

THỰC NGHIỆM ĐO PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ CỦA LÒNG KHUÔN PHUN ÉP NHỰA

EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN INJECTION MOLD CAVITIES

Lê Đức Thắng, Trần Thanh Thương, Trần Thanh Lam, Nguyễn Quang Sáng*

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

Email: 22144191@student.hcmute.edu.vn; thuongtt@hcmute.edu.vn;

lamtt@hcmute.edu.vn; *sangnq@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực ép phun, sự phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt, độ chính xác hình học và độ bền cơ học của sản phẩm. Đặc biệt đối với khuôn hình vuông, việc duy trì nhiệt độ ổn định và phân bố đều trong toàn bộ khoang khuôn là một thách thức kỹ thuật quan trọng. Nghiên cứu này tập trung vào thực nghiệm đo phân bố nhiệt độ của lòng khuôn phun ép nhựa bằng cách sử dụng hệ thống cảm biến nhiệt độ đặt tại nhiều vị trí khác nhau trong khuôn. Dữ liệu thu thập được giúp đánh giá chính xác mức độ đồng đều nhiệt và xác định các khu vực có nguy cơ gây ra sai lệch chất lượng sản phẩm. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để so sánh, hiệu chỉnh các phương pháp làm nóng khuôn hiện tại cũng như đề xuất hướng điều khiển nhiệt độ hiệu quả hơn, đặc biệt khi sử dụng công nghệ gia nhiệt bằng khí nóng. Nghiên cứu hướng đến mục tiêu nâng cao tính đồng nhất của sản phẩm, giúp giảm thiểu biến dạng nhiệt, giảm tỷ lệ lỗi sản phẩm và tối ưu hóa hiệu suất sản xuất.

Từ khóa: Nhiệt độ khuôn; Gia nhiệt bằng khí; Chụp khí; Khuôn phun ép nhựa.

ABSTRACT

In injection molding, the temperature distribution within the mold cavity directly affects the surface quality, geometric accuracy, and mechanical strength of the product. This is especially critical for square-shaped molds, where maintaining stable and evenly distributed temperature throughout the cavity presents a significant technical challenge. This study focuses on experimentally measuring the temperature distribution inside the injection mold cavity using a system of temperature sensors placed at various locations within the mold. The collected data enables accurate assessment of thermal uniformity and identification of potential areas that may cause product quality deviations. The research results serve as a basis for comparing and fine-tuning existing mold heating methods, as well as proposing more efficient temperature control strategies – particularly with the application of hot gas heating technology. The study aims to enhance product uniformity, minimize thermal deformation, reduce defect rates, and optimize production efficiency.

Keywords: Mold temperature; Hot gas heating; Gas cover; Injection mold.

1. TỔNG QUAN

Ép phun là một trong những phương pháp gia công nhựa phổ biến nhất trong ngành công nghiệp sản xuất hiện nay, nhờ vào khả năng sản xuất hàng loạt với chi phí thấp, thời gian chu kỳ ngắn và tính linh hoạt trong việc tạo hình các sản phẩm phức tạp [1]. Phương pháp này được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, từ sản xuất linh kiện ô tô, thiết bị điện tử, đến các sản phẩm tiêu dùng hàng ngày. Tuy nhiên, chất lượng của sản phẩm ép phun phụ thuộc đáng kể vào khả năng kiểm soát các thông số kỹ thuật trong quá trình sản xuất, trong đó nhiệt độ của khuôn đóng vai trò đặc biệt quan trọng [2]. Đặc biệt, giai đoạn làm nóng khuôn trước khi phun nhựa có ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác hình học, tính chất cơ học và chất lượng bề mặt của sản phẩm cuối cùng [3]. Việc đảm bảo phân bố nhiệt độ đồng đều trong lòng khuôn không chỉ giúp giảm thiểu các khuyết tật như cong vênh, co ngót không đồng đều hay ứng suất dư, mà còn nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm tỷ lệ sản phẩm lỗi [4].

(*) Vai trò của kiểm soát nhiệt độ trong ép phun:

Trong quá trình ép phun, khuôn cần được làm nóng đến một nhiệt độ nhất định trước khi nhựa nóng chảy được phun vào để đảm bảo dòng chảy nhựa được duy trì ổn định và lấp đầy toàn bộ lòng khuôn [5]. Nhiệt độ khuôn không chỉ ảnh hưởng đến tốc độ làm nguội của nhựa mà còn quyết định đến cấu trúc vi mô và tính chất vật lý của sản phẩm [6]. Nếu nhiệt độ khuôn không được kiểm soát tốt, hiện tượng nóng lạnh không đều có thể xảy ra, dẫn đến các khuyết tật như đường hàn kém, bề mặt không đồng nhất hoặc biến dạng sản phẩm [7]. Do đó, việc tối ưu hóa quá trình làm nóng khuôn, đặc biệt bằng phương pháp sử dụng khí nóng, là

một hướng nghiên cứu quan trọng nhằm cải thiện chất lượng sản phẩm và hiệu suất sản xuất [8].

Phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng có nhiều ưu điểm, bao gồm khả năng truyền nhiệt nhanh, chi phí vận hành thấp và khả năng điều chỉnh linh hoạt nhiệt độ đầu vào [9]. Tuy nhiên, để đạt được phân bố nhiệt độ đồng đều trên bề mặt khuôn, cần giải quyết các thách thức liên quan đến thiết kế hệ thống dẫn khí, sự phân bố dòng khí nóng, và khả năng giảm thiểu tổn thất nhiệt trong quá trình truyền nhiệt [10]. Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng việc tối ưu hóa các thông số như lưu lượng khí, áp suất, và cấu trúc của hệ thống dẫn khí có thể cải thiện đáng kể hiệu suất truyền nhiệt và độ đồng đều của nhiệt độ khuôn [3, 8].

(*) Tầm quan trọng của phân bố nhiệt độ đồng đều:

Phân bố nhiệt độ đồng đều trong lòng khuôn là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng sản phẩm ép phun. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng của khuôn có thể gây ra hiện tượng co ngót không đồng đều, dẫn đến biến dạng hoặc nứt gãy sản phẩm [4]. Ngoài ra, các vùng có nhiệt độ quá cao có thể làm tăng thời gian làm nguội, kéo dài chu kỳ sản xuất và làm giảm năng suất, trong khi các vùng có nhiệt độ quá thấp có thể gây ra hiện tượng dòng nhựa bị đông kết sớm, dẫn đến sản phẩm không lấp đầy hoàn toàn [5]. Để giải quyết vấn đề này, các nghiên cứu đã tập trung vào việc phát triển các hệ thống gia nhiệt tiên tiến, sử dụng cảm biến nhiệt độ chính xác và hệ thống điều khiển phản hồi nhanh để duy trì nhiệt độ khuôn ở mức mong muốn [6].

Cảm biến nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát và điều chỉnh nhiệt

độ khuôn trong thời gian thực. Các cảm biến hiện đại, chẳng hạn như cặp nhiệt điện hoặc cảm biến hồng ngoại, cho phép đo lường chính xác sự thay đổi nhiệt độ tại các vị trí khác nhau trên bề mặt khuôn [7]. Dữ liệu từ các cảm biến này được sử dụng để điều chỉnh lưu lượng khí nóng, áp suất hoặc thời gian gia nhiệt, từ đó đảm bảo sự ổn định và đồng đều của nhiệt độ [9]. Ngoài ra, việc tích hợp các hệ thống điều khiển tự động, chẳng hạn như bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative), đã được chứng minh là hiệu quả trong việc duy trì các điều kiện nhiệt độ tối ưu trong suốt chu kỳ ép phun [10].

(*) Thiết kế hệ thống dẫn khí và thoát khí:

Hệ thống dẫn khí và thoát khí là một thành phần quan trọng trong quá trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng. Thiết kế của hệ thống này ảnh hưởng trực tiếp đến cách khí nóng tiếp xúc với bề mặt khuôn và mức độ phân bố nhiệt độ [2]. Một hệ thống dẫn khí được thiết kế tốt cần đảm bảo rằng dòng khí nóng được phân phối đều khắp lòng khuôn, đồng thời giảm thiểu sự mất mát nhiệt ra môi trường xung quanh [3]. Các thông số thiết kế quan trọng bao gồm số lượng và vị trí của các lỗ phun khí, hình dạng của nắp khí, và khoảng cách giữa nắp khí và bề mặt khuôn [8].

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc sử dụng nắp khí có cấu trúc hình học phù hợp, chẳng hạn như hình vuông hoặc hình tròn, có thể cải thiện sự phân bố dòng khí và tăng cường hiệu quả truyền nhiệt [4]. Ngoài ra, việc tối ưu hóa số lượng và đường kính của các lỗ thoát khí giúp kiểm soát áp suất và tốc độ dòng khí, từ đó giảm thiểu hiện tượng rối loạn dòng chảy và đảm bảo khí nóng tiếp xúc đều với bề mặt khuôn [9]. Một số nghiên cứu cũng đề xuất sử dụng các vật liệu cách nhiệt hoặc lớp phủ

đặc biệt cho hệ thống dẫn khí để giảm tổn thất nhiệt, từ đó nâng cao hiệu suất năng lượng của quá trình gia nhiệt [10].

(*) Lựa chọn vật liệu khuôn:

Vật liệu khuôn cũng đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hiệu suất nhiệt của quá trình ép phun. Vật liệu khuôn cần có khả năng chịu nhiệt tốt, truyền nhiệt hiệu quả và độ bền cơ học cao để đáp ứng các điều kiện khắc nghiệt trong quá trình gia nhiệt và làm nguội liên tục [5]. Các loại thép hợp kim, chẳng hạn như thép P20 hoặc thép không gỉ, thường được sử dụng do tính chất truyền nhiệt tốt và khả năng chống ăn mòn [6]. Ngoài ra, việc sử dụng các lớp phủ bề mặt, chẳng hạn như lớp phủ nitrua hoặc lớp phủ gốm, có thể cải thiện khả năng chịu nhiệt và giảm ma sát giữa nhựa và khuôn, từ đó nâng cao chất lượng sản phẩm [7].

Một số nghiên cứu gần đây đã khám phá việc sử dụng các vật liệu composite hoặc hợp kim tiên tiến để chế tạo khuôn, nhằm cải thiện khả năng đáp ứng nhiệt và giảm trọng lượng khuôn [8]. Những vật liệu này không chỉ giúp tăng cường hiệu suất truyền nhiệt mà còn kéo dài tuổi thọ của khuôn trong các ứng dụng sản xuất hàng loạt [9]. Tuy nhiên, chi phí cao của các vật liệu tiên tiến này vẫn là một thách thức, đòi hỏi các nhà sản xuất phải cân nhắc giữa hiệu quả kỹ thuật và chi phí kinh tế [10].

(*) Thách thức và hướng nghiên cứu tương lai:

Mặc dù đã có nhiều tiến bộ trong việc kiểm soát nhiệt độ khuôn trong quá trình ép phun, vẫn còn nhiều thách thức cần được giải quyết. Một trong những thách thức lớn nhất là làm thế nào để đạt được phân bố nhiệt độ đồng đều trên các khuôn có hình dạng phức tạp, nơi

mà dòng khí nóng khó tiếp cận đều đến mọi vùng của lòng khuôn [3]. Ngoài ra, việc tối ưu hóa đồng thời các thông số như lưu lượng khí, áp suất, và thời gian gia nhiệt đòi hỏi các mô hình mô phỏng nhiệt tiên tiến và các thuật toán điều khiển thông minh [6].

Trong tương lai, việc tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy vào các hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn có thể mang lại những bước đột phá, cho phép dự đoán và điều chỉnh các thông số gia nhiệt trong thời gian thực [7]. Đồng thời, các nghiên cứu về thiết kế hệ thống gia nhiệt tiết kiệm năng lượng và thân thiện với môi trường cũng cần được đẩy mạnh để đáp ứng các yêu cầu về phát triển bền vững [9]. Các giải pháp như sử dụng năng lượng tái tạo để cung cấp nhiệt hoặc tái sử dụng nhiệt thải từ quá trình sản xuất có thể là những hướng đi tiềm năng [10].

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về độ chính xác hình học và chất lượng bề mặt sản phẩm nhựa. Các kỹ thuật ép phun hiện đại cần được cải tiến, đặc biệt ở khâu kiểm soát nhiệt độ khuôn. Nhiệt độ khuôn hợp lý giúp cải thiện khả năng điền đầy nhựa, tăng độ bóng bề mặt và giảm khuyết tật sản phẩm mà không làm tăng đáng kể thời gian chu kỳ. Quản lý nhiệt độ là một chiến lược hữu ích nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm và cải thiện hiệu suất sản xuất. 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 các cấu trúc cạnh có hình dạng phức tạp nhằm phục vụ cho các ứng dụng ép phun đòi hỏi chất lượng cao.

3. MÔ PHỎNG

Trong các quy trình sản xuất công nghiệp, việc kiểm soát nhiệt độ và phân bố nhiệt trên các bộ phận gia công đóng vai trò quan trọng để đảm bảo chất lượng sản phẩm. Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá tác động của thiết kế nắp khí đến phân bố nhiệt độ trên tấm chèn trong quá trình gia nhiệt sử dụng khí nóng. Các thiết kế nắp khí được trình bày chi tiết trong Hình 1 và Hình 2, trong khi kết quả phân bố nhiệt độ trên tấm chèn được quan sát và phân tích qua Hình 3. Các thí nghiệm được tiến hành với tấm chèn có kích thước 50 x 50 mm và độ dày 2 mm, sử dụng các loại nắp khí có độ dày tường 2 mm. Một số thông số thiết kế của nắp khí, bao gồm khoảng cách tiêm, thể tích khí, chiều cao nắp và số lượng lỗ thoát khí, đã được điều chỉnh để nghiên cứu ảnh hưởng của chúng đến hiệu suất gia nhiệt. Các thí nghiệm được thực hiện với khí đầu vào ở nhiệt độ 650°C và thời gian gia nhiệt kéo dài 10 giây.

***Thiết kế Nắp khí:** Hai thiết kế nắp khí chính được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm nắp khí hình vuông và nắp khí hình tròn, được mô tả chi tiết trong Hình 3.1 và Hình 3.2.

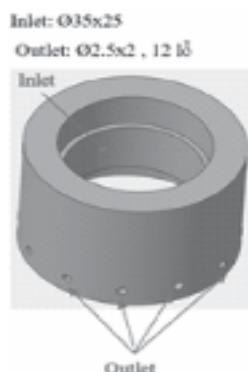
• Hình 3.1 – Thiết kế nắp chụp khí hình vuông: Nắp khí hình vuông được thiết kế với các cạnh phẳng và các lỗ thoát khí phân bố đều trên bề mặt. Thiết kế này nhằm đảm bảo dòng

khí nóng được phân phối đồng đều đến tấm chèn, giảm thiểu hiện tượng tập trung nhiệt tại một số vùng nhất định. Các thông số như số lượng lỗ, đường kính lỗ và khoảng cách giữa các lỗ được điều chỉnh để tối ưu hóa dòng chảy khí và hiệu suất truyền nhiệt.



Hình 3.1. Thiết kế nắp chụp khí hình vuông

- Hình 3.2 – Thiết kế nắp chụp khí hình tròn: Nắp khí hình tròn có dạng đối xứng trục, với các lỗ thoát khí được bố trí theo hình xoắn hoặc đồng tâm, tùy thuộc vào mục đích thí nghiệm. Thiết kế này được kỳ vọng sẽ tạo ra dòng khí xoắn, giúp cải thiện sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt tấm chèn, đặc biệt ở các vùng trung tâm. Tương tự như nắp hình vuông, các thông số thiết kế của nắp hình tròn cũng được thay đổi để đánh giá tác động đến hiệu quả gia nhiệt.

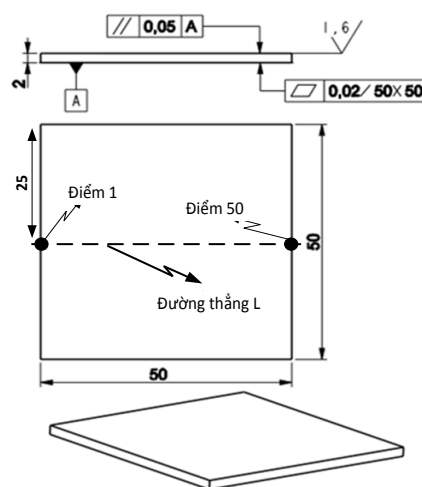


Hình 3.2. Thiết kế nắp chụp khí hình tròn

Cả hai thiết kế nắp khí đều có độ dày tường 2 mm, đảm bảo độ bền cơ học và khả năng chịu nhiệt trong điều kiện nhiệt độ cao. Sự khác biệt giữa hai thiết kế nằm ở hình dạng tổng thể và cách bố trí các lỗ thoát khí, từ đó ảnh hưởng đến cách khí nóng tương tác với tấm chèn.

***Thiết kế Tấm chèn:** Tấm chèn được sử dụng trong thí nghiệm có kích thước 50 x 50 mm và độ dày 2 mm, được mô tả chi tiết trong Hình 3.3. Tấm chèn được chế tạo từ vật liệu có khả năng chịu nhiệt tốt, phù hợp với điều kiện gia nhiệt ở nhiệt độ cao. Bề mặt tấm chèn được gia công phẳng để đảm bảo tiếp xúc tối ưu với dòng khí nóng từ nắp khí. Thiết kế này cho phép tấm chèn được gắn trực tiếp lên khuôn âm trong quá trình gia nhiệt, như được minh họa trong Hình 4.1.

- Hình 3.3 – Thiết kế tấm chèn: Tấm chèn có dạng hình vuông với các cạnh được gia công chính xác để đảm bảo tính đồng nhất về mặt hình học. Kích thước nhỏ gọn và độ dày mỏng của tấm chèn giúp giảm thời gian gia nhiệt, đồng thời cho phép quan sát rõ ràng sự thay đổi nhiệt độ trên toàn bộ bề mặt.



Hình 3.3. Thiết kế tấm chèn

4. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

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. Hình 4.1 là gia nhiệt khí nóng cho tấm chèn lắp trên khuôn âm.

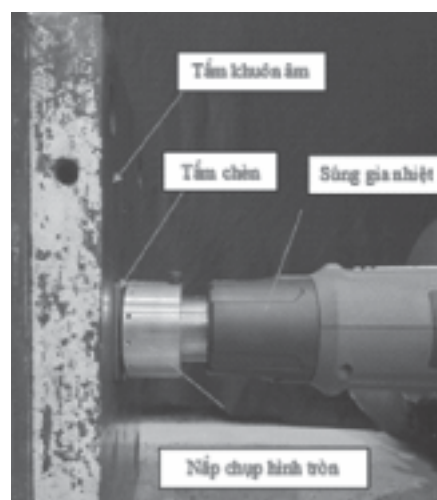
Với nhiệt độ môi trường là 25°C và hệ số truyền nhiệt là $10 \text{ W/m}^2\text{K}$, tất cả các bề mặt bên ngoài của tấm khuôn được cấu hình cho đối lưu tự do vào không khí như là phương thức truyền nhiệt. Để cải thiện hiệu quả làm nóng, một tấm chèn cũng được tích hợp vào bộ thiết lập thí nghiệm gần trung tâm khoang. Mô phỏng sử dụng khoảng nhiệt độ từ 200°C đến 650°C cho đầu vào khí.

Quá trình gia nhiệt được thực hiện bằng cách sử dụng khí nóng ở nhiệt độ 650°C , được phun qua nắp khí và tiếp xúc trực tiếp với tấm chèn. Thời gian gia nhiệt được cố định ở 10 giây để đảm bảo tính nhất quán giữa các thí nghiệm. Tấm chèn được gắn trên khuôn âm, như minh họa trong Hình 4.1, để mô phỏng điều kiện thực tế trong sản xuất.

- Hình 4.1 – Gia nhiệt cho tấm chèn gắn trên khuôn âm: Hình ảnh này cho thấy cách tấm chèn được cố định trên khuôn âm, với nắp khí được đặt phía trên để phun khí nóng. Thiết kế khuôn âm đảm bảo rằng tấm chèn được giữ cố định trong suốt quá trình gia nhiệt, đồng thời cho phép dòng khí nóng tiếp xúc đều với bề mặt tấm. Hệ thống cảm biến nhiệt độ được bố trí để ghi lại sự phân bố nhiệt độ trên tấm chèn trong thời gian thực.

Kết quả phân bố nhiệt độ trên tấm chèn

được quan sát và phân tích thông qua Hình 3. Hình ảnh này cung cấp thông tin trực quan về sự thay đổi nhiệt độ trên bề mặt tấm chèn, với các vùng màu biểu thị các mức nhiệt độ khác nhau. Các yếu tố như khoảng cách tiêm (khoảng cách giữa nắp khí và tấm chèn), thể tích khí, chiều cao của nắp khí và số lượng lỗ thoát khí đã được điều chỉnh trong các thí nghiệm để xác định tác động của chúng đến sự đồng đều của phân bố nhiệt độ.



Hình 4.1. Gia nhiệt cho tấm chèn gắn trên khuôn âm

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình thực nghiệm được sử dụng để đánh giá bước làm nóng với nhiệt độ khí nóng đầu vào đặt ở 650°C và thời gian làm nóng là 10 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.



Từ các trường hợp thực nghiệm trình bày ở Bảng 1. Kết quả cho thấy rằng, yếu tố khoảng cách giữa đầu phun khí và bề mặt gia nhiệt được đặc trưng thông qua chiều cao khối khí, ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu suất truyền nhiệt. Cụ thể, khi chiều cao khối khí giảm từ 15 mm xuống 5 mm, nhiệt độ cực đại đo được tại bề mặt tấm chèn có xu hướng tăng dần, lần lượt đạt 182°C, 187°C và 193°C. Điều này cho thấy rằng việc giảm khoảng cách phun khí giúp khí nóng tiếp xúc gần hơn bề mặt gia nhiệt, qua đó làm tăng hiệu quả truyền nhiệt nhờ rút ngắn quãng đường tỏa nhiệt và giảm thất thoát nhiệt ra môi trường với điều kiện số lỗ thoát khí phải ít. Tuy nhiên, khi khoảng cách phun khí tăng (chiều cao khối khí lớn hơn), mặc dù nhiệt độ cực đại có phần giảm, nhưng quan sát thực nghiệm đo đạc cho thấy sự phân bố nhiệt trên bề mặt tấm chèn trở nên đồng đều hơn. Điều này được giải thích là do dòng khí nóng có xu hướng trải rộng và tăng tốc khi đi qua nắp chụp khí, tạo ra hiệu ứng khuếch tán nhiệt độ tốt hơn trên toàn bộ bề mặt tấm gia nhiệt.



Hình 5.1. Chiều cao khối khí 15 mm



Hình 5.2. Chiều cao khối khí 10 mm



Hình 5.3. Chiều cao khối khí 5 mm

Từ những phân tích trên, có thể nhận định rằng chiều cao khối khí (hay khoảng cách phun) đóng vai trò quan trọng trong việc điều khiển quá trình gia nhiệt bằng khí, là một tham số then chốt ảnh hưởng đến cả nhiệt độ cực đại và tính đồng đều của quá trình gia nhiệt. Khoảng cách phun ngắn giúp đạt được nhiệt độ cao nhanh chóng tại bề mặt gia nhiệt nhưng có thể dẫn đến phân bố nhiệt độ không đều, trong khi khoảng cách phun dài hơn cải thiện sự đồng đều nhiệt độ nhưng nhiệt độ cực đại giảm. Số lỗ thoát khí cũng đóng vai trò quan trọng giúp nhiệt độ được giữ ổn định trong khi gia nhiệt bằng khí nóng. Trong các ứng dụng yêu cầu đạt nhiệt độ cao nhanh chóng (như gia nhiệt nhanh trước ép phun), chiều cao nhỏ sẽ phù hợp hơn. Ngược lại, với các ứng dụng yêu cầu nhiệt phân bố đều thì chiều cao lớn sẽ là lựa chọn tối ưu.

Bảng 1. Bảng thông số kết quả của quá trình thực nghiệm đo đạc

	Chiều cao khối khí (mm)	Lỗ thoát khí	Nhiệt độ cao nhất (°C)	Thời gian (giây)
Vuông	15mm	16 lỗ	182°C	10 giây
	10mm	16 lỗ	187°C	10 giây
	5mm	16 lỗ	193°C	10 giây

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 35 mm, đường kính lỗ ra cố định là 2,5 mm và có 16 lỗ ra khí. Nhiệt độ đầu vào 650°C và thời gian phun khí là 10 giây. Thông qua phân tích các trường hợp chiều cao khối khí khác nhau (5mm, 10mm, 15mm), cho thấy khoảng cách phun ngắn hơn giúp tăng đáng kể nhiệt độ đạt được trên bề mặt tấm chèn. Cụ thể, chiều cao khối khí 5 mm cho kết quả nhiệt độ cao nhất là 193°C, cao hơn 11°C so với trường hợp 15mm. Mặc dù khoảng cách phun ngắn cho hiệu suất truyền nhiệt cao hơn, các quan sát cũng chỉ ra rằng khoảng cách lớn hơn giúp cải thiện sự phân bố nhiệt đồng đều trên bề mặt sau khi gia nhiệt. Do đó, tùy thuộc vào mục tiêu ứng dụng (tối đa hóa nhiệt độ hay đảm bảo tính đồng đều nhiệt) nên chiều cao khối khí cần được lựa chọn phù hợp. Những kết quả thực nghiệm này cho thấy hiệu quả của thiết kế nắp chụp khí trong việc tối ưu hóa quá trình làm nóng trong ép phun và cải thiện sự phân bố nhiệt độ đồng đều và hiệu quả hơn. Việc thu thập dữ liệu thực nghiệm là cơ sở hữu ích cho việc thiết kế và điều chỉnh hệ thống gia nhiệt bằng khí nóng trong các ứng dụng công nghiệp đảm bảo tính chính xác cao về kiểm soát nhiệt độ.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Võ Kim Hằng;
- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Lê Đức Thắng, Trần Thanh Thường, Trần Thanh Lam, Nguyễn Quang Sáng.

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: SV2025-354. ♦

Ngày nhận bài: 08/4/2025

Ngày phản biện: 22/4/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Khan, M., Afaq, S. K., Khan, N. U., & Ahmad, S. (2014), "Cycle time reduction in injection molding process by selection of robust cooling channel design". ISRN Mechanical Engineering.
- [2]. Chen, S. C., Jong, W. R., & Chang, J. A. (2006), "Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance of weld line". Journal of Applied Polymer Science, 101(2), 1174-1180.
- [3]. Yu, M.-C., Young, W.-B., & Hsu, P.-M. (2007), "Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system". Materials Science and Engineering: A, 460, 288-295.
- [4]. Meckley, J., & Edwards, R. (2009), "A study on the design and effectiveness of conformal cooling channels in rapid tooling inserts". The Technology Interface Journal, 10(1), 1-28.
- [5]. Hsu, F., Wang, K., Huang, C., & Chang, R. (2013), "Investigation on conformal cooling system design in injection molding". Advances in Production Engineering & Management, 8(2), 107.
- [6]. Rahim, S. Z. A., Sharif, S., Zain, A. M., Nasir, S., & Mohd Saad, R. (2016), "Improving the quality and productivity of molded parts with a new design of conformal cooling channels for the injection molding process". Advances in Polymer Technology, 35(1).
- [7]. Kitayama, S., Miyakawa, H., Takano, M., & Aiba, S. (2016), "Multi-objective optimization of injection molding process parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-10.
- [8]. Wang, Y., Yu, K.-M., & Wang, C. C. (2015), "Spiral and conformal cooling in plastic injection molding". Computer-Aided Design, 63, 1-11.
- [9]. He, B., Ying, L., Li, X., & Hu, P. (2016), "Optimal design of longitudinal conformal cooling channels in hot stamping tools". Applied Thermal Engineering, 106, 1176-1189.
- [10]. Wang, G., Zhao, G., Li, H., & Guan, Y. (2009), "Research on a new variotherm injection molding technology and its application on the molding of a large LCD panel". Polymer-Plastics Technology and Engineering, 48(7), 671-681.