

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÔ HÌNH GIẢI NHIỆT DẠNG LỚP CHO LÒNG KHUÔN VỚI SẢN PHẨM DẠNG LỒM

STUDY ON THE FABRICATION OF A LAYERED COOLING MODEL FOR MOLD CAVITIES WITH CONCAVE-SHAPED PRODUCTS

Vy Lăng Thiên Phước, Nguyễn Tiến Dũng, Trần Thanh Thương, Nguyễn Trà Kim Quyên*

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

Email: 21143380@student.hcmute.edu.vn;

dungnt@hcmute.edu.vn;

thuongtt@hcmute.edu.vn;

*quyenntk@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Trong ngành công nghiệp chế tạo khuôn mẫu, đặc biệt là khuôn ép nhựa, hệ thống làm mát đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc giảm thời gian chu kỳ ép, cải thiện chất lượng sản phẩm và kéo dài tuổi thọ khuôn. Đối với các sản phẩm có hình dạng phức tạp, đặc biệt là dạng lõm (như cốc, vỏ linh kiện điện tử, nắp hộp...), việc thiết kế và chế tạo hệ thống giải nhiệt tối ưu càng trở nên thách thức. 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. Giải pháp làm mát dạng lớp (conformal cooling) cho phép kênh làm mát bám sát bề mặt lòng khuôn, từ đó tăng hiệu quả truyền nhiệt so với các kênh làm mát khoan thẳng truyền thống. Việc nghiên cứu và chế tạo mô hình giải nhiệt dạng lớp với sản phẩm dạng lõm giúp tối ưu hóa hệ thống giải nhiệt cho khuôn phức tạp.

Từ khóa: Ép phun; Khuôn lõm; Giải nhiệt dạng lớp; Mô hình khuôn; Phân bố nhiệt độ.

ABSTRACT

In the mold manufacturing industry, especially in plastic injection molding, the cooling system plays a crucial role in reducing cycle time, improving product quality, and extending mold life. For products with complex geometries, particularly concave shapes (such as cups, electronic housings, and container lids), the design and fabrication of an optimal cooling system become increasingly challenging. It directly affects product quality and production efficiency. Maintaining a stable and uniform temperature distribution across the mold surface is essential for producing high-quality plastic parts. This study focuses on the application of advanced temperature control techniques to achieve optimal thermal conditions within the mold cavity. By analyzing different

control methods and their effects on temperature distribution, the research aims to enhance product uniformity, minimize defects, and improve overall production efficiency. Conformal cooling offers a solution by allowing cooling channels to follow the contour of the mold cavity, thereby increasing heat transfer efficiency compared to traditional straight-drilled channels. The design and fabrication of a conformal cooling model for concave-shaped molds help optimize the thermal management of complex molds.

Keywords: Injection molding; Concave mold; Conformal cooling; Mold modeling; Temperature distribution.

1. TỔNG QUAN

Hệ thống giải nhiệt trong khuôn đúc có nhiệm vụ kiểm soát nhiệt độ của lòng khuôn trong suốt quá trình đúc, từ giai đoạn làm đầy khuôn đến khi sản phẩm nguội và được lấy ra [4]. Nhiệt độ khuôn ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt, độ chính xác kích thước, và tính chất cơ học của sản phẩm. Trong trường hợp sản phẩm dạng lõm, các vùng sâu hoặc có góc cạnh phức tạp thường khó làm mát đồng đều, dẫn đến hiện tượng co ngót không đều, ứng suất dư, hoặc biến dạng sản phẩm [5]. Các phương pháp giải nhiệt truyền thống sử dụng kênh làm mát dạng ống dẫn chất lỏng (thường là nước hoặc dầu) qua khuôn, nhưng thiết kế này không tối ưu cho các khuôn có hình dạng phức tạp, đặc biệt là khuôn lõm [6].

Mô hình giải nhiệt dạng lớp là một cách tiếp cận mới, trong đó các kênh làm mát được thiết kế thành nhiều lớp phân bố theo cấu trúc ba chiều, cho phép chất làm mát tiếp cận gần hơn với bề mặt lòng khuôn [7]. Phương pháp này tận dụng các kỹ thuật chế tạo tiên tiến như in 3D kim loại (additive manufacturing) để tạo ra các cấu trúc kênh làm mát phức tạp, phù hợp với hình dạng của sản phẩm [8]. Nguyên lý hoạt động của hệ thống giải nhiệt dạng lớp dựa trên việc tối ưu hóa dòng chảy chất làm mát, tăng cường trao đổi nhiệt, và giảm gradient nhiệt độ trong khuôn. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng

hệ thống này có thể giảm thời gian làm mát từ 20% đến 40% so với các hệ thống truyền thống, đồng thời cải thiện chất lượng sản phẩm [9].

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để cải tiến hệ thống giải nhiệt trong khuôn đúc, đặc biệt là với sự phát triển của các công nghệ chế tạo tiên tiến. Theo Wang và cộng sự [2], việc sử dụng các kênh làm mát dạng lưới (conformal cooling channels) có thể cải thiện hiệu suất làm mát lên đến 30% so với kênh thẳng truyền thống. Tuy nhiên, các kênh dạng lưới vẫn gặp khó khăn khi áp dụng cho các sản phẩm có dạng lõm sâu do hạn chế về không gian và độ phức tạp của thiết kế. Để giải quyết vấn đề này, Li và cộng sự [7] đã đề xuất mô hình giải nhiệt dạng lớp, trong đó các kênh làm mát được phân bố thành nhiều lớp mỏng, mỗi lớp được tối ưu hóa để phù hợp với hình dạng của lòng khuôn. Nghiên cứu này sử dụng mô phỏng dòng chảy và truyền nhiệt để chứng minh rằng hệ thống dạng lớp có thể giảm thời gian chu kỳ sản xuất và cải thiện độ đồng đều nhiệt độ.

Công nghệ in 3D kim loại đã mở ra cơ hội lớn cho việc chế tạo các hệ thống giải nhiệt phức tạp. Theo nghiên cứu của Zhang và cộng sự [8], việc sử dụng in 3D để tạo kênh làm mát dạng lớp cho phép tăng cường khả năng trao đổi nhiệt nhờ vào thiết kế kênh có diện tích bề mặt lớn hơn và khả năng tiếp cận các vùng khó làm mát. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra

rằng chi phí sản xuất cao và yêu cầu kỹ thuật phức tạp là những rào cản chính trong việc áp dụng công nghệ này vào thực tiễn [10]. Ngoài ra, các nghiên cứu của Kim và cộng sự [11] đã tập trung vào việc tối ưu hóa thông số dòng chảy chất làm mát, chẳng hạn như tốc độ dòng chảy và áp suất, để đạt được hiệu suất làm mát tối ưu trong các hệ thống dạng lớp.

Mặc dù có nhiều tiến bộ, các nghiên cứu hiện tại vẫn chưa giải quyết triệt để các thách thức liên quan đến sản phẩm dạng lõm. Ví dụ, theo báo cáo của Chen và cộng sự [12], các sản phẩm có dạng lõm sâu thường gặp vấn đề về ứng suất nhiệt do sự khác biệt lớn về nhiệt độ giữa các vùng của khuôn. Hệ thống giải nhiệt dạng lớp có tiềm năng khắc phục vấn đề này, nhưng cần thêm các nghiên cứu thực nghiệm để xác nhận tính khả thi trong môi trường sản xuất thực tế. Hơn nữa, việc tích hợp hệ thống giải nhiệt dạng lớp với các công nghệ tự động hóa và trí tuệ nhân tạo để tối ưu hóa quá trình làm mát cũng là một hướng nghiên cứu mới, như đã được đề cập trong nghiên cứu của Park và cộng sự [13].

Việc phát triển và ứng dụng mô hình giải nhiệt dạng lớp cho lòng khuôn sản xuất sản phẩm dạng lõm đối mặt với nhiều thách thức. Thứ nhất, thiết kế các kênh làm mát dạng lớp đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về hình dạng sản phẩm, tính chất vật liệu, và dòng chảy chất làm mát. Các phần mềm mô phỏng như ANSYS hoặc COMSOL thường được sử dụng để tối ưu hóa thiết kế, nhưng việc xác nhận kết quả mô phỏng trong điều kiện thực tế vẫn là một vấn đề lớn [14]. Thứ hai, chi phí chế tạo khuôn với hệ thống giải nhiệt dạng lớp, đặc biệt khi sử dụng in 3D kim loại, vẫn còn cao, khiến giải pháp này khó áp dụng cho các doanh nghiệp vừa và nhỏ [10]. Thứ ba, việc duy trì độ bền và độ ổn định của các kênh làm mát dạng lớp trong điều

kiện vận hành khắc nghiệt (nhiệt độ cao, áp suất lớn) cũng là một thách thức kỹ thuật cần được nghiên cứu thêm.

Bên cạnh những thách thức, mô hình giải nhiệt dạng lớp mang lại nhiều cơ hội. Sự phát triển của công nghệ in 3D và các vật liệu tiên tiến có thể giảm chi phí sản xuất và tăng độ chính xác của các kênh làm mát [8]. Ngoài ra, việc tích hợp các cảm biến nhiệt độ và hệ thống điều khiển thông minh vào khuôn có thể giúp tối ưu hóa quá trình làm mát theo thời gian thực, từ đó nâng cao hiệu quả sản xuất [13]. Đặc biệt, với các sản phẩm dạng lõm, mô hình giải nhiệt dạng lớp có thể cải thiện đáng kể chất lượng sản phẩm và giảm tỷ lệ phế phẩm, mang lại lợi ích kinh tế lớn cho các nhà sản xuất.

Nghiên cứu này tập trung vào việc thiết kế, chế tạo, và thử nghiệm mô hình giải nhiệt dạng lớp cho lòng khuôn sản xuất các sản phẩm dạng lõm. Các mục tiêu cụ thể bao gồm: (1) phát triển thiết kế kênh làm mát dạng lớp phù hợp với hình dạng lõm phức tạp, (2) sử dụng công nghệ in 3D để chế tạo khuôn thử nghiệm, (3) tiến hành mô phỏng và thực nghiệm để đánh giá hiệu suất làm mát, và (4) so sánh hiệu quả của hệ thống giải nhiệt dạng lớp với các hệ thống truyền thống. Nghiên cứu sẽ sử dụng các phương pháp mô phỏng truyền nhiệt và dòng chảy, kết hợp với thử nghiệm thực tế trên các mẫu khuôn để xác nhận tính khả thi của giải pháp. Kết quả nghiên cứu dự kiến sẽ cung cấp một hướng đi mới cho việc cải tiến hệ thống giải nhiệt trong khuôn đúc, đặc biệt là trong sản xuất các sản phẩm dạng lõm.

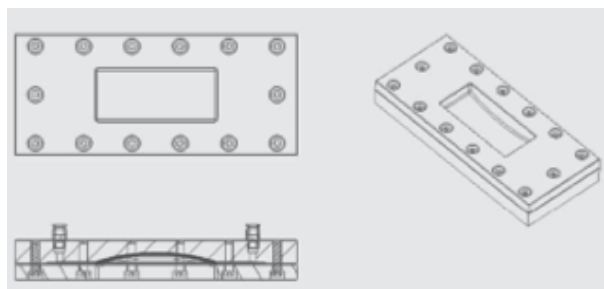
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

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

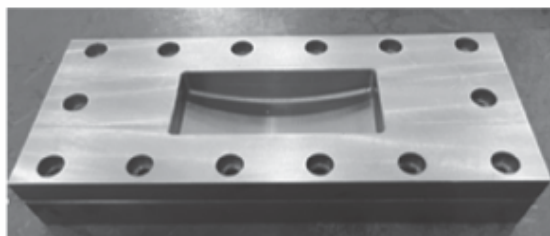
là một chiến lược hữu ích. Nhiều nghiên cứu đã thực hiện về các kỹ thuật kiểm soát nhiệt độ khuôn nhằm tăng nhiệt độ khoang khuôn nhưng vẫn duy trì thời gian chu kỳ ngắn. Các kỹ thuật như sưởi ấm bằng tia hồng ngoại, lửa, laser, cảm ứng và khí nóng được đề xuất để nâng cao hiệu quả và giảm tiêu thụ năng 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. Giải nhiệt khuôn dạng lớp dựa trên nguyên lý tăng diện tích tiếp xúc giữa dòng chất làm mát và bề mặt khuôn. Khi các kênh giải nhiệt được thiết kế theo biên dạng sản phẩm, sự truyền nhiệt trở nên hiệu quả và đồng đều hơn, giảm thiểu sự chênh lệch nhiệt trong khuôn.

Lý thuyết truyền nhiệt đối lưu và dẫn nhiệt được áp dụng để tính toán nhiệt lượng trao đổi, trong đó phương trình Fourier và định luật Newton về đối lưu được sử dụng để xác định tốc độ làm mát tối ưu. Đồng thời, nguyên lý chia lớp khuôn để lắp ghép và tích hợp các kênh làm mát cũng được xem xét về mặt cơ khí.

3. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG



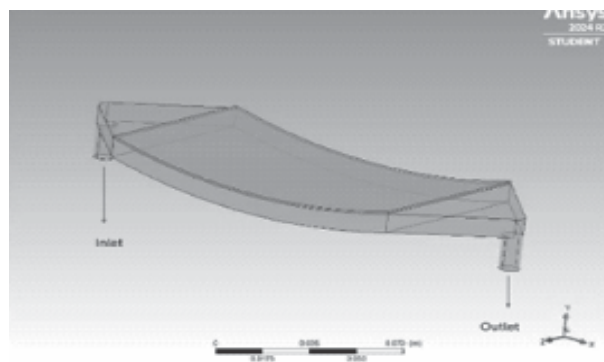
Hình 3.1. Thiết kế của hệ thống cooling layer



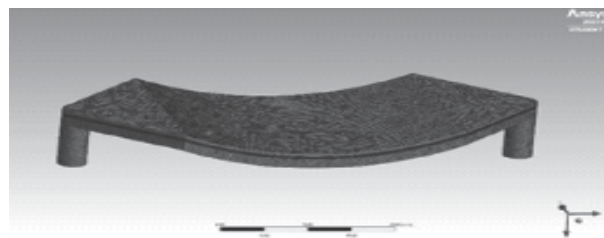
Thiết kế của hệ thống cooling layer được thiết kế gồm 2 tấm. Tấm Insert với kích thước dày 1mm, 1,8mm, 1-1,8mm. Tấm Water có kích thước 3, 5, 8mm.

4. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHÒNG

Để nghiên cứu phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn, một mô hình mô phỏng chi tiết đã được xây dựng. 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 40°C đến 80°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 quá trình mô phỏng



Hình 4.2. Mô hình chia lưới trên phần mềm ANSYS

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình lưới được áp dụng nhằm đánh giá quá trình làm nóng của khuôn, với nhiệt độ nước làm nóng được đặt ở mức 40°C và thời gian gia nhiệt là 30 giây. Mục đích chính là tìm ra hình dạng tối ưu cho quá trình làm nóng, nhằm đảm bảo nhiệt độ phân bố đồng đều và tối ưu hóa khả năng truyền nhiệt của khuôn. Nhiều loại nắp khí khác nhau đã được thử nghiệm để đánh giá hiệu quả của từng thiết kế nắp trong việc kiểm soát sự lan truyền nhiệt và tăng cường tốc độ truyền nhiệt.

Kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho thấy rằng, nhiệt độ tối đa đạt được khi sử dụng khoảng cách tiêm ngắn hơn, giúp nâng

cao hiệu quả hấp thụ nhiệt của tấm khuôn. Các thử nghiệm chỉ ra rằng, khi khoảng cách tiêm giảm, sự trao đổi nhiệt giữa bề mặt khuôn và môi chất làm nóng diễn ra mạnh hơn, dẫn đến sự gia tăng đáng kể của nhiệt độ tại các vị trí gần vùng tiêm.

Phân kết quả và thảo luận đã chỉ ra hiệu quả đáng kể của hệ thống giải nhiệt dạng lớp trong việc cải thiện sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn. Các kết quả mô phỏng được thực hiện với nhiệt độ nước 40°C trong 30 giây đã phản ánh sự gia tăng nhiệt độ cả theo phương dọc (Y) lẫn phương ngang (X). Đặc biệt, tại các vị trí gần tâm khuôn, nhiệt độ tăng nhanh và đạt đỉnh cao, trong khi ở vùng biên, nhiệt độ tăng chậm hơn.

Bảng 1. Bảng thông số kết quả của quá trình mô phỏng 5s

	Y0	Y15	Y30	Y45	Y60	X30	X35	X70	X105	X140
1	31.1	30.6	30.7	31.1	31.2	33.9	35.7	34.6	34.1	32.4
2	31.7	31.2	31.3	31.8	32	34.1	35.9	34.9	34.5	32.8
3	32.5	32	31.9	32.5	32.7	34.2	36.1	35.2	34.9	33.2
4	33.3	32.8	32.5	33.2	33.5	34.3	36.3	35.5	35.2	33.5
5	34.1	33.6	33.1	34	34.2	34.3	36.4	35.7	35.4	33.7
6	34.8	34.3	33.6	34.6	35	34.2	36.3	35.7	35.5	33.8
7	35.2	34.6	33.9	35	35.2	34	36.3	35.7	35.6	33.8
8	35.5	35	34.2	35.3	35.4	33.9	36.3	35.7	35.6	33.9
9	35.9	35.3	34.5	35.7	35.7	33.8	36.2	35.5	35.5	33.8
10	36.3	35.7	34.8	36	35.9	33.7	36	35.2	35.1	33.7
11	36.4	35.9	34.8	36	36	33.7	35.7	34.9	34.7	33.6
12	36.4	36.2	34.8	36	36.1	33.6	35.5	34.6	34.3	33.5
13	36.5	36.4	34.8	36	36.2	33.6	35.4	34.3	34	33.3
14	36.6	36.7	34.8	36	36.3	33.6	35.2	34	33.7	33.1
15	36.7	36.7	34.8	36	36.2	33.6	35.1	33.6	33.5	32.9
16	36.7	36.8	34.7	36	36.2	33.6	34.9	33.3	33.2	32.8
17	36.8	36.9	34.6	36	36.2	33.6	34.8	33	33	32.6
18	36.8	37	34.6	36	36.1	33.5	34.6	32.7	32.7	32.4
19	36.8	36.9	34.6	36	36	33.5	34.5	32.4	32.5	32.2

20	36.8	36.9	34.7	36	36	33.5	34.3	32.2	32.2	32.1
21	36.7	36.9	34.7	35.9	35.9	33.4	34.1	32	32	31.9
22	36.7	36.9	34.7	35.9	35.8	33.3	34	32	31.9	31.7
23	36.7	36.8	34.6	35.8	35.8	33.3	33.8	32	31.8	31.5
24	36.7	36.8	34.6	35.7	35.7	33.2	33.6	32	31.7	31.3
25	36.6	36.7	34.5	35.7	35.7	33.1	33.5	32.1	31.7	31.2
26	36.6	36.7	34.4	35.6	35.6	33.1	33.4	32.1	31.7	31.3
27	36.6	36.6	34.3	35.6	35.6	33.1	33.4	32.2	31.8	31.4
28	36.6	36.5	34.3	35.5	35.5	32.4	33.3	32.2	31.8	31.5
29	36.6	36.4	34.2	35.5	35.4	32.4	33.3	32.3	32	31.6
30	36.6	36.3	34.2	35.5	35.4	32.4	33.4	32.4	32.3	31.7

Dữ liệu bảng kết quả phản ánh rằng tại các vị trí trung tâm, chẳng hạn Y0, nhiệt độ có thể đạt tới 36.8°C, trong khi ở các vùng biên chỉ đạt khoảng 31-33°C. Hiện tượng phân bố nhiệt tập trung này được lý giải là do thiết kế của kênh giải nhiệt dạng “bám sát biên dạng” (conformal cooling). Thiết kế này cho phép các dòng nước làm nóng di chuyển gần sát bề mặt khuôn, từ đó đảm bảo khả năng truyền nhiệt nhanh và đồng đều.

Để trực quan hóa xu hướng nhiệt độ theo thời gian, biểu đồ dưới đây thể hiện diễn biến nhiệt độ tại hai vị trí dọc quan trọng: Y0 (tâm) và Y30 (gần biên).

Biểu đồ trên cho thấy rõ ràng rằng nhiệt độ tại vị trí trung tâm (Y0) tăng đều đặn và đạt giá trị cao nhất (gần 37°C), trong khi vị trí Y30 cũng tăng theo thời gian nhưng chậm hơn, chỉ đạt khoảng 34°C. Sự khác biệt này chứng minh tính ưu việt của hệ thống kênh giải nhiệt dạng lớp ở vùng trung tâm so với vùng biên.

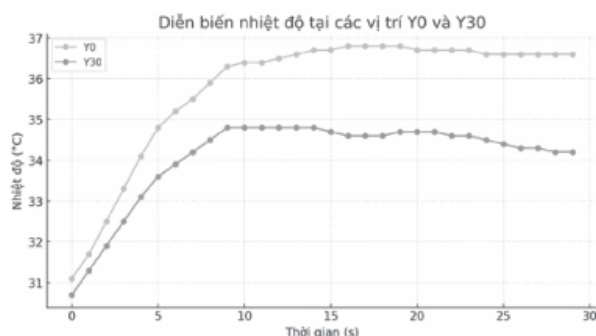
Bên cạnh đó, để so sánh sự phân bố nhiệt độ theo phương ngang, biểu đồ sau đây mô tả sự thay đổi nhiệt độ ở hai vị trí X30 và X70.

Qua biểu đồ, có thể thấy nhiệt độ tại X30 duy trì ở mức khá ổn định trong khoảng 33-34°C, trong khi X70 có xu hướng tăng nhanh hơn, đạt đỉnh gần 35.5°C. Điều này chứng minh rằng các kênh làm mát dạng lớp bố trí tại các vị trí ngang có thể điều tiết nhiệt độ hiệu quả, đảm bảo nhiệt độ ổn định trong suốt quá trình gia nhiệt.

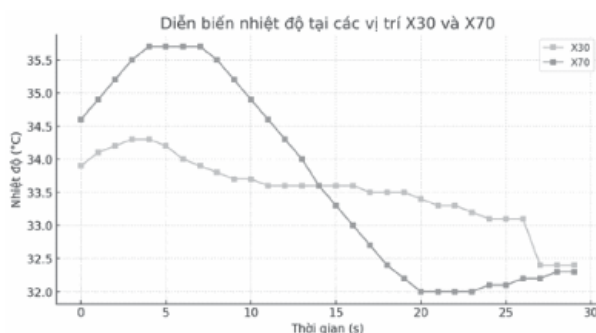
Việc thử nghiệm nhiều loại nắp khí với khoảng cách tiêm khác nhau cũng chỉ ra rằng thiết kế tiêm ngắn giúp tăng cường hiệu suất truyền nhiệt, từ đó rút ngắn thời gian làm nóng khuôn. Điều này đặc biệt quan trọng trong chu trình ép phun, bởi thời gian chu trình càng ngắn, năng suất sản xuất càng cao.

Tóm lại, kết quả mô phỏng và đo đạc cho thấy rõ ràng rằng thiết kế hệ thống kênh làm mát dạng lớp và cấu trúc chèn của khuôn có vai trò quyết định trong việc kiểm soát nhiệt độ bề mặt. Thiết kế hợp lý không chỉ giúp giảm thời gian gia nhiệt mà còn đảm bảo phân bố nhiệt đều, tránh hiện tượng nứt hoặc biến dạng khuôn do chênh lệch nhiệt độ.





Hình 5.1. Thay đổi nhiệt độ theo thời gian gia nhiệt



Hình 5.2. Thay đổi nhiệt độ khi giải nhiệt

6. KẾT LUẬN

Việc áp dụng thiết kế giải nhiệt dạng lớp cho khuôn có sản phẩm dạng lõm mang lại hiệu quả rõ rệt về mặt truyền nhiệt, giảm thời gian chu kỳ và cải thiện chất lượng sản phẩm. Hướng phát triển tiếp theo sẽ tập trung vào việc kết hợp công nghệ in 3D kim loại để chế tạo các kênh có hình dạng phức tạp hơn và giảm chi phí gia công.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Đặng Hùng Sơn;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Vy Lăng Thiên Phước, Nguyễn Tiến Dũng, Trần Thanh Thường, Nguyễn Trà Kim Quyên;

- Tác giả liên hệ: Nguyễn Trà Kim Quyên.

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 thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số:SV2025-353.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2025**

Ngày phản biện: **22/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Dimla, D. E., Camilotto, M., & Miani, F. (2005), "Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools". Journal of Materials Processing Technology, 164-165, 1294-1300. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.162>
- [2]. European Commission. (2019a), "A vision for the European industry until 2030: Final report of the Industry 2030 High Level Industrial Roundtable". <https://data.europa.eu/doi/10.2873/102179>
- [3]. European Commission (2019b), "Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones". El Pacto Verde Europeo (In Spanish). [Google Scholar]
- [4]. Kirchheim, A., Katrodiya, Y., Zumofen, L., Ehrig, F., & Wick, C. (2021), "Dynamic conformal cooling improves injection molding". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 114, 107-116. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06839-0>
- [5]. Liu, H., Zhang, X., Quan, L., & Zhang, H. (2020), "Research on energy consumption of injection molding machine driven by five different types of electro-hydraulic power units". Journal of Cleaner Production, 242, 118355. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118355>

- [6]. Malloy, R. A. (2012) , “*Plastic part design for injection molding: An introduction*”. Carl Hanser Verlag.
- [7]. Mathey, E., Penazzi, L., Schmidt, F. M., & Rondé-Oustau, F. (2004), “*Automatic optimization of the cooling of injection mold based on the boundary element method*”. AIP Conference Proceedings, 712, 222-227. <https://doi.org/10.1063/1.1766527>
- [8]. Mazur, M., Brincat, P., Leary, M., & Brandt, M. (2017), “*Numerical and experimental evaluation of a conformally cooled H13 steel injection mould manufactured with selective laser melting*”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 93, 881-900. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0426-7>
- [9]. Meckley, J., & Edwards, R. (2009), “*A study on the design and effectiveness of conformal cooling channels in rapid tooling inserts*”. Technology Interface Journal, 10, 1-28.
- [10]. Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P. (2001), “*How to make injection molds*”. Hanser Publishers.
- [11]. Mercado-Colmenero, J. M., Muriana, J. A. M., Rubio-Paramio, M. A., & Martín-Doñate, C. (2016), “*An automated manufacturing analysis of plastic parts using faceted surfaces*”. In Advances on mechanics, design engineering and manufacturing (pp. 119-128). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45781-9_11
- [12]. Mercado-Colmenero, J. M., Rubio-Paramio, M. A., Karlinger, P., & Martín-Doñate, C. (2018a) , “*A new method for the automated design of cooling systems in injection molds*”. Computer-Aided Design, 104, 60–86. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.06.007>
- [13]. Mercado-Colmenero, J. M., Rubio-Paramio, M. A., & Martín-Doñate, C. (2018b), “*A new procedure for calculating cycle time in injection molding based on plastic part geometry recognition*”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 98, 441-477. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2326-7>
- [14]. Park, H. S., & Dang, X. P. (2010), “*Optimization of conformal cooling channels with array of baffles for plastic injection mold*”. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 11, 879-890. <https://doi.org/10.1007/s12541-010-0107-z>