận tốc đầu vào $V = 0,7 \text{ m/s}$, nhiệt độ dòng kim loại $T = 650^\circ\text{C}$ và $T = 700^\circ\text{C}$. Các kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 10 và trong Bảng 5.



Hình 10. Phân bố nhiệt của trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$; $T = 650^\circ\text{C}$

Bảng 5. Thời gian điền đầy trong 2 trường hợp nhiệt độ khác nhau

Thông số	Trường hợp $T = 650^\circ\text{C}$	Trường hợp $T = 700^\circ\text{C}$
Thời gian đông đặc của chi tiết	12,45s	15,05s
Thời gian đông đặc của rãnh dẫn	40s	47,71s
Thời gian đông đặc của đầu nạp	52,24s	62,23s

Kết quả mô phỏng cho thấy, thời gian đông đặc trên toàn vật đúc trong trường hợp $T = 650^\circ\text{C}$ nhanh hơn nhiều thời gian đông đặc trong trường hợp $T = 700^\circ\text{C}$. Do đó, nhiệt độ đầu vào của dòng kim loại có ảnh hưởng lớn đến vận tốc đông đặc. Nhiệt độ càng cao thì thời gian đông đặc kim loại càng chậm và ngược lại.

3.2.2. Ảnh hưởng đến vị trí rỗ khí

Trong trường hợp $T = 700^\circ\text{C}$ có xuất hiện những rỗ khí nằm dài rác trên đầu rót và đầu ngót của vật đúc, tuy nhiên trong trường hợp $T = 650^\circ\text{C}$ không xuất hiện hiện tượng rỗ khí. Như vậy, sự nung quá nhiệt kim loại trong quá trình đúc gây ra hiện tượng rỗ khí.

3.2.3. Ảnh hưởng đến độ co ngót

Kết quả mô phỏng cho thấy, trường hợp $T = 700^\circ\text{C}$ có xuất hiện độ co ngót nhiều trên chi tiết dẫn đến tập trung ứng suất và do đó gây nứt sản phẩm. Trường hợp $T = 650^\circ\text{C}$ độ co ngót trên chi gần như không xuất hiện, chỉ xuất hiện với mật độ ít trên đầu rót và đầu ngót. Do đó, sự quá nhiệt của dòng kim loại lỏng ảnh hưởng nhiều đến sự co ngót của sản phẩm đúc. Nhiệt độ quá nhiệt càng lớn thì độ co ngót sản phẩm càng cao.

Từ các kết quả như phân tích mô phỏng ở trên cho thấy, vận tốc dòng chảy và nhiệt độ dòng kim loại ảnh hưởng nhiều đến chất lượng sản phẩm. Trong quá trình thiết kế truyền thống, khi thiết kế khuôn sẽ tính toán theo các công

thực kinh điển và dựa vào số tay cũng như kinh nghiệm thiết kế, việc kiểm soát chất lượng của sản phẩm sau khi thiết kế gặp rất nhiều khó khăn. Do đó, việc mô phỏng dòng chảy kim loại trong khuôn để đánh giá và điều chỉnh các thông số công nghệ và hình học như tiết diện kênh dẫn, vận tốc phun, nhiệt độ đầu vào cũng như việc phân phối dòng chảy sẽ giúp giúp kiểm soát chất lượng của sản phẩm trước khi đưa vào sản xuất. Diện tích kênh dẫn thu hẹp dần từ buồng ép tới hốc khuôn. Hệ thống rót thu hẹp dần có tác dụng làm giảm sự cuốn khí vào vật đúc, đồng thời làm tăng vận tốc điền đầy.



Hình 11. Độ co ngót trong trường hợp $V = 0,7 \text{ m/s}$; $T = 650^\circ\text{C}$

4. Kết luận

Xây dựng mô hình sản phẩm và mô hình hình học khuôn đúc nhôm ADC12 đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn khuôn FUTABA.

Khi vận tốc dòng chảy kim loại tăng thì thời gian đông đặc tăng, độ co ngót tăng. Tuy vậy vận tốc dòng chảy gần như không ảnh hưởng đến vị trí rỗ khí.

Nhiệt độ dòng chảy kim loại ảnh hưởng nhiều đến thời gian đông đặc, vị trí rỗ khí và độ co ngót. Khi tăng nhiệt độ dòng chảy kim loại thì các yếu tố thời gian đông đặc và độ co ngót tăng lên cùng với đó là xuất hiện rỗ khí trên chi tiết.

Khảo sát điều chỉnh và mô phỏng dòng chảy kim loại sẽ giúp lựa chọn hợp lý các thông số công nghệ, tính toán hợp lý các thông số hình học và kết cấu khuôn trong quá trình đúc áp lực cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hữu Dũng. *Các phương pháp đúc đặc biệt*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
- [2] Nguyễn Ngọc Hà. *Các phương pháp và công nghệ đúc đặc biệt*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. HCM, 2006.
- [3] Edward J. Vinarcik. *High integrity die casting processes*. John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [4] Guoding Yuan, Hai Gu, Jianhua Sun, and Zhufeng Li, "The Low-pressure Casting Technology of aluminum alloy motor". *3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering*, pg 1825-1831, 2015.
- [5] Jayant K. Kittur and G. C. Manjunath Patel, "Modeling of pressure die casting process: An artificial intelligence approach", *International Journal of Metalcasting*. Volume 10, issue 1, 2016.
- [6] Y. Abdulfatah Abdu, T. M. Shafii, K. K. Dubey, U. K. Gupta, "Design and Analysis of Pressure Die Casting Die for Automobile Component". *Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering*. Volume 16, issue 3, 2016.
- [7] M. Thirugnanam, "Modern High Pressure Die-casting Processes for Aluminium Castings", *Transactions of 61st Indian foundry congress*, 2013.