

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ VÀO TỐI ƯU HỆ THỐNG RÓT CHO ĐÚC MẪU HÓA KHÍ VỎ HỘP SỐ MÁY CÀY

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHODS TO OPTIMIZE THE POURING SYSTEM FOR LOST FOAM CASTING THE TRACTOR GEARBOX

Dương Lê Hùng, Bùi Chấn Thanh
Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

TÓM TẮT

Vỏ hộp số máy cày là một chi tiết lớn, có hình dạng phức tạp dễ xuất hiện các khuyết tật như không điền đầy, rỗ co, rỗ khí và các khuyết tật khác trong quá trình đúc mẫu hóa khí. Để giảm thiểu thời gian và chi phí sản xuất, tăng hiệu suất quá trình đúc cũng như giảm ô nhiễm môi trường bằng cách giảm số lần đúc thử nghiệm nhằm tìm ra hệ thống rót tối ưu cho chi tiết vỏ hộp số máy cày bằng phương pháp đúc mẫu hóa khí thì phương pháp số cần được áp dụng. Bài báo này áp dụng phương pháp số để dự đoán được quá trình điền đầy và các khuyết tật đúc như rỗ co, rỗ khí và các khuyết tật khác từ các vị trí hệ thống rót khác nhau, từ đó chọn được hệ thống rót tối ưu cho quá trình đúc chi tiết vỏ hộp số máy cày. Bài báo tập trung vào ba cách đặt hệ thống rót: rót thẳng đứng từ trên xuống (hình 2a), rót thẳng đứng từ đáy trong (hình 2b) và rót nằm ngang từ đáy trong (hình 2c). Từ kết quả mô phỏng, tác giả áp dụng vào sản xuất thực tế và nhận thấy rằng hệ thống rót được chọn từ mô phỏng bằng phần mềm Procast thực sự chính xác trong việc đưa ra.

Từ khóa: *Vỏ hộp số; Đúc mẫu hóa khí; Phân tích số; Khuyết tật đúc; Procast.*

ABSTRACT

The tractor gearbox housing is a large part with a complex shape that is prone to defects such as incomplete filling, shrinkage, air porosity and other defects during the Lost Foam Casting (Hence LFC) process. To minimize production time and costs, increase casting process efficiency as well as reduce environmental pollution by reducing the number of test castings to find the optimal pouring system for tractor gearbox using the LFC method, the finite element method (FEM) needs to be applied. This article applies FEM to predict the filling process and casting defects such as shrinkage, air porosity and other defects from different filling system positions, thereby selecting the optimal filling system. Optimal for casting details of tractor gearbox shells. The article focuses on three ways of placing the pouring system: vertical pouring from the top (picture 2a), vertical pouring from the inside (picture 2b) and horizontal pouring from the inside (picture 2c). From the simulation results, the author applied it to actual test production and found that the pouring system selected from simulation using Procast software is really accurate.

Keywords: *Gearbox; Lost foam casting; Numerical simulation; Casting defects; Procast.*

1. GIỚI THIỆU

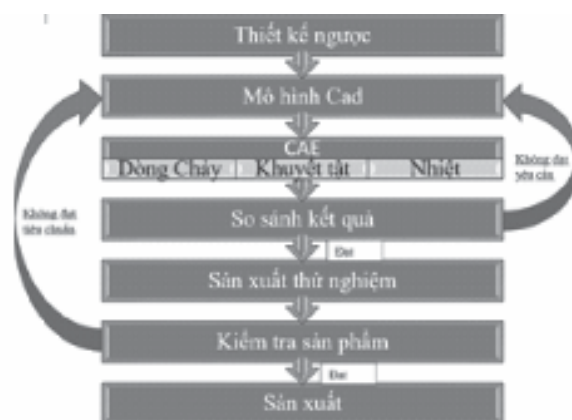
Trong các loại máy công cụ nông nghiệp, máy cày là một trong những nông cụ chính đảm nhiệm phần lớn các công đoạn trong nông nghiệp. Là một trong những bộ phận chính của hộp số, vỏ hộp số máy cày cần phải chịu tác động của nhiều điều kiện làm việc khắc nghiệt, đồng thời vỏ hộp số cũng là nơi chứa các hệ thống quan trọng của hộp số, phải chịu nhiều hệ thống lực tác động khác nhau. Theo đặc điểm cấu trúc vỏ hộp số máy cày có kết cấu phức tạp, độ dày thành mỏng, kích thước lớn nên thường đúc bằng khuôn cát truyền thống. Tuy nhiên, phương pháp đúc truyền thống rất khó đáp ứng các yêu cầu độ chính xác vật đúc cao, nên chi tiết sau khi đúc cần phải gia công lại dẫn đến tăng chi phí sản xuất cho chi tiết. So với quá trình đúc trọng lực truyền thống, kỹ thuật đúc mẫu hóa khí có nhiều ưu điểm như độ chính xác cao, năng suất cao, tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và không cần tạo mẫu đúc [1].

Một trong những vấn đề quan tâm của sản xuất đúc là kiểm soát được chất lượng vật đúc. Trong quá trình đúc, do kim loại kết tinh từ trạng thái lỏng nên dễ sinh ra các khuyết tật đúc như: không điền đầy, lõm co, rỗ co, rỗ khí, thiên tích... Quá trình điền đầy và khuyết tật có liên quan rất lớn đến cách bố trí hệ thống rót. Trước đây, quá trình chọn hệ thống rót đa phần dựa vào phương pháp đúc thử và kinh nghiệm của người thợ thì ngày nay với sự phát triển mạnh của kỹ thuật mô phỏng phần tử hữu hạn giúp cho chúng ta quan sát trực quan hơn về sự thay đổi hình thái học của quá trình điền đầy kim loại lỏng, đưa ra những phân tích sâu hơn trường dòng chảy và trường nhiệt độ liên quan đến quá trình điền đầy kim loại lỏng trong khuôn.

Nhằm đáp ứng các nhu cầu về vỏ hộp số máy cày thay thế, đồng thời giảm bớt gánh nặng chi phí sửa chữa cho những người làm nông nghiệp tại Việt Nam, các tác giả tìm cách sản xuất ra vỏ hộp số máy cày ngay trong nước với chi phí hợp lý. Sử dụng phương pháp ngược để có được thông số của vỏ hộp số máy cày, đồng thời áp dụng phương pháp mô phỏng tính toán số bằng chương trình Procast để giảm thiểu tối đa các phí tổn khi áp dụng các mẫu thử để giảm chi phí sản xuất. Tại đây, các tác giả áp dụng chương trình Procast vào mô phỏng số vào thử nghiệm đúc mẫu hóa khí cho vỏ hộp số máy cày với các hệ thống rót khác nhau nhằm tìm ra phương thức rót tối ưu và cải tiến chất lượng cho vật đúc [2-3].

2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ VÀ ỨNG DỤNG CỦA PHẦN MỀM PROCAST

Sơ đồ thiết kế:

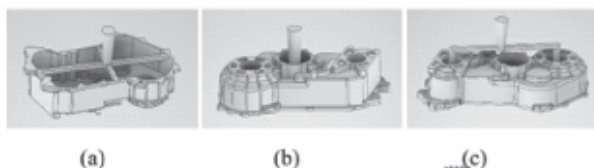


Hình 1. Sơ đồ khối quá trình mô phỏng đúc bằng phần mềm Procast

Mô hình hóa 3D hệ thống rót:

Theo đặc điểm cấu trúc của chi tiết và để đảm bảo yêu cầu về chất lượng bề mặt của vỏ hộp giảm tốc máy cày, cũng như để thuận tiện cho quá trình làm sạch và loại bỏ hệ thống rót, ➡

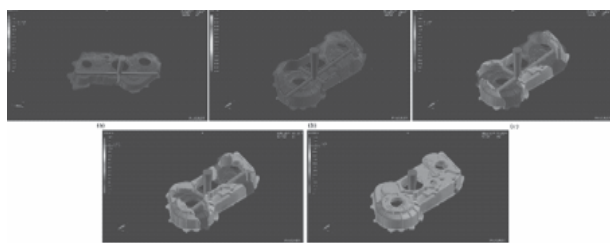
các tác giả đưa ra ba phương án rót như hình 2: rót thẳng đứng từ trên xuống (hình a), rót thẳng đứng dẫn từ đáy trong (hình b) và rót nằm ngang dẫn từ đáy trong (hình c).



Hình 2. Biểu đồ sơ đồ ba hệ thống rót: (a) Rót thẳng đứng từ trên xuống, (b) Rót thẳng đứng dẫn từ đáy trong, (c) Rót nằm ngang dẫn từ đáy trong.

3. PHÂN TÍCH MÔ PHỎNG

a. Phân tích hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong

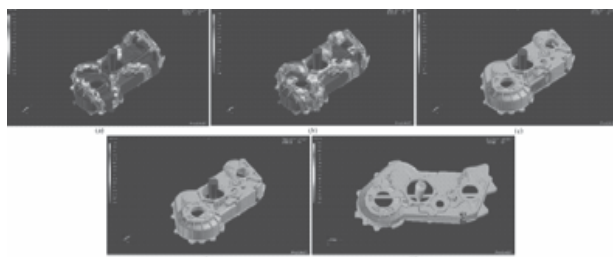


Hình 3. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong: (a) $t = 0.3920s$, điền đầy = 13.4%; (b) $t = 0.6446s$, điền đầy = 20.5%, (c) $t = 1.4824s$, điền đầy = 50.4%; (d) $t = 2.0831s$, điền đầy = 70.6%; (e) $t = 2.9359s$, điền đầy = 98%.

Trong suốt quá trình điền đầy của kim loại lỏng vào khuôn đúc mẫu hóa khí, mẫu bột xốp bị phân hủy từng lớp bởi lượng lớn nhiệt truyền từ kim loại lỏng khi kim loại lỏng tiếp xúc với nó, kim loại lỏng dần thay thế nó. Giữa mặt trước kim loại lỏng và mẫu bột xốp hình thành một lớp khí (sản phẩm phân hủy từ mẫu bột xốp), quá trình tồn tại của khí này cũng ảnh hưởng đến quá trình điền đầy của kim loại lỏng. Lượng khí này thoát khỏi khuôn phụ thuộc vào lớp phủ và độ thấm của khuôn cát.

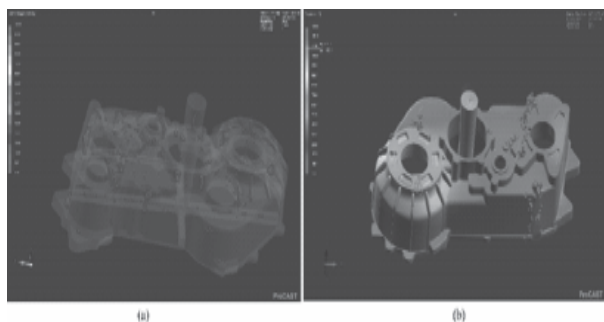
Hình 3a cho thấy kim loại lỏng điền đầy toàn bộ hệ thống rót, tốc độ điền đầy ở giai đoạn này chậm bởi vì kim loại lỏng có nhiệt độ cao nên lượng khí từ sinh ra từ các sản phẩm cháy rất nhiều, hướng khí thoát khỏi khuôn ở giai đoạn này ngược hướng điền đầy của kim loại lỏng, dẫn đến sự tăng áp suất khe khí ở bề mặt trước kim loại lỏng nên làm giảm tốc độ điền đầy của kim loại lỏng. Từ hình 3a và 3c chúng ta thấy rằng kim loại lỏng điền đầy ở giai đoạn này diễn ra ở tốc độ nhanh do hướng thoát của sản phẩm khí từ quá trình phân hủy cùng với hướng điền đầy khuôn. Từ hình 3d và 3e cho thấy ở giai đoạn này quá trình điền đầy diễn ra chậm bởi vì mặt trước kim loại lỏng cách xa nguồn nhiệt, nhiệt độ kim loại lỏng tiếp tục giảm, mẫu bột xốp cơ bản đã bị nhiệt phân hoàn toàn dẫn đến tạo ra nhiều sản phẩm khí làm tăng áp suất ngược. Vì vậy, quá trình điền đầy kim loại lỏng vào khuôn khi rót thẳng đứng từ đáy trong thay đổi từ chậm đến nhanh và sau đó chậm.

Bởi vì kim loại lỏng đi vào hốc khuôn từ bốn rãnh dẫn bên trong khác nhau, thời gian và nhiệt độ khác nhau dẫn đến sự không ổn định trong quá trình điền đầy, dòng xoáy, sự bắn tóe và các sản phẩm khí phân hủy khó thoát khỏi khuôn do đó có xu hướng bị mắc kẹt trong dòng xoáy kim loại lỏng.



Hình 4. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 10.7%, (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 20.5%, (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 52.5%, (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 72.1%, (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100%.

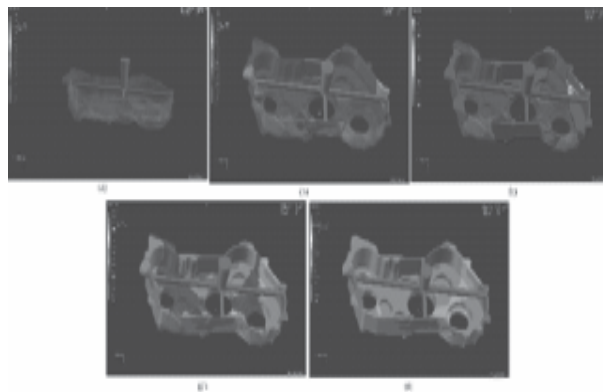
Hình 4 cho thấy tỷ phần pha rắn trong suốt quá trình điền đầy bởi hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong. Ở giai đoạn đầu, nhiệt độ ở một số vị trí cạnh cách xa hệ thống rót có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đường lòng đã bắt đầu kết tinh đầu tiên. Các vị trí càng xa hệ thống rót, nhiệt độ kim loại lỏng giảm xuống, độ chảy loãng kém, kim loại lỏng nóng chảy phía trước không dễ dàng được bổ sung bởi kim loại nóng chảy tiếp theo trong suốt quá trình đông rắn dẫn đến khuyết tật bề ngoài như hình 4d và 4e. Một lý giải khác lý giải cho khuyết tật ngoài này (hình 4e) là do toàn bộ quá trình điền đầy khuôn mẫu hóa khí được tiến hành dưới áp suất âm nên kim loại lỏng sẽ ưu tiên lan dọc theo thành khuôn thay vì kim loại nâng lên từng mức theo phương ngang. Điều này dẫn đến thành khuôn được điền đầy khi quá trình điền đầy hoàn thành, nhưng bên trong vẫn còn rỗng hoặc thậm chí một vài khu vực được rót không đủ.



Hình 5. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

Hình 5a cho thấy rằng sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc suốt quá trình kết tinh, hầu hết chúng phân bố ở các vị trí cao nhất của vật đúc và các vị trí ở góc của gân chịu lực. Hình 5b cho thấy sự phân bố nhiệt độ bên trong vật đúc khi vật đúc được điền đầy hoàn toàn, có sự phân bố tương đối đều nên sẽ hạn chế xuất hiện khuyết tật nứt bên trong vật đúc.

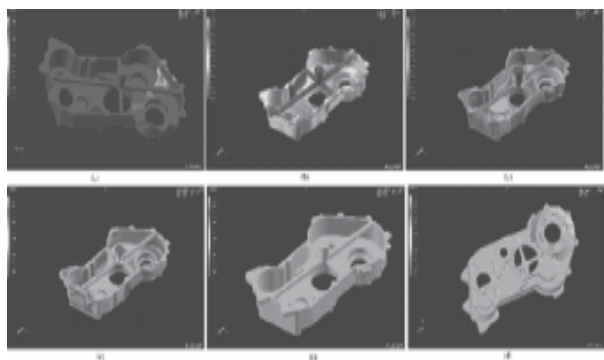
b. Phân tích hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống



Hình 6. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống: (a) $t = 0.3046s$, điền đầy = 10.8%; (b) $t = 0.8714s$, điền đầy = 20.3%; (c) $t = 1.4451s$, điền đầy = 50.7%; (d) $t = 2.0147s$, điền đầy = 70.6%; (e) $t = 2.8185s$, điền đầy = 98%

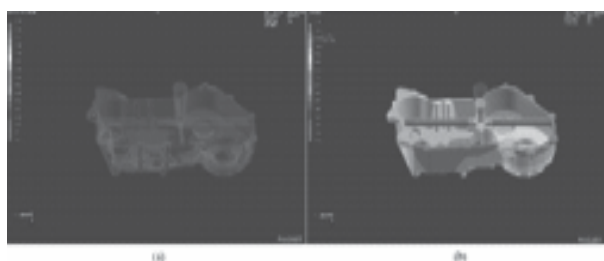
Hình 6 cho thấy sự thay đổi trường nhiệt độ trong suốt quá trình điền đầy vật đúc rót thẳng đứng từ trên xuống. Đây là quá trình rót từ trên xuống và kim loại đi vào hốc khuôn theo bốn cửa nên có lợi thế về sự điền đầy do trọng lực của kim loại lỏng nên quá trình điền đầy diễn ra nhanh so với các trường hợp khác. Giai đoạn đầu như thấy ở hình 6a và 6b quá trình điền đầy diễn ra hơi chậm do gần nguồn nhiệt nên sản phẩm khí phân hủy nhiều, giai đoạn này hướng thoát khí chủ yếu ngược với hướng điền đầy của kim loại lỏng. Hình 6c và 6d cho thấy khả năng điền đầy khuôn tăng lên đáng kể do lượng khí sinh ra do trọng lực kim loại lỏng và khí thoát qua thành khuôn nhiều hơn. Càng sâu kim loại lỏng càng xa nguồn nhiệt độ chảy loãng kim loại lỏng giảm và một phần kim loại lỏng bị mất nhiệt do phản ứng nhiệt phân nên quá trình điền đầy có phần chậm lại một chút như thấy ở hình (6d-6e).





Hình 7. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 1.6%; (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 21.3%; (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 50.2%; (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 70.7%; (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100% (bề mặt trong); (f) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100% (bề mặt ngoài).

Hình 7a, 7b cho thấy rằng, vị trí đáy vật đúc xa chân ống rót sẽ kết tinh đầu tiên tại vị trí này, kim loại lỏng xa hệ thống rót và truyền nhiệt nhanh qua khuôn. Từ hình 7c và 7d, chúng ta thấy quá trình kết tinh ổn định theo hướng từ đáy đi lên trên diễn ra tương đối nhanh khoảng 60s, tỷ lệ pha rắn kết tinh tăng lên hơn 20%. Kết thúc quá trình kết tinh, hầu như không có khuyết tật bề mặt ngoài và bề mặt trong ở vật đúc như thấy ở hình 7e và 7f.

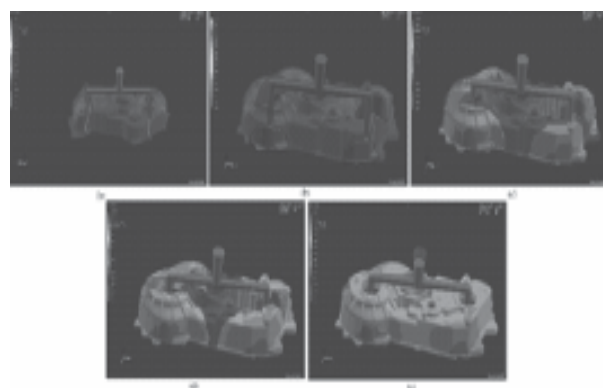


Hình 8. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

Hình 8a cho thấy sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc trong quá trình kết tinh, hầu hết chúng phân bố ở dọc thành khuôn chỗ giao nhau giữa các dòng giữa hai dòng chảy từ các rãnh dẫn kim loại do dòng xoáy hoặc sự

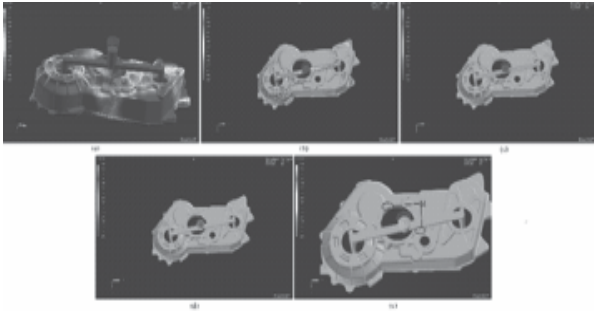
tập trung khí phân hủy, không được bổ sung kim loại lỏng và ở vị trí thành dày của vật đúc. Nhưng số lượng rỗ co thấp hơn rất nhiều so với hai trường hợp rót khác. Hình 8b cho thấy sự phân bố trường nhiệt độ khi điền đầy hoàn toàn tương đối đều giữa các vị trí trên vật đúc nên cũng hạn chế xuất hiện ứng nhiệt khi kết tinh.

c. Phân tích hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong



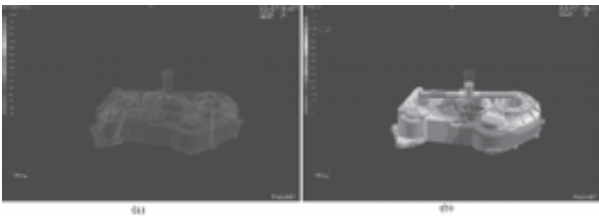
Hình 9. Trường nhiệt độ trong suốt quá trình rót của hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong: (a) $t = 0.3649s$, điền đầy = 12.5%; (b) $t = 0.6910s$, điền đầy = 21.6%; (c) $t = 1.4808s$, điền đầy = 50.5%; (d) $t = 2.0818s$, điền đầy = 70.9%; (e) $t = 2.9197s$, điền đầy = 98%

Hình 9 biểu thị sự thay đổi trường nhiệt độ trong quá trình điền đầy kim loại lỏng trong khuôn qua hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong. Quá trình điền đầy này diễn ra khá giống với quá trình điền đầy bởi hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong, nhưng trong trường hợp này được coi như là điền đầy bởi hai ống rót nên khả năng giữ nhiệt ở các vùng tốt dẫn đến độ chảy loãng kim loại lỏng tốt nên quá trình điền đầy tốt hơn so với trường hợp rót thẳng đứng từ đáy trong. Từ hình 9e cho thấy rằng hầu như vật đúc được điền đầy gần như hoàn toàn, số lượng các vùng không được bù co rất ít coi như không đáng kể.



Hình 10. Tỷ lệ pha rắn trong suốt quá trình điền đầy của hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong: (a) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 5.2%; (b) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 51.6%; (c) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 70.8%; (d) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 90.9%; (e) Tỷ lệ pha rắn khi kết tinh 100%

Hình 10a cho thấy các vị trí xa chân ống rót và thành mỏng có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ đường lòng nên kết tinh đầu tiên. Hình 10b, 10c, 10d cho thấy vị trí mép và gân chịu lực, thành dày đông đặc sau cùng nếu không bù kim loại lỏng vị trí này dễ hình thành rỗ co. Kết thúc quá trình kết tinh, vẫn còn một vài vị trí khuyết tật bên ngoài ở các vị trí tại M như thấy ở hình 10e do không được bổ sung kim loại lúc điền đầy.



Hình 11. (a) Sự phân bố rỗ co; (b) Trường nhiệt độ lúc điền đầy

Hình 11a cho thấy sự phân bố rỗ co và rỗ khí bên trong vật đúc, đa số các vị trí hình thành rỗ co tập trung ở thành dày, các vị trí chuyển tiếp thành dày và thành mỏng, và các

vị trí mép gân chịu lực ở đỉnh của vật đúc, số lượng rỗ co và rỗ khí tương đối lớn. Hình 11b biểu thị trường nhiệt độ bên trong vật đúc sau khi điền đầy hoàn toàn phân bố khá đều, không có sự chênh lệch nhiệt độ nhiều giữa các vùng nên khả năng sinh ứng suất nhiệt khi kết tinh không cao.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nhận được từ mô phỏng trên phần mềm Procast, chúng ta thấy rằng hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống (b) và hệ thống rót nằm ngang từ đáy trong (c) có chất lượng bề mặt vật đúc tốt nhất hầu như không hình thành các khuyết tật bề mặt cũng như không điền đầy hoàn toàn như là hệ thống rót thẳng đứng từ đáy trong (b). Sự phân bố rỗ co và rỗ khí của hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống ít hơn nhiều so với các hệ thống rót còn lại. Do đó, hệ thống rót thẳng đứng từ trên xuống (b) được coi như là một lựa chọn tối ưu để đúc thực nghiệm kiểm tra chi tiết vỏ hộp số. ❖

Ngày nhận bài: 12/02/2024

Ngày phản biện: 15/3/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Ngọc Hà; *Các phương pháp và công nghệ đúc đặc biệt*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [2]. Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Tấn Vinh; *Mô phỏng đúc kim loại trên phần mềm Procast*. NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [3]. H. Walther and P.R. Sahm. *A model for the computer simulation of flow of molten metal into foundry molds*. Giesereiforschung, Vol 38, 1986, p 119-124 (in German).