

ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ LÒNG KHUÔN HÌNH CHỮ NHẬT

DYNAMIC TEMPERATURE CONTROL FOR RECTANGULAR MOLD CAVITY

Phùng Anh Quang*, Huỳnh Thị Tuyết Minh, Trần Tường Vi, Trần Thái Sơn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực ép phun, việc điều khiển nhiệt độ của khuôn hình chữ nhật là cực kỳ quan trọng. Nó ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm và hiệu suất sản xuất. Duy trì một nhiệt độ ổn định và phân bố đều trên bề mặt khuôn là yếu tố then chốt để sản xuất các sản phẩm nhựa chất lượng cao. Nghiên cứu này tập trung vào việc áp dụng các kỹ thuật điều khiển nhiệt độ tiên tiến để đạt được điều kiện nhiệt tối ưu trong khoang khuôn. Bằng cách phân tích các phương pháp điều khiển khác nhau và tác động của chúng lên phân bố nhiệt độ, nghiên cứu nhằm nâng cao độ đồng nhất của sản phẩm và giảm thiểu khuyết tật, từ đó cải thiện hiệu suất sản xuất tổng thể.

Từ khóa: Ép phun; Làm nóng khuôn; Điều khiển nhiệt độ khuôn; Gia nhiệt bằng khí nóng.

ABSTRACT

In the field of injection molding, controlling the temperature of the rectangular mold is of paramount importance. It directly affects product quality and production efficiency. Maintaining a stable and uniform temperature distribution on the mold surface is a critical factor for producing high-quality plastic products. This study focuses on applying advanced temperature control techniques to achieve optimal thermal conditions within the mold cavity. By analyzing different control methods and their impact on temperature distribution, the research aims to enhance product uniformity, minimize defects, and thereby improve overall production efficiency.

Keywords: Injection molding; Mold heating; Mold temperature control; Air heating.

1. TỔNG QUAN

Ép phun là một quy trình sản xuất nhựa hiệu quả và chi phí thấp, có khả năng tạo ra nhiều hình dạng sản phẩm khác nhau và ngày càng phổ biến. Tối ưu hóa sự thay đổi nhiệt độ trong quá trình làm nóng khuôn bằng khí nóng đặc biệt quan trọng để cải thiện chất lượng sản phẩm và hiệu quả sản xuất. Điều này bao gồm việc đảm bảo phân bố nhiệt độ đồng đều để tránh hiện tượng nóng lạnh không đều, gây ra

các khuyết điểm trên sản phẩm. Sử dụng các cảm biến nhiệt độ chính xác và hệ thống điều khiển phản hồi nhanh để duy trì nhiệt độ mong muốn là rất cần thiết. Đồng thời, tối ưu hóa thiết kế hệ thống dẫn khí để giảm thiểu sự mất mát nhiệt và đảm bảo khí nóng tiếp xúc tốt với bề mặt khuôn. Việc chọn lựa vật liệu khuôn có khả năng chịu nhiệt tốt và truyền nhiệt hiệu quả cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tăng cường hiệu quả của quá trình sưởi ấm.

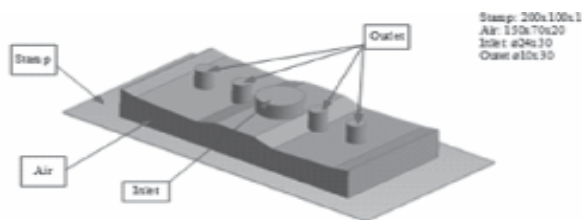


2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Các kỹ thuật ép phun hiện tại cần cải thiện để đáp ứng yêu cầu về hình dạng phức tạp và chất lượng cao. Quản lý nhiệt độ khuôn là một chiến lược hữu ích. Nhiều nghiên cứu đã thực hiện về các kỹ thuật kiểm soát nhiệt độ khuôn nhằm tăng nhiệt độ khoang khuôn nhưng vẫn duy trì thời gian chu kỳ ngắn. Các kỹ thuật như sưởi ấm bằng tia hồng ngoại, lửa, laser, cảm ứng và khí nóng được đề xuất để nâng cao hiệu quả và giảm tiêu thụ năng lượng. Sưởi ấm bằng tia hồng ngoại tăng độ bền sản phẩm, trong khi sưởi ấm bằng laser nhanh chóng nhưng chỉ phù hợp cho các sản phẩm nhỏ. Sưởi ấm cảm ứng nhanh chóng nhưng gặp khó khăn về phân phối nhiệt độ và thiết kế cuộn dây. Nghiên cứu này tập trung tối ưu hóa sự thay đổi nhiệt độ trong quá trình làm nóng khuôn bằng khí nóng, đặc biệt là với hình dạng cạnh đa đường.

3. MÔ PHỎNG

Thiết kế của nắp khí được trình bày trong Hình 1, việc ứng dụng trong quá trình làm nóng được quan sát để đánh giá phân bố nhiệt độ trên tấm chèn như trong Hình 2. Tấm chèn có kích thước 200x100 mm và độ dày 1 mm. Một loạt các loại nắp khí có độ dày tường 1 mm đã được sử dụng trong suốt quá trình làm nóng bằng khí để điều tra tác động của khoảng cách tiêm, thể tích khí, chiều cao và số lượng lỗ ra lên phân bố nhiệt độ của tấm chèn. Thí nghiệm được thực hiện với nhiệt độ đầu vào khí là 400°C và thời gian làm nóng là 20 giây.



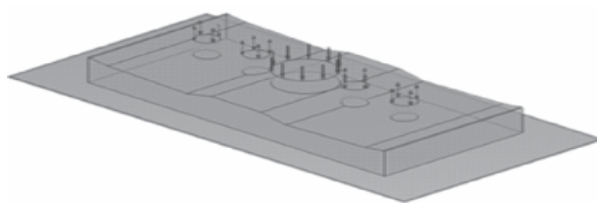
Hình 3.1. Thiết kế nắp chụp khí



Hình 3.2. Thiết kế tấm chèn

4. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

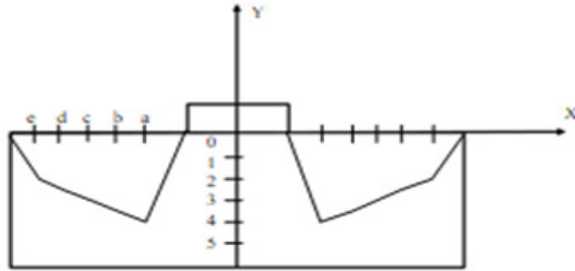
Để nghiên cứu phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn, một mô hình mô phỏng chi tiết đã được xây dựng. Bằng cách thêm một yếu tố cách nhiệt để bao quanh phần làm nóng, mô hình được đơn giản hóa và tập trung vào hai phần chính: tấm chèn và phần khí nóng. Các Hình 3 trình bày điều kiện biên và mô hình lưới. Phần lưới của tấm chèn được tạo ra bằng kỹ thuật phần tử chủ yếu là hex và 10 lớp của phương pháp lưới nở được áp dụng cho các bề mặt tiếp xúc để cải thiện độ chính xác mô phỏng. Một phần tử tứ diện được sử dụng để đại diện cho thể tích khí. Phần mềm ANSYS được sử dụng để nghiên cứu quá trình làm nóng Ex-GMTC và tái tạo điều kiện biên thí nghiệm. Với nhiệt độ môi trường là 25°C và hệ số truyền nhiệt là 10 W/m²K, tất cả các bề mặt bên ngoài của tấm khuôn được cấu hình cho đối lưu tự do vào không khí như là phương thức truyền nhiệt. Để cải thiện hiệu quả làm nóng, một tấm chèn cũng được tích hợp vào bộ thiết lập thí nghiệm gần trung tâm khoang. Mô phỏng sử dụng khoảng nhiệt độ từ 200°C đến 400°C cho đầu vào khí. Hình 4 là mô hình lưới bằng phần mềm ANSYS.



Hình 4.1. Thiết lập đầu vào và đầu ra cho không khí trong phần mềm ANSYS để mô phỏng



Hình 4.2. Mô hình chia lưới trên phần mềm ANSYS



Hình 4.3. Sự thay đổi các cạnh tương ứng với giá trị a , b và c trên trục tọa độ xOy

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình lưới được sử dụng để đánh giá bước làm nóng với nhiệt độ khí nóng đặt ở 400°C và thời gian làm nóng là 20 giây. Để tìm hình dạng tốt nhất cho quá trình làm nóng, nhiều loại nắp khí khác nhau đã được thử nghiệm. Kết quả cho thấy nhiệt độ tối đa đạt được tại khoảng cách tiêm ngắn hơn, cải thiện khả năng hấp thụ nhiệt của tấm chèn. Mặt khác, các khoảng cách tiêm dài hơn cải thiện phân bố nhiệt độ vì khí nóng tăng tốc độ dòng khí khi nó đi qua nắp trước khi ra ngoài. Những phát hiện này cho thấy khoảng cách tiêm ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ và phân bố nhiệt trên tấm chèn.

Bảng 1. Bảng thông số kết quả của quá trình mô phỏng

STT	1-E (mm)	2-D (mm)	3-C (mm)	4-B (mm)	5-A (mm)	P14 – Nhiệt độ (min)	P15 – Nhiệt độ (max)	Denta (max-min)
1	4	4	4	4	2	80.064	427.479	74.265
2	4	4	4	4	2.5	91.157	409.284	44.977
3	4	4	4	4	3	91.194	401.716	37.372
4	4	4	4	4	3.5	91.177	401.811	37.484
5	4	4	4	4	4	91.181	407.738	43.407
6	4	4	4	3.5	2	91.161	422.836	58.525
7	4	4	4	3.5	2.5	91.185	414.616	50.281
8	4	4	4	3.5	3	91.162	414.357	50.045
9	4	4	4	3.5	3.5	91.272	402.419	37.997
10	4	4	4	3.5	4	91.145	414.593	50.298
11	4	4	4	3	2	91.157	419.23	54.923
12	4	4	4	3	2.5	91.268	402.516	38.098
13	4	4	4	3	3	91.221	430.138	65.767
14	4	4	4	3	3.5	91.223	421.513	57.14
15	4	4	4	3	4	91.216	425.688	61.322
16	4	4	4	2.5	2	91.208	426.408	62.05
17	4	4	4	2.5	2.5	91.258	426.167	61.759
18	4	4	4	2.5	3	91.291	401.652	37.211
19	4	4	4	2.5	3.5	91.264	401.596	37.182
20	4	4	4	2.5	4	91.259	401.688	37.279
21	4	4	4	2	2	91.258	401.622	37.214



22	4	4	4	2	2.5	91.185	401.685	37.35
23	4	4	4	2	3	91.232	401.626	37.244
24	4	4	4	2	3.5	91.239	401.613	37.224
25	4	4	4	2	4	91.23	402.22	37.84
26	4	4	3.5	4	2	91.274	401.645	37.221
27	4	4	3.5	4	2.5	91.196	426.994	62.648

Từ các trường hợp mô phỏng trình bày ở Bảng 1, rõ ràng trường hợp thứ 90 thể hiện sự thay đổi nhiệt độ ít nhất là 13,495°C trong quá trình gia nhiệt, với các thông số (a, b, c, d, e) = (3, 4, 2, 4, 4). Ngoài ra, khi giá trị của tham số a bắt đầu chuyển dần sang giá trị c, tương ứng với vị trí của ống thoát, thì sẽ đạt được sự phân bố nhiệt độ tối ưu nhất. Điều này chứng tỏ tính hiệu quả của việc điều chỉnh các thông số này trong việc đạt được điều kiện gia nhiệt tối ưu.

6. KẾT LUẬN

Để đánh giá phân bố nhiệt độ đạt được trong quá trình làm nóng bằng việc sử dụng các nắp khí cũng như tiềm năng của nó trong việc cải thiện chiều dài dòng chảy nóng chảy của các sản phẩm từ ép phun, nghiên cứu này đã tiến hành các tính toán và thí nghiệm độc lập. Một loạt các loại nắp khí đã được đánh giá với các kích thước cố định: đường kính lỗ đầu vào là 24 mm, đường kính lỗ ra cố định là 10 mm và có 4 lỗ ra khí. Khoảng cách giữa các lỗ vào và ra cũng được giữ ở mức 25 mm. Kết quả cho thấy giá trị nhiệt độ giảm từ 4 xuống 2 khi vị trí của điểm C đi xuống. Để đạt được nhiệt độ tối ưu nhất, giá trị nhiệt độ tại điểm A dần chuyển về phía giá trị tại vị trí C, cũng là vị trí của ống đầu ra. Những kết quả này cho thấy hiệu quả của thiết kế nắp khí trong việc tối ưu hóa quá trình làm nóng trong ép phun và cải thiện sự phân bố nhiệt độ.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Trần Thái Sơn;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Phùng Anh Quang*, Huỳnh Thị Tuyết Minh, Trần Tường Vi.

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: SV2024-259. ❖

Ngày nhận bài: 05/5/2024

Ngày phản biện: 05/6/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hong, J.; Kim, S.K.; Cho, Y.H.; “Flow and solidification of semi-crystalline polymer during micro-injection molding”. Int J Heat Mass Transf, 2020, 153, 1-18.
- [2]. Surace R.; Sorgato, M.; Bellantone, V.; Modica, F.; Lucchetta, G.; Fassi, I.; “Effect of cavity surface roughness and wettability on the filling flow in micro injection molding”. J Manuf Processes, 2019, Vol. 43, pp. 105-111.
- [3]. Zhao, P.; Zhang, J.; Dong, Z.; Huang, J.; Zhou, H.; Fu, J.; Turm, L.-S. “Intelligent injection molding on sensing, optimization, and control”. Adv Polym Technol, 2020, 2020, pp. 1-22.
- [4]. Spina, R., “Technological characterization of PE/EVA blends for foam injection molding”. Mater. Des., 2015, Vol. 84, pp. 64-71.
- [5]. Yu, M.-C.; Young, W.-B.; Hsu, P.-M.; “Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system”. Mater Sci Eng, 2007, 288-295.
- [6]. Chang, P.-C.; Hwang, S.-J.; “Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding”. Int J Heat Mass Transf, 2016, 49, 3846-3854.
- [7]. Macedo, C.; Freitas, C.; Brito, A.M.; Santos, G.; Faria, L.; Laranjeira, J.; Simoes, R.; “Influence of dynamic temperature control on the injection molding process of plastic components”. Procedia Manufacturing, 2019, 38, 1338-1346.