

## NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG KIỂM SOÁT SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ TRONG LÒNG KHUÔN HÌNH CHỮ NHẬT

THE STUDY SIMULATION THE CONTROL TEMPERATURE CHANGE DURING  
THE RECTANGULAR MOLD CAVITIES

Trần Minh Thế Uyên\*, Trần Thái Sơn, Phùng Anh Quang,

Huỳnh Thị Tuyết Minh, Trần Tường Vi

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

### TÓM TẮT

*Kiểm soát nhiệt độ đồng đều trong khuôn hình chữ nhật đóng vai trò then chốt trong lĩnh vực ép phun, mang đến sản phẩm chất lượng thượng hạng và tối ưu hóa hiệu quả sản xuất. Nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng các phương pháp điều khiển nhiệt độ tiên tiến nhằm tạo ra môi trường nhiệt lý hoàn hảo bên trong khuôn. Qua việc phân tích tác động của các chiến lược điều khiển khác nhau đối với phân bố nhiệt độ, mục tiêu của nghiên cứu là tạo ra các sản phẩm nhựa đồng nhất hoàn hảo, giảm thiểu khuyết tật, từ đó nâng tầm hiệu quả sản xuất tổng thể.*

**Từ khóa:** *Khuôn phun ép nhựa; Gia nhiệt bằng khí nóng; Điều khiển nhiệt độ khuôn; Tấm khuôn âm; Tấm khuôn dương.*

### ABSTRACT

*Achieving uniform temperature across a rectangular mold in injection molding is a game-changer. Not only does it guarantee top-notch product quality, but it also streamlines production. This research delves into cutting-edge temperature control methods to unlock the perfect thermal environment within the mold. By dissecting the impact of various control strategies on temperature distribution, we aim to create flawlessly consistent plastic parts and minimize imperfections, ultimately propelling overall production efficiency to new heights.*

**Keywords:** *Injection molding; Air heating; Mold temperature control; Cavity plate; Core plate.* 

## 1. TỔNG QUAN

### (\*) Tối ưu hóa kiểm soát nhiệt độ khuôn trong đúc nhựa phun bằng hệ thống sưởi khí nóng

Đúc nhựa phun là một phương pháp sản xuất phổ biến và linh hoạt để tạo ra các bộ phận nhựa với nhiều hình dạng khác nhau. Tuy nhiên, để đạt được sản phẩm có chất lượng cao và đồng nhất, việc kiểm soát chính xác nhiệt độ khoang khuôn đóng vai trò vô cùng quan trọng. Nghiên cứu này khám phá tiềm năng của hệ thống sưởi khí nóng như một kỹ thuật kiểm soát nhiệt độ tiên tiến để tối ưu hóa điều kiện nhiệt trong khuôn, đặc biệt tập trung vào hình dạng cạnh đa giác.

### (\*) Vai trò quan trọng của kiểm soát nhiệt độ

Duy trì nhiệt độ ổn định và đồng đều trên toàn bộ bề mặt khuôn là yếu tố then chốt trong đúc nhựa phun. Nó trực tiếp ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm cuối cùng ở một số khía cạnh chính:

- Tính toàn vẹn cấu trúc: Nhiệt độ ảnh hưởng đến dòng chảy và sự hóa rắn của vật liệu tan chảy trong khoang. Nhiệt độ tối ưu đảm bảo việc lấp đầy thích hợp và giảm thiểu ứng suất bên trong có thể dẫn đến cong vênh hoặc nứt vỡ.
- Lớp hoàn thiện bề mặt: Nhiệt độ không đồng đều có thể gây ra các khuyết tật bề mặt như nếp nhăn hoặc tì vết. Kiểm soát chính xác thúc đẩy lớp hoàn thiện mịn màng và thẩm mỹ.
- Độ chính xác kích thước: Sự giãn nở và co ngót nhiệt của khuôn do biến đổi nhiệt độ có thể dẫn đến sự không nhất quán về kích

thước trong sản phẩm cuối cùng. Kiểm soát chính xác đảm bảo các bộ phận tuân thủ các thông số kỹ thuật mong muốn.

Ngoài ra, kiểm soát nhiệt độ hiệu quả còn mang lại những lợi ích đáng kể vượt xa chất lượng sản phẩm:

- Tăng hiệu quả sản xuất: Chu kỳ gia nhiệt và làm mát nhanh hơn dẫn đến thời gian sản xuất ngắn hơn và đầu ra cao hơn.
- Giảm tiêu thụ năng lượng: Tối ưu hóa quá trình gia nhiệt và làm mát giúp giảm thiểu lãng phí năng lượng, dẫn đến tiết kiệm chi phí cho nhà sản xuất.

### (\*) Mục tiêu nghiên cứu và giả thuyết

Nghiên cứu này giải quyết câu hỏi: Làm thế nào để áp dụng hệ thống sưởi khí nóng như một kỹ thuật kiểm soát nhiệt độ tiên tiến để tối ưu hóa điều kiện nhiệt trong khoang khuôn cho đúc nhựa phun với hình dạng cạnh đa giác?

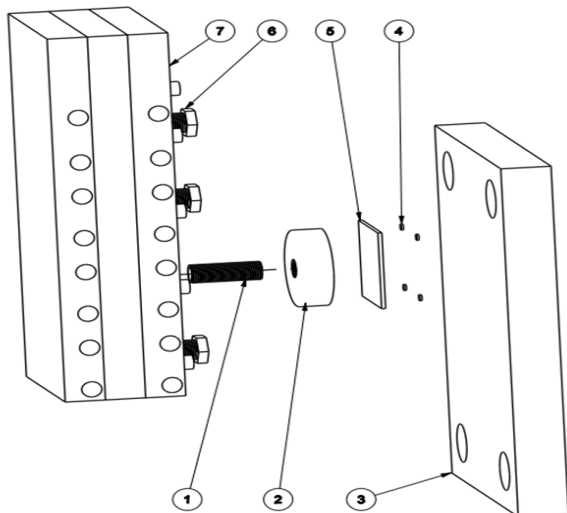
Giả thuyết cơ bản là hệ thống sưởi khí nóng cung cấp phương pháp kiểm soát và hiệu quả để đạt được cấu hình nhiệt mong muốn trong khuôn, dẫn đến:

- Chất lượng sản phẩm được cải thiện: Kiểm soát nhiệt độ chính xác sẽ nâng cao tính toàn vẹn cấu trúc, lớp hoàn thiện bề mặt và độ chính xác kích thước của các bộ phận có cạnh đa giác.
- Hiệu quả sản xuất nâng cao: Việc gia nhiệt khoang khuôn nhanh chóng và có mục tiêu sẽ dẫn đến thời gian chu kỳ nhanh hơn, tăng sản lượng sản xuất tổng thể.
- Giảm chi phí sản xuất: Các đặc tính gia nhiệt và làm mát hiệu quả của khí nóng có

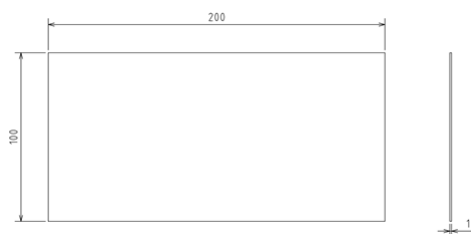
khả năng giảm mức tiêu thụ năng lượng tổng thể, dẫn đến tiết kiệm chi phí.

## 2. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

Được thể hiện trong Hình 1 là thiết kế của tấm chắn khí, quá trình làm nóng của nó được quan sát để đánh giá sự phân bố nhiệt độ trên tấm lót như thể hiện trong Hình 2. Tấm lót có kích thước 200x100 mm và độ dày 1 mm. Trong suốt quá trình gia nhiệt bằng khí, nhiều loại tấm chắn khí với độ dày thành 1 mm đã được sử dụng (Hình 3) để nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách phun, độ cao thể tích khí và số lượng lỗ thoát khí lên phân bố nhiệt độ của tấm lót. Thí nghiệm được chạy với nhiệt độ khí đầu vào là 400°C và thời gian gia nhiệt là 20 giây.



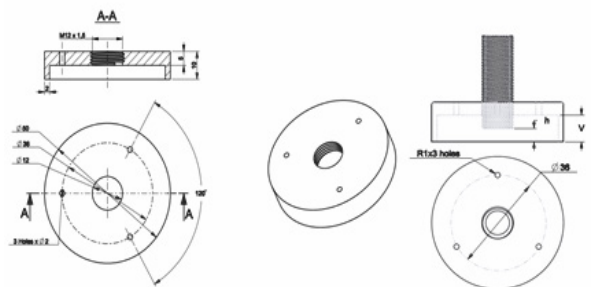
Hình 1. Thiết kế của tấm chắn khí



Hình 2. Tấm insert

Để nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn, một mô hình mô phỏng chi tiết đã được xây dựng. Bằng cách thêm một lớp cách nhiệt bao quanh vùng gia nhiệt, mô hình được đơn giản hóa và tập trung vào hai phần chính: tấm lót và vùng khí nóng. Hình 3 và 4 lần lượt mô tả các điều kiện biên và mô hình lưới. Bảng 3 liệt kê các thiết lập mô phỏng.

Lưới của phần insert được tạo ra bằng kỹ thuật ưu tiên các khối lập phương, và phương pháp tạo lưới giãn nở được áp dụng 10 lớp trên các bề mặt tiếp xúc để cải thiện độ chính xác của mô phỏng. Một khối tứ diện được sử dụng để mô tả thể tích khí. Phần mềm ANSYS được sử dụng để nghiên cứu quá trình gia nhiệt Ex-GMTC và sao chép các điều kiện biên của thí nghiệm. Với nhiệt độ môi trường xung quanh là 25°C và hệ số truyền nhiệt là 10 W/m<sup>2</sup>K, tất cả các bề mặt ngoài của tấm khuôn đều được cấu hình để đối lưu tự do với không khí làm chế độ truyền nhiệt. Để cải thiện hiệu quả gia nhiệt, một tấm lót cũng được đưa vào thiết lập mô phỏng gần tâm khoang. Mô phỏng sử dụng phạm vi nhiệt độ từ 200°C đến 400°C cho khí đầu vào.



Hình 3. Thông số chụp khí

Bảng 1. Thông số của đường polyline.

| STT | Cao độ của điểm |     |     |     |     |
|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|
|     | INPUT           |     |     |     |     |
|     | 1-E             | 2-D | 3-C | 4-B | 5-A |



3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

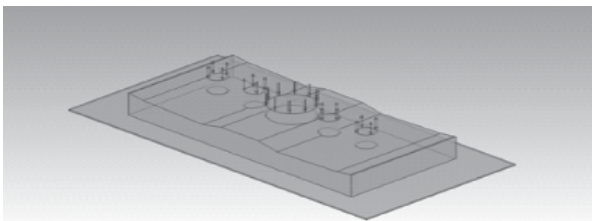
Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng phương pháp GMTC bên trong làm tăng hiệu quả nhiệt độ khoang, cải thiện hiệu quả gia nhiệt. Tuy nhiên, phương pháp này có thể không phù hợp trong một số trường hợp do sự thay đổi nhiệt độ trên bề mặt gia nhiệt. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả của tấm chắn khí Ex-GMTC trong quá trình gia nhiệt khuôn bằng cách phân tích sự phân bố nhiệt độ của tấm lót. Tấm lót là nguồn nhiệt chính cho máy sấy khí, có một cổng khí nóng duy nhất và giúp tăng tốc độ gia nhiệt và độ đồng nhất nhiệt độ.

Một mô hình lưới được sử dụng để đánh giá bước gia nhiệt, với nhiệt độ không khí nóng được đặt ở 400°C và thời gian gia nhiệt là 20 giây. Để tìm ra hình thức tốt nhất cho quá trình gia nhiệt, nhiều loại tấm chắn khí khác nhau đã được thử nghiệm. Bảng 1 hiển thị sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt tấm lót ở các khoảng cách phun khác nhau thu được từ kết quả mô phỏng. Kết quả cho thấy nhiệt độ tối đa đạt được ở khoảng cách phun thấp hơn, giúp cải thiện khả năng hấp thụ nhiệt của tấm lót. Mặt khác, khoảng cách phun dài hơn cải thiện sự phân bố nhiệt độ vì khí nóng làm tăng tốc độ lưu thông khí khi đi qua tấm chắn trước khi thoát ra. Những phát hiện này cho thấy khoảng cách phun ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ và phân bố nhiệt của tấm lót.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng.

| No. | 1-E<br>(mm) | 2-D<br>(mm) | 3-C<br>(mm) | 4-B<br>(mm) | 5-A<br>(mm) | P14     | P15     | Denta (max-min) |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|-----------------|
| 1   | 4           | 4           | 2           | 4           | 3.5         | 114.507 | 410.466 | 22.809          |
| 2   | 4           | 4           | 2           | 4           | 4           | 114.423 | 401.598 | 14.025          |
| 3   | 4           | 4           | 2           | 3.5         | 2           | 114.516 | 401.246 | 13.58           |
| 4   | 4           | 4           | 2           | 3.5         | 2.5         | 114.568 | 403.18  | 15.462          |
| 5   | 4           | 4           | 2           | 3.5         | 3           | 114.471 | 405.515 | 17.894          |
| 6   | 4           | 4           | 2           | 3.5         | 3.5         | 114.522 | 403.944 | 16.272          |
| 7   | 4           | 4           | 2           | 3.5         | 4           | 114.385 | 401.357 | 13.822          |
| 8   | 4           | 4           | 2           | 3           | 2           | 114.558 | 407.328 | 19.62           |
| 9   | 4           | 4           | 2           | 3           | 2.5         | 114.391 | 405.808 | 18.267          |
| 10  | 4           | 4           | 2           | 3           | 3           | 114.432 | 403.079 | 15.497          |
| 11  | 4           | 4           | 2           | 3           | 3.5         | 114.395 | 401.378 | 13.833          |
| 12  | 4           | 4           | 2           | 3           | 4           | 114.48  | 401.375 | 13.745          |
| 13  | 4           | 4           | 2           | 2.5         | 2           | 114.414 | 406.222 | 18.658          |
| 14  | 4           | 4           | 2           | 2.5         | 2.5         | 114.442 | 401.237 | 13.645          |
| 15  | 4           | 4           | 2           | 2.5         | 3           | 114.496 | 401.795 | 14.149          |
| 16  | 4           | 4           | 2           | 2.5         | 3.5         | 114.396 | 406.91  | 19.364          |
| 17  | 4           | 4           | 2           | 2.5         | 4           | 114.439 | 401.313 | 13.724          |

Dựa trên các trường hợp mô phỏng được trình bày trong Bảng 4, rõ ràng trường hợp thứ 24 cho thấy sự thay đổi nhiệt độ ít nhất là  $41,81^{\circ}\text{C}$  trong quá trình gia nhiệt, với các tham số  $(a, b, c) = (20, 20, 15)$ . Điều này cho thấy khi vị trí của tham số  $c$  dịch chuyển xuống dưới, giá trị nhiệt độ giảm từ 20 xuống 15. Bên cạnh đó, khi giá trị của tham số  $b$  bắt đầu dần chuyển dịch về phía giá trị của  $c$ , tương ứng với vị trí của ống thoát, thì sự phân bố nhiệt độ tối ưu nhất đạt được. Điều này chứng minh hiệu quả của việc điều chỉnh các thông số này để đạt được điều kiện gia nhiệt tối ưu.



Hình 4. Chụp khí hình chữ nhật

#### 4. KẾT LUẬN

Để đánh giá sự phân bố nhiệt độ đạt được trong quá trình gia nhiệt bằng cách sử dụng tấm chắn khí, cũng như tiềm năng cải thiện chiều dài dòng chảy của vật liệu nóng chảy trong sản phẩm đúc phun, nghiên cứu này đã thực hiện các tính toán và thí nghiệm độc lập. Nhiều loại tấm chắn khí với kích thước không đổi đã được đánh giá: đường kính lỗ vào là 8 mm, đường kính lỗ ra được giữ cố định ở mức 6 mm và có sáu lỗ thoát khí. Khoảng cách giữa lỗ vào và lỗ ra cũng được giữ ở mức 25 mm.

Kết quả cho thấy khi vị trí của điểm C thay đổi hướng xuống dưới, giá trị nhiệt độ giảm từ 20 xuống 15. Tại vị trí B, giá trị nhiệt độ dần dịch chuyển về phía giá trị tại vị trí C, đây cũng là vị trí của ống thoát khí, đạt được nhiệt độ tối ưu nhất. Những phát hiện này chứng minh hiệu quả của thiết kế tấm chắn khí

trong việc cải thiện sự phân bố nhiệt độ và tối ưu hóa quá trình gia nhiệt trong đúc phun.

(\*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Trần Minh Thế Uyên;

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

**Lời cảm ơn:**

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: B2022-SPK-06.❖

Ngày nhận bài: **12/5/2024**

Ngày phản biện: **08/6/2024**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Guerrier, P.; Nielsen, K.K.; Menotti, S.; Hattel, J.H., "An axisymmetrical non-linear finite element model for induction heating in injection molding tools". Finite Elem Anal Des, 2016, 110, 1-10.
- [2]. Menotti, S.; Hansen, H.N.; Bissacco, G.; Guerrier, P.; Tang, P.T., "Comparison of two setups for induction heating in injection molding". J Adv Manuf Technol, 2015, 1-8.
- [3]. Menotti, S.; Hansen, H.N.; Bissacco, G.; Caloon, M.; Tang, P.T.; Ravn, C., "Injection molding of nanopatterned surfaces in the sub-micrometer range with induction heating aid". International Journal of Advance Manufacturing Technology, 2014, 1-10.
- [4]. Guerrier, P.; Tosello, G.; Nielsen, K.K.; Hattel, J.H., "Three-dimensional numerical modeling of an induction heated injection molding tool with flow visualization". Int J Adv Manuf Technol, 2015, 1-18.
- [5]. Lin, H-L.; Chen, S-C.; Jeng, M-C.; Minh, P.S.; Chang, J-A.; Hwang, J-R., "Induction heating with the ring effect for injection molding plates". Int Commu Heat Mass, 2012, 39, 514-522.
- [6]. Chen, S-C; Minh, P.S. Chang, J-A.; Huang, S-W.; Huang, C-H., "Mold temperature control using high-frequency proximity effect induced heating". Int Commu Heat Mass, 2012, 39, 216-223.