

THỰC NGHIỆM ĐO PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ CỦA KHUÔN ÂM (DẠNG LỖM)

SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION OF PLASTIC INJECTION MOLD FOR 3D PRODUCTS

Trần Chí Bảo*, Nguyễn Việt Tuấn Anh, Trương Văn Thành, Lê Bá Tân
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Trong ngành công nghiệp chế tạo, quá trình phun ép nhựa đóng vai trò quan trọng trong việc sản xuất hàng loạt các sản phẩm nhựa có độ chính xác cao. Tuy nhiên, một trong những thách thức lớn nhất của quá trình này là việc kiểm soát và tối ưu hóa nhiệt độ trong khuôn, vì nhiệt độ không đồng đều có thể dẫn đến khuyết tật sản phẩm và giảm hiệu suất sản xuất. Bài báo này tập trung vào việc mô phỏng phân bố nhiệt độ trong khuôn phun ép nhựa cho sản phẩm dạng 3D. Các tác giả sử dụng phần mềm Ansys, một công cụ mô phỏng số hàng đầu, để phân tích nhiệt độ tại các điểm khác nhau trong khuôn và xác định các yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố nhiệt. Nghiên cứu tập trung vào sự phân bố nhiệt độ trong khuôn phun ép nhựa dạng 3D vì mô phỏng nhiệt độ dạng 3D phức tạp hơn so với các mô hình sản phẩm 2D và 2.5D trước đây. Trong khi mô hình 2D chỉ xem xét hai chiều và mô hình 2.5D thêm yếu tố độ dày, mô hình 3D cho phép mô phỏng toàn diện tất cả các yếu tố không gian, giúp tái hiện chi tiết hơn về phân bố nhiệt độ trong toàn bộ khuôn phun ép. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ khuôn khoảng 75,4°C đến 79,6°C và việc sử dụng mô hình 3D trong mô phỏng phân bố nhiệt độ không chỉ tăng độ chính xác mà còn giúp tối ưu hóa thiết kế khuôn và quy trình sản xuất.

Từ khóa: Phân bố nhiệt độ; Khuôn phun ép nhựa; 3D.

ABSTRACT

In the manufacturing industry, the plastic injection molding process plays an important role in the mass production of high-precision plastic products. However, one of the biggest challenges of this process is controlling and optimizing temperature in the mold because uneven temperatures can lead to product defects and reduced production efficiency. This article focuses on simulating temperature distribution in plastic injection molds for 3D products. The authors used Ansys software, a leading numerical simulation tool, to analyze temperatures at different points in the mold and identify factors that influence heat distribution. The research focuses on the temperature distribution in 3D plastic injection molds because 3D temperature simulation is more complex than previous 2D and 2.5D product models. While the 2D model only considers two dimensions and the 2.5D model adds the thickness factor, the 3D model allows for comprehensive simulation of all spatial elements, helping to reproduce in more detail the temperature distribution in entire injection mold. Research results show that the mold temperature is about 75.4°C to 79.6°C and the use of 3D models in temperature distribution simulation not only increases accuracy but also helps optimize mold design and production process.

Keywords: Temperature distribution; Plastic injection mold; 3D.

1. GIỚI THIỆU

1.1. Tổng quan

Quy trình phun ép nhựa là một trong những phương pháp sản xuất quan trọng nhất trong ngành công nghiệp nhựa, cho phép tạo ra các sản phẩm có hình dạng phức tạp và độ chính xác cao. Quá trình này bao gồm các bước như nạp nhựa, gia nhiệt, phun vào khuôn, làm nguội và tháo sản phẩm. Sự kiểm soát nhiệt độ trong suốt các giai đoạn này là yếu tố quyết định đến chất lượng và tính đồng nhất của sản phẩm nhựa. Mô phỏng phân bố nhiệt độ khuôn ép nhựa dạng 3D cho phép mô hình hóa chi tiết và toàn diện hơn so với các mô hình 2D và 2.5D. Mô hình 2D chỉ xem xét các yếu tố trên một mặt phẳng, thiếu đi độ sâu và các yếu tố không gian. Mô hình 2.5D có cải tiến bằng cách thêm yếu tố độ dày, nhưng vẫn còn hạn chế trong việc mô tả chi tiết các hiện tượng phức tạp xảy ra trong khuôn. Mô hình 3D khắc phục được những hạn chế này bằng cách tái hiện đầy đủ các yếu tố không gian, giúp hiểu rõ hơn về sự phân bố nhiệt độ trong toàn bộ khuôn. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các khuôn có hình dạng phức tạp, nơi mà các yếu tố như góc cạnh, độ dày và cấu trúc bên trong khuôn có thể ảnh hưởng đáng kể đến quá trình làm nguội và đông kết của nhựa. Nghiên cứu này nhằm mục đích nâng cao hiểu biết về cách nhiệt độ được phân bố trong khuôn phun ép nhựa dạng 3D, cung cấp thông tin chi tiết và chính xác hơn so với các mô hình trước đây.

1.2. Cơ sở lý thuyết

Quá trình phun ép nhựa là một quy trình công nghiệp phổ biến để sản xuất các sản phẩm nhựa có hình dạng và kích thước chính xác. Quy trình này bắt đầu bằng việc nung chảy hạt nhựa trong một phễu chứa nhiệt. Khi nhựa

đạt đến trạng thái lỏng, nó được đưa vào khuôn thông qua một ống phun dưới áp lực cao. Khuôn thường được làm từ kim loại và có thiết kế theo hình dạng mong muốn của sản phẩm. Khi nhựa lỏng được bơm vào khuôn, nó sẽ điền đầy các khoang khuôn và tạo hình sản phẩm. Sau đó, khuôn được làm mát để nhựa đông cứng và duy trì hình dạng. Cuối cùng, khuôn mở ra và sản phẩm nhựa được đẩy ra ngoài, hoàn thành quá trình phun ép nhựa.

Các yếu tố ảnh hưởng đến phân bố nhiệt độ trong khuôn phun ép nhựa bao gồm loại vật liệu của khuôn, thiết kế hệ thống làm mát, và các thông số kỹ thuật của quá trình phun ép. Vật liệu khuôn quyết định khả năng dẫn nhiệt và phân tán nhiệt độ đều khắp khuôn. Thiết kế hệ thống làm mát, bao gồm vị trí và hiệu suất của các kênh làm mát, có vai trò quan trọng trong việc duy trì nhiệt độ ổn định và ngăn chặn hiện tượng nóng cục bộ. Các thông số kỹ thuật như nhiệt độ phun, áp suất phun, và tốc độ phun cũng ảnh hưởng trực tiếp đến cách nhiệt độ được phân bố trong khuôn. Sự điều chỉnh không hợp lý các yếu tố này có thể dẫn đến sự phân bố nhiệt độ không đồng đều, gây ra khuyết tật sản phẩm và giảm chất lượng sản xuất.

So sánh các mô hình mô phỏng nhiệt độ trong khuôn phun ép nhựa cho thấy sự khác biệt rõ rệt về độ phức tạp và độ chính xác. Mô hình 2D chỉ xem xét hai chiều (chiều dài và chiều rộng), không tính đến chiều sâu, do đó đơn giản và nhanh chóng nhưng thiếu độ chính xác trong các hệ thống phức tạp. Mô hình 2.5D bao gồm cả chiều dày, cung cấp cái nhìn chi tiết hơn so với mô hình 2D nhưng vẫn tồn tại những hạn chế nhất định trong việc tái hiện không gian đầy đủ. Mô hình 3D, tái hiện toàn diện các yếu tố không gian (chiều dài, chiều rộng và chiều sâu), mang lại độ chính xác cao hơn trong việc

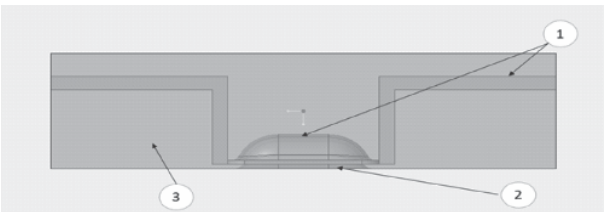


mô phỏng sự phân bố nhiệt độ trong toàn bộ khuôn. Điều này đặc biệt quan trọng trong việc phân tích các khuôn có hình dạng phức tạp và những biến đổi nhiệt độ phức tạp, làm nổi bật ưu điểm vượt trội của mô hình 3D so với các mô hình 2D và 2.5D.

2. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG MÔ HÌNH CÁC TẤM KHUÔN SẢN PHẨM DẠNG 3D

2.1. Xây dựng mô hình trên CAD

Mô hình CAD cho bài báo này được xây dựng trên phần mềm Creo Parametric và ANSYS Workbench. Hình học ba chiều 3D bao gồm kênh làm mát, lòng khuôn âm (dương) và vỏ khuôn hình chữ nhật. Việc thiết kế được minh họa trong hình 1.



Hình 1. Mô hình thiết kế tấm khuôn sản phẩm dạng 3D

Bảng 1. Cung cấp các yếu tố cấu thành của hình học của mô hình.

Số thứ tự các thành phần	Mô tả
1	Kênh làm mát
2	Lòng khuôn
3	Khuôn

2.2. Vật liệu

Trong phần mô phỏng, các nhà nghiên cứu sử dụng các vật liệu để làm tham số đầu vào: nước được sử dụng trong kênh làm mát,

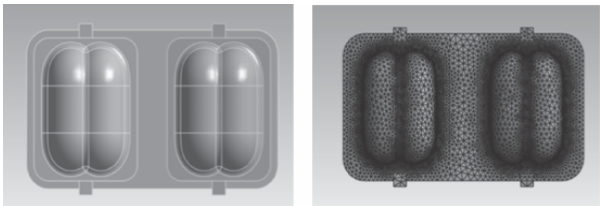
polypropylen (PP) được sử dụng trong phần phun nhựa vào lòng khuôn. Thép C45 được sử dụng để chế tạo khuôn. Trong số các thành phần, nước là chất lỏng, còn PP và thép C20 được coi là vật liệu rắn.

Bảng 2. Trình bày tổng quan về tính chất của các vật liệu.

Vật liệu	Nước	PP	C45
Khối lượng riêng (kg/m ³)	997	850-950	7850
Nhiệt dung riêng (J/kg.K)	4200	~2000	480
Độ dẫn nhiệt (W/m.K)	0.6	0.2	49.8

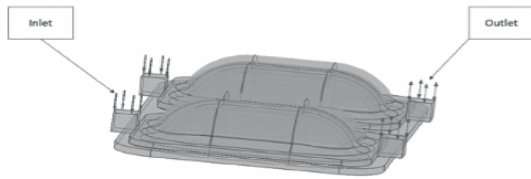
3. PHƯƠNG ÁN VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Phương pháp chia lưới trong nghiên cứu này là Inflation và Face Sizing, hai mô-đun này đều sử dụng các tham số lưới được tạo bởi phần mềm Workbench. Mô hình chưa được tham số hoá (bên trái) và mô hình đã được tham số hoá chia lưới (bên phải) trong hình 2.

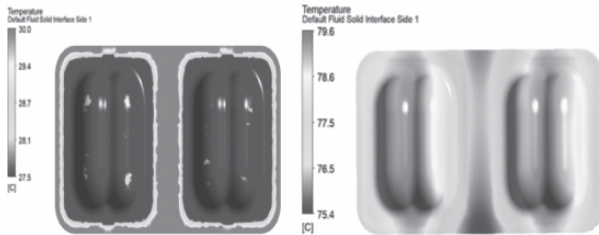


Hình 2. Mô hình chưa tham số (trái) và mô hình đã tham số chia lưới (phải)

Thiết kế hệ thống đường nước vào khuôn như hình 3. Thiết lập khuôn ở 30°C gia nhiệt khuôn bằng nước ở nhiệt độ 80°C trong 70 giây, ta có kết quả mô hình mô phỏng như hình 4.

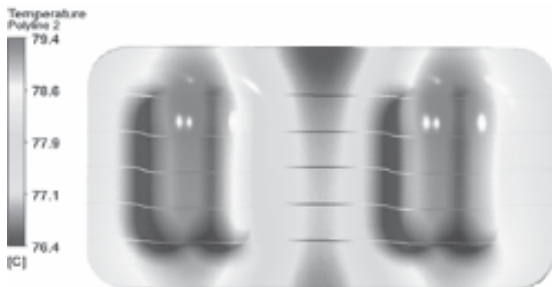


Hình 3. Đường nước vào tấm khuôn

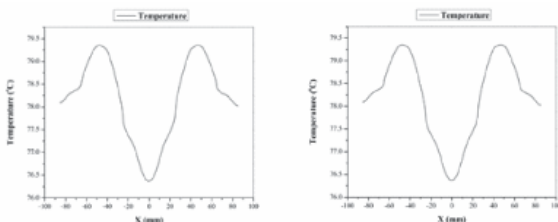


Hình 4. Kết quả mô phỏng khuôn ở 30°C (trái), khuôn gia nhiệt 80°C trong 70 giây

Để xem rõ hơn các nhiệt độ tại các vị trí nhất định, các nhà nghiên cứu dùng phương pháp polyline để xuất ra dữ liệu như hình 5. Để so sánh với thực nghiệm khi đo nhiệt độ phân bố thực tế, các tác giả dùng dữ liệu polyline tạo thành biểu đồ đường viền như hình 6.



Hình 5. Xây dựng kết quả mô phỏng dưới dạng polyline



Hình 6. Kết quả dưới dạng biểu đồ đường viền

4. KẾT LUẬN

Kết quả bài báo cho thấy độ chính xác và độ chất lượng của mô phỏng nhiệt độ trong khuôn phun ép nhựa sản phẩm dạng 3D. Giúp cho việc so sánh giữa dữ liệu mô phỏng và dữ liệu thực nghiệm dễ dàng, đánh giá được độ tin cậy của mô phỏng. Phân tích sự phân bố nhiệt độ trong khuôn phun ép và các vùng khác nhau của sản phẩm dạng 3D. Xác định các điểm nóng hoặc vùng có nhiệt độ không đồng đều gây ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Mối liên hệ giữa phân bố nhiệt độ và các khuyết tật có khả năng xuất hiện trong sản phẩm nhựa như co ngót, cong vênh, hoặc bị bong bóng khí. Đề xuất các phương pháp cải thiện quá trình phun ép nhựa nhằm đạt được phân bố nhiệt độ đồng đều. Gợi ý điều chỉnh các thông số kỹ thuật như áp suất, tốc độ phun, và thời gian làm lạnh để tối ưu hóa quy trình.

Mô phỏng giúp xác định các vùng trong khuôn có nhiệt độ quá cao (điểm nóng), từ đó có thể điều chỉnh thiết kế khuôn hoặc điều chỉnh quy trình làm mát để giảm nguy cơ cong vênh, co ngót hoặc các khuyết tật khác trong sản phẩm. Kết quả mô phỏng cung cấp dữ liệu cụ thể để tối ưu hóa thiết kế khuôn, đảm bảo phân bố nhiệt độ đồng đều hơn trong suốt quá trình phun ép, từ đó cải thiện chất lượng sản phẩm.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Lê Bá Tân;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Trần Chí Bảo*, Nguyễn Việt Tuấn Anh, Trương Văn Thành.



Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình nhóm thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2024-251. ❖

Ngày nhận bài: **10/5/2024**

Ngày phản biện: **03/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Huỳnh Đỗ Song Toàn, Trần Minh Thế Uyên, Võ Bá Anh Đại, Lê Hiếu Giang; “*Analyze heating and cooling by water in injection molding process for different products*”, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, 2015.
- [2]. TS. Phạm Sơn Minh, ThS. Trần Minh Thế Uyên (2014); “*Giáo trình Thiết kế và chế tạo khuôn phun ép nhựa*”, NXB. Đại học Quốc gia, Thành phố Hồ Chí Minh, 286 page.
- [3]. TS. Phạm Sơn Minh, PGS, TS. Đỗ Thành Trung (2017); “*Giáo trình ANSYS – Phân tích cơ cấu động*”, NXB. Đại học Quốc gia, Thành phố Hồ Chí Minh, 252 page.