

ỨNG DỤNG ANSYS TRONG PHÂN TÍCH KẾT QUẢ GIA NHIỆT BẰNG KHÍ CHO LÒNG KHUÔN PHUN ÉP NHỰA

APPLICATION OF ANSYS IN ANALYZING GAS HEATING RESULTS FOR INJECTION MOLD CAVITIES

Cao Hoàng Thông, Trần Thanh Thường, Nguyễn Hà, Huỳnh Quang Duy*

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

Email: 22144201@student.hcmute.edu.vn; thuongtt@hcmute.edu.vn;

haspkt@hcmute.edu.vn; *duyqh@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Gia nhiệt khuôn là một trong những yếu tố quyết định đến chất lượng và tính ổn định của sản phẩm trong công nghệ ép phun nhựa. Trong những năm gần đây, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng đã được nghiên cứu như một giải pháp tiềm năng nhằm nâng cao hiệu suất truyền nhiệt và giảm thiểu thời gian chu kỳ. Nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng và phân tích quá trình truyền nhiệt bên trong lòng khuôn hình chữ nhật khi sử dụng khí nóng làm nguồn gia nhiệt. Dựa trên mô hình 3D và các điều kiện biên thực tế, nghiên cứu đánh giá được sự phân bố nhiệt độ, hiệu suất gia nhiệt, cũng như các yếu tố ảnh hưởng như tốc độ dòng khí, vị trí đầu phun và vật liệu khuôn. Kết quả mô phỏng phù hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trước đó và cho thấy tiềm năng rõ rệt của việc tối ưu hóa thông số gia nhiệt nhằm cải thiện độ đồng đều nhiệt và chất lượng sản phẩm. Những phân tích này góp phần làm rõ cơ chế truyền nhiệt trong khuôn, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế hệ thống gia nhiệt hiệu quả hơn trong công nghệ ép phun nhựa hiện đại.

Từ khoá: Phun ép nhựa; Khuôn nhiệt; Gia nhiệt bằng khí nóng; ANSYS; Mô phỏng truyền nhiệt.

ABSTRACT

Mold heating is one of the key factors determining the quality and stability of products in plastic injection molding technology. In recent years, gas-assisted heating has been investigated as a promising solution to enhance heat transfer efficiency and reduce cycle time. This study focuses on the application of ANSYS software to simulate and analyze the heat transfer process within the mold cavity when hot gas is used as the heating source. Based on a 3D model and realistic boundary conditions, the study evaluates temperature distribution, heating efficiency, and various influencing factors such as heating time, number of vent holes, nozzle height, inlet temperature, and insert plate thickness. The simulation results are consistent with previous experimental studies and clearly demonstrate the potential of optimizing heating parameters to improve thermal uniformity and product quality. These analyses help clarify the heat transfer mechanism inside the mold and provide a scientific basis for designing more efficient heating systems in modern injection molding technology.

Keywords: Injection molding; Mold heating; ANSYS; Gas-assisted heating; Heating transfer simulation.

1. TỔNG QUAN

Công nghệ phun ép nhựa là một trong những phương pháp sản xuất phổ biến nhất trong ngành công nghiệp chế tạo, đặc biệt trong việc sản xuất các sản phẩm nhựa có độ chính xác cao như linh kiện ô tô, thiết bị y tế và sản phẩm tiêu dùng [1]. Quá trình phun ép nhựa bao gồm việc nung chảy nhựa, bơm vào khuôn và làm nguội để tạo hình sản phẩm. Một trong các yếu tố quyết định chất lượng sản phẩm là khả năng kiểm soát nhiệt độ của lòng khuôn, nơi nhựa được định hình [2]. Nhiệt độ khuôn không chỉ ảnh hưởng đến tính chất cơ học của sản phẩm mà còn tác động đến thời gian chu kỳ sản xuất và độ bền của khuôn [3].

Hệ thống gia nhiệt lòng khuôn truyền thống thường sử dụng nước nóng hoặc dầu, nhưng những phương pháp này có hạn chế về hiệu suất truyền nhiệt và thời gian đáp ứng nhiệt [4]. Trong những năm gần đây, gia nhiệt bằng khí nóng đã nổi lên như một giải pháp thay thế tiềm năng nhờ khả năng truyền nhiệt nhanh, kiểm soát nhiệt độ chính xác và giảm thiểu tổn thất năng lượng [5]. Tuy nhiên, việc áp dụng gia nhiệt bằng khí đòi hỏi phân tích kỹ lưỡng các đặc tính nhiệt và dòng chảy trong lòng khuôn để đảm bảo hiệu quả và chất lượng sản phẩm [6]. Đây là nơi phần mềm mô phỏng như ANSYS đóng vai trò quan trọng, cho phép các nhà thiết kế phân tích và tối ưu hóa quá trình gia nhiệt trước khi triển khai thực tế [7].

(*) Tổng quan về ANSYS và ứng dụng trong mô phỏng nhiệt

ANSYS là một phần mềm mô phỏng kỹ thuật đa năng, được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như cơ học, nhiệt học, động lực học chất lỏng và phân tích kết cấu [8]. Trong lĩnh vực phun ép nhựa, ANSYS cung cấp các

công cụ mạnh mẽ để mô phỏng quá trình truyền nhiệt, dòng chảy nhựa và ứng suất cơ học trong lòng khuôn [9]. Đặc biệt, mô-đun ANSYS Fluent và ANSYS Mechanical cho phép phân tích chi tiết các hiện tượng nhiệt và dòng chảy trong các hệ thống gia nhiệt bằng khí, từ đó dự đoán các vấn đề tiềm ẩn như phân bố nhiệt độ không đồng đều hoặc biến dạng khuôn [10].

So với các phần mềm khác như Moldflow hay COMSOL, ANSYS nổi bật nhờ khả năng tích hợp nhiều lĩnh vực vật lý trong một nền tảng duy nhất, giúp các kỹ sư thực hiện phân tích đa vật lý (multi-physics) một cách hiệu quả [11]. Ví dụ, trong phân tích gia nhiệt bằng khí, ANSYS có thể mô phỏng đồng thời quá trình truyền nhiệt đối lưu của khí nóng, truyền nhiệt dẫn qua lòng khuôn và sự thay đổi nhiệt độ của nhựa lỏng trong suốt chu kỳ phun ép [12]. Điều này không chỉ cải thiện độ chính xác của mô phỏng mà còn giảm thời gian và chi phí thiết kế [13].

(*) Gia nhiệt bằng khí trong phun ép nhựa: Cơ chế và thách thức

Gia nhiệt bằng khí hoạt động dựa trên nguyên lý truyền nhiệt đối lưu, trong đó khí nóng được thổi qua các kênh dẫn trong lòng khuôn để tăng nhiệt độ bề mặt khuôn trước khi nhựa được bơm vào [5]. Phương pháp này có một số ưu điểm vượt trội so với gia nhiệt bằng nước hoặc dầu, bao gồm khả năng đạt nhiệt độ cao trong thời gian ngắn, giảm thời gian chu kỳ và cải thiện chất lượng bề mặt sản phẩm [6]. Tuy nhiên, gia nhiệt bằng khí cũng đối mặt với nhiều thách thức, chẳng hạn như khó khăn trong việc kiểm soát dòng khí đồng đều, sự mất nhiệt qua môi trường và nguy cơ quá nhiệt ở một số khu vực của khuôn [14].

Để giải quyết các thách thức này, cần thiết phải sử dụng các công cụ mô phỏng như 

ANSYS để phân tích đặc tính nhiệt và dòng chảy của khí trong hệ thống gia nhiệt. Ví dụ, ANSYS Fluent có thể mô phỏng dòng khí nóng trong các kênh dẫn, dự đoán sự phân bố nhiệt độ và xác định các điểm nóng (hot spots) hoặc vùng nhiệt độ thấp trong lòng khuôn [10]. Kết quả mô phỏng này giúp các kỹ sư tối ưu hóa thiết kế kênh dẫn khí, điều chỉnh lưu lượng và nhiệt độ khí để đạt được hiệu suất gia nhiệt tối ưu [12].

(*) Ứng dụng cụ thể của ANSYS trong phân tích gia nhiệt bằng khí

Trong nghiên cứu về gia nhiệt bằng khí cho lòng khuôn phun ép nhựa, ANSYS được sử dụng để thực hiện các phân tích sau:

- Phân tích dòng chảy khí nóng: Sử dụng ANSYS Fluent, các nhà nghiên cứu có thể mô phỏng dòng chảy của khí nóng trong các kênh dẫn bên trong khuôn, từ đó đánh giá hiệu quả truyền nhiệt và xác định các vùng có dòng chảy rối hoặc tắc nghẽn [9]. Điều này đặc biệt quan trọng trong các khuôn có hình dạng phức tạp, nơi dòng khí có thể không phân bố đồng đều.

- Phân tích truyền nhiệt: ANSYS Mechanical và Fluent cho phép mô phỏng quá trình truyền nhiệt từ khí nóng sang bề mặt khuôn và từ khuôn sang nhựa lỏng [10]. Kết quả phân tích giúp xác định thời gian cần thiết để đạt nhiệt độ khuôn mong muốn và dự đoán sự phân bố nhiệt độ trên toàn bộ lòng khuôn.

- Phân tích ứng suất nhiệt: Nhiệt độ cao và sự thay đổi nhiệt độ nhanh trong quá trình gia nhiệt bằng khí có thể gây ra ứng suất nhiệt trong khuôn, dẫn đến biến dạng hoặc nứt gãy [13]. ANSYS Mechanical cung cấp các công cụ để phân tích ứng suất và biến dạng, từ đó đề

xuất các giải pháp thiết kế nhằm tăng độ bền của khuôn.

Tối ưu hóa thiết kế: Dựa trên kết quả mô phỏng, các kỹ sư có thể điều chỉnh các thông số như đường kính kênh dẫn khí, tốc độ dòng khí và nhiệt độ đầu vào để tối ưu hóa hiệu suất gia nhiệt và giảm tiêu thụ năng lượng [12]. ANSYS DesignXplorer còn cho phép thực hiện phân tích tối ưu hóa tham số, giúp tìm ra cấu hình thiết kế tốt nhất trong thời gian ngắn.

(*) Lợi ích và hạn chế của việc sử dụng ANSYS trong phân tích gia nhiệt bằng khí

Việc ứng dụng ANSYS trong phân tích gia nhiệt bằng khí mang lại nhiều lợi ích, bao gồm:

- Độ chính xác cao: ANSYS cung cấp các thuật toán mô phỏng tiên tiến, đảm bảo kết quả phân tích sát với thực tế [8].

- Tiết kiệm thời gian và chi phí: Mô phỏng trước khi sản xuất giúp phát hiện các vấn đề thiết kế sớm, giảm thiểu chi phí thử nghiệm thực tế [11].

- Khả năng tích hợp đa vật lý: ANSYS cho phép phân tích đồng thời các hiện tượng nhiệt, dòng chảy và cơ học, cung cấp cái nhìn toàn diện về hiệu suất hệ thống [12].

Tuy nhiên, phương pháp này cũng có một số hạn chế. Thứ nhất, ANSYS yêu cầu người dùng có kiến thức chuyên môn về mô phỏng và kỹ thuật để thiết lập mô hình và phân tích kết quả một cách chính xác [9]. Thứ hai, việc mô phỏng các hệ thống phức tạp đòi hỏi phần cứng mạnh mẽ và thời gian tính toán dài, đặc biệt khi phân tích các khuôn có hình dạng chi tiết [10]. Cuối cùng, kết quả mô phỏng phụ

thuộc nhiều vào chất lượng dữ liệu đầu vào, chẳng hạn như đặc tính vật liệu và điều kiện biên [13].

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

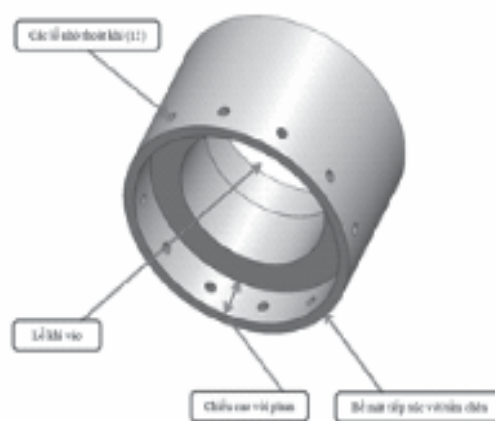
Trong công nghệ ép phun, kiểm soát nhiệt độ khuôn là yếu tố quan trọng nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm và rút ngắn chu kỳ sản xuất. Nhiều phương pháp gia nhiệt đã được nghiên cứu như: tia hồng ngoại, laser, cảm ứng, lửa trực tiếp và khí nóng. Trong đó, gia nhiệt bằng khí nóng nổi bật nhờ khả năng làm nóng nhanh, linh hoạt và chi phí thấp. Tuy nhiên, thách thức lớn là kiểm soát phân bố nhiệt đồng đều trong khuôn, đặc biệt với khuôn có hình dạng phức tạp. Để tối ưu hóa hiệu quả gia nhiệt, việc thiết kế hệ thống dẫn khí, chọn thông số vận hành và vật liệu khuôn phù hợp là rất cần thiết. Phần mềm ANSYS được sử dụng như một công cụ mô phỏng mạnh mẽ để phân tích quá trình truyền nhiệt, giúp đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến nhiệt độ phân bố. Qua đó, hỗ trợ thiết kế và tối ưu hệ thống gia nhiệt bằng khí trong ép phun hiện đại.

3. MÔ PHỎNG

Trong các quy trình gia nhiệt công nghiệp, việc kiểm soát và tối ưu hóa phân bố nhiệt độ trên bề mặt vật liệu đóng vai trò quan trọng để đảm bảo chất lượng sản phẩm. Một trong những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình này là thiết kế của nắp khí, được sử dụng để dẫn khí nóng đến bề mặt vật liệu cần gia nhiệt. Nội dung bài viết này tập trung vào phân tích thiết kế nắp khí, ứng dụng của nó trong quá trình làm nóng, và đánh giá phân bố nhiệt độ trên tấm chèn thông qua các thí nghiệm thực tế. Các hình minh họa, bao gồm Hình 3.1 và Hình 3.2, được sử dụng để làm rõ các khía cạnh kỹ thuật của thiết kế và kết quả thí nghiệm.

(*) Thiết kế của nắp khí

Thiết kế của nắp khí được trình bày chi tiết trong Hình 3.1. Nắp khí được thiết kế với mục tiêu tối ưu hóa luồng khí nóng phun lên bề mặt tấm chèn, đảm bảo phân bố nhiệt độ đồng đều và hiệu quả năng lượng cao. Cấu trúc của nắp khí bao gồm một hệ thống các lỗ phun được bố trí theo mô hình cụ thể, cho phép khí nóng được phân phối đều trên bề mặt vật liệu. Kích thước và số lượng lỗ phun, cũng như khoảng cách từ nắp khí đến tấm chèn (gọi là khoảng cách phun), là các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất gia nhiệt.



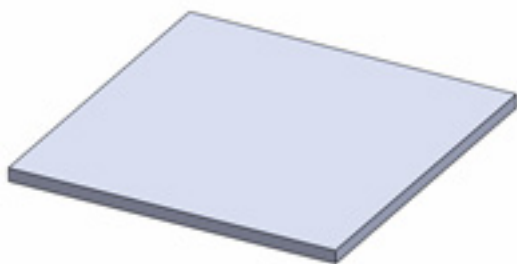
Hình 3.1. Thiết kế nắp chụp khí

Trong thiết kế được mô tả ở Hình 3.1, nắp khí có độ dày cố định là 2 mm, được chế tạo từ vật liệu chịu nhiệt để đảm bảo độ bền trong điều kiện nhiệt độ cao. Các lỗ phun được bố trí theo lưới hình học, với đường kính lỗ và khoảng cách giữa các lỗ được tính toán cẩn thận để tối ưu hóa luồng khí. Thiết kế này không chỉ giúp tăng cường hiệu quả truyền nhiệt mà còn giảm thiểu tổn thất năng lượng trong quá trình làm nóng. Hình 3.1 cung cấp cái nhìn trực quan về cấu trúc nắp khí, bao gồm các thông số kỹ thuật chính như kích thước lỗ, số lượng lỗ, và hình dạng tổng thể của nắp. 

(*) Thiết kế và đặc điểm của tấm chèn

Tấm chèn, như được mô tả trong Hình 3.2, là đối tượng chính được gia nhiệt trong thí nghiệm. Tấm chèn có kích thước mặt phẳng là 50 x 50 mm, với độ dày thay đổi từ 2 mm đến 10 mm, tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể của từng thí nghiệm. Vật liệu chế tạo tấm chèn được lựa chọn dựa trên khả năng dẫn nhiệt và độ bền ở nhiệt độ cao, nhằm đảm bảo rằng tấm có thể chịu được các điều kiện khắc nghiệt trong quá trình gia nhiệt mà không bị biến dạng hoặc hư hỏng.

Hình 3.2 minh họa chi tiết cấu trúc của tấm chèn, bao gồm các kích thước hình học và vị trí bề mặt tiếp xúc với luồng khí nóng từ nắp khí. Bề mặt tấm chèn được gia công phẳng để đảm bảo tiếp xúc tối ưu với luồng khí, từ đó cải thiện hiệu quả truyền nhiệt. Độ dày của tấm chèn là một yếu tố quan trọng, vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền nhiệt từ bề mặt tiếp xúc vào bên trong vật liệu. Các tấm chèn với độ dày khác nhau được sử dụng trong thí nghiệm để đánh giá tác động của yếu tố này lên sự phân bố nhiệt độ.



Hình 3.2. Thiết kế tấm chèn

(*) Thí nghiệm và phân tích phân bố nhiệt độ

Để đánh giá hiệu quả của thiết kế nắp khí và tác động của các thông số vận hành lên quá trình gia nhiệt, một loạt thí nghiệm đã được tiến hành. Các thí nghiệm tập trung vào việc phân tích sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt tấm

chèn trong các điều kiện khác nhau, bao gồm khoảng cách phun, thời gian gia nhiệt, chiều cao nắp khí, số lượng lỗ phun, và độ dày của tấm chèn. Các thông số chính của thí nghiệm bao gồm:

- Nhiệt độ đầu vào của khí nóng: Dao động từ 400°C đến 480°C, đại diện cho các điều kiện nhiệt độ cao thường gặp trong các ứng dụng công nghiệp.
- Thời gian gia nhiệt: Từ 10 đến 30 giây, cho phép đánh giá sự thay đổi của phân bố nhiệt độ theo thời gian.
- Độ dày tấm chèn: Thay đổi từ 2 mm đến 10 mm, nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của độ dày đến hiệu quả truyền nhiệt.
- Khoảng cách phun: Khoảng cách giữa nắp khí và bề mặt tấm chèn được điều chỉnh để xác định giá trị tối ưu.
- Số lượng lỗ phun: Các cấu hình nắp khí với số lượng lỗ khác nhau được thử nghiệm để đánh giá tác động đến luồng khí và phân bố nhiệt.

Trong quá trình thí nghiệm, các cảm biến nhiệt độ được bố trí trên bề mặt tấm chèn để ghi lại dữ liệu về sự phân bố nhiệt độ. Kết quả cho thấy rằng các thông số như khoảng cách phun và số lượng lỗ phun có ảnh hưởng đáng kể đến tính đồng đều của nhiệt độ trên bề mặt tấm chèn. Ví dụ, khi khoảng cách phun quá nhỏ, luồng khí nóng có thể tập trung quá mức vào một khu vực, dẫn đến hiện tượng nóng cục bộ. Ngược lại, khi khoảng cách phun quá lớn, hiệu quả truyền nhiệt giảm do sự phân tán của luồng khí.

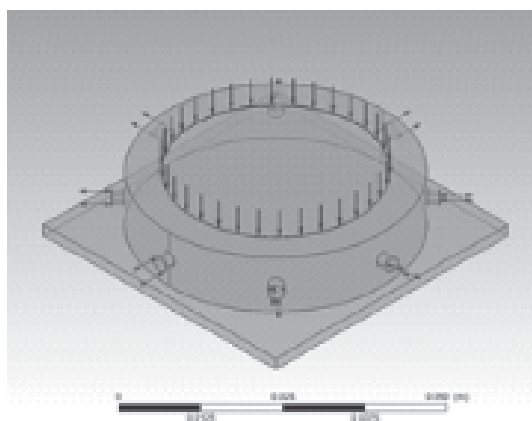
Thời gian gia nhiệt cũng là một yếu tố quan trọng. Với các tấm chèn mỏng (2 mm),

hiệt độ bề mặt tăng nhanh trong 10 giây đầu tiên, nhưng với các tấm dày hơn (10 mm), cần thời gian dài hơn để đạt được sự phân bố nhiệt độ đồng đều. Các kết quả này được minh họa rõ ràng thông qua các biểu đồ nhiệt độ thu thập từ thí nghiệm, mặc dù không được trình bày trực tiếp trong bài viết này.

4. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

(*) Mô phỏng phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn sử dụng phần mềm ANSYS

Trong các quy trình gia nhiệt công nghiệp, việc nghiên cứu và dự đoán phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng sản phẩm và tối ưu hóa quy trình sản xuất. Để đạt được mục tiêu này, một mô hình mô phỏng chi tiết đã được xây dựng, tập trung vào việc phân tích quá trình truyền nhiệt trong hệ thống bao gồm tấm chèn và luồng khí nóng. Mô hình được đơn giản hóa bằng cách sử dụng một lớp cách nhiệt bao quanh vùng gia nhiệt, giúp tập trung vào hai thành phần chính: tấm chèn và khí nóng. Các hình minh họa từ Hình 4.1 đến Hình 4.8 được sử dụng để trình bày các khía cạnh kỹ thuật của mô hình, từ điều kiện biên, chia lưới, đến kết quả mô phỏng.



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

(*) Thiết lập mô hình và điều kiện biên

Mô hình mô phỏng được xây dựng với mục tiêu tái hiện chính xác quá trình gia nhiệt Ex-GMTC, trong đó điều kiện biên đóng vai trò quan trọng để đảm bảo tính chân thực của kết quả. Hình 4.1 mô tả chi tiết các điều kiện biên, bao gồm thiết lập đầu vào và đầu ra cho luồng khí nóng trong phần mềm ANSYS. Nhiệt độ môi trường được đặt ở mức 25°C, với hệ số truyền nhiệt là 10 W/m²K. Tất cả các bề mặt bên ngoài của mô hình được giả định đối lưu tự do vào không khí, đây là phương thức truyền nhiệt chính cho các bề mặt không tiếp xúc trực tiếp với luồng khí nóng. Nhiệt độ đầu vào của khí được thiết lập trong khoảng từ 400°C đến 480°C, tương ứng với các điều kiện thực tế trong thí nghiệm.

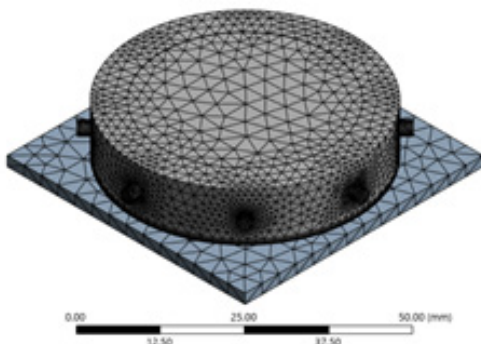
Việc thiết lập điều kiện biên như trong Hình 4.1 không chỉ giúp tái tạo các thông số vận hành thực tế mà còn đảm bảo rằng mô hình mô phỏng phản ánh đúng các đặc trưng vật lý của quá trình gia nhiệt. Các thông số này được nhập vào phần mềm ANSYS để thực hiện các phép tính phức tạp, từ đó cung cấp dữ liệu về sự phân bố nhiệt độ trên tấm chèn.

(*) Mô hình chia lưới

Để đảm bảo độ chính xác của mô phỏng, việc xây dựng lưới tính toán (meshing) là một bước quan trọng. Hình 4.2 trình bày mô hình chia lưới được thực hiện trên phần mềm ANSYS. Phần lưới của tấm chèn được tạo ra chủ yếu bằng các phần tử Hex, một loại phần tử có khả năng mô phỏng chính xác các đặc trưng hình học và vật lý của vật liệu. Để cải thiện độ chính xác tại các vùng tiếp xúc giữa tấm chèn và luồng khí nóng, 10 lớp lưới mỏng được áp dụng cho các bề mặt tiếp xúc theo phương pháp lưới phân lớp (boundary layer meshing).



Ngoài ra, một phần tử hình trụ được sử dụng để đại diện cho thể tích khí nóng trong mô hình. Phần tử này giúp mô phỏng chính xác sự chuyển động và truyền nhiệt của luồng khí từ đầu vào đến đầu ra. Hình 4.2 cung cấp cái nhìn trực quan về cấu trúc lưới, bao gồm sự phân bố các phần tử trên tấm chèn và vùng khí, đảm bảo rằng các phép tính số được thực hiện với độ chính xác cao.



Hình 4.2. Mô hình chia lưới trên phần mềm ANSYS

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 10 giây. Để tìm điều kiện tốt nhất cho quá trình làm nóng, thay đổi điều kiện nắp khí khác nhau đã được thử nghiệm. Kết quả cho thấy nhiệt độ tối đa đạt được tại khoảng cách phun ngắn hơn, cải thiện khả năng hấp thụ nhiệt của tấm chèn. Mặt khác, các khoảng cách phun 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 phun ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ và phân bố nhiệt trên tấm chèn.

Từ các trường hợp mô phỏng trình bày ở Bảng 1, giá trị nhiệt độ tối ưu nhất khi khoảng

cách phun gần với tấm chèn và khi khoảng cách phun thay đổi tăng lên thì nhiệt độ sẽ phân bố đều hơn so với phun gần. Việc này cho thấy việc điều chỉnh các tham số đem lại hiệu quả gia nhiệt tối ưu nhất.

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 10 giây. Để tìm điều kiện tốt nhất cho quá trình làm nóng, thay đổi điều kiện nắp khí khác nhau đã được thử nghiệm. Kết quả cho thấy nhiệt độ tối đa đạt được tại khoảng cách phun ngắn hơn, cải thiện khả năng hấp thụ nhiệt của tấm chèn. Mặt khác, các khoảng cách phun 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 phun ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ và phân bố nhiệt trên tấm chèn.

Từ các trường hợp mô phỏng trình bày ở Bảng 1, giá trị nhiệt độ tối ưu nhất khi khoảng cách phun gần với tấm chèn và khi khoảng cách phun thay đổi tăng lên thì nhiệt độ sẽ phân bố đều hơn so với phun gần. Việc này cho thấy việc điều chỉnh các tham số đem lại hiệu quả gia nhiệt tối ưu nhất.

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

STT	1-E ($^{\circ}\text{C}$)	2-D (mm)	3-C (lỗ)	4-B (giây)	5-A (mm)	S1 ($^{\circ}\text{C}$)
1	400	5	2	10	2	155,14
2	400	10	4	15	4	121,10
3	400	15	6	20	6	101,01
4	400	20	8	25	8	113,50
5	400	25	10	30	10	131,89

Kết quả mô phỏng cung cấp thông tin chi tiết về sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt tấm chèn, được minh họa qua các hình từ Hình 5.3 đến Hình 5.8. Cụ thể, Hình 4.3 cho thấy sự thay đổi nhiệt độ tại các vị trí khác nhau trên bề mặt tấm chèn, được biểu diễn theo các đường dọc theo trục tọa độ xOy. Biểu đồ này giúp các nhà nghiên cứu đánh giá mức độ đồng đều của nhiệt độ trên bề mặt, từ đó xác định các vùng có nguy cơ quá nhiệt hoặc nhiệt độ không đủ.

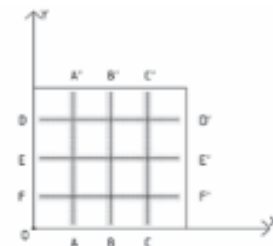
Để nghiên cứu tác động của số lượng lỗ thoát khí trên nắp khí đến phân bố nhiệt độ, một loạt mô phỏng đã được thực hiện với các cấu hình khác nhau, từ 2 đến 10 lỗ thoát khí. Các kết quả tương ứng được trình bày trong Hình 5.4 (10 lỗ thoát khí), Hình 5.5 (8 lỗ thoát khí), Hình 5.6 (6 lỗ thoát khí), Hình 5.7 (4 lỗ thoát khí), và Hình 5.8 (2 lỗ thoát khí). Các hình này minh họa sự khác biệt rõ rệt trong phân bố nhiệt độ khi số lượng lỗ thoát khí thay đổi.

Cụ thể, với cấu hình 10 lỗ thoát khí (Hình 5.4), nhiệt độ trên bề mặt tấm chèn được phân bố đồng đều hơn, do luồng khí nóng được phân tán tốt hơn. Ngược lại, khi số lượng lỗ giảm xuống còn 2 (Hình 5.8), hiện tượng tập trung nhiệt độ cục bộ xuất hiện, dẫn đến sự không đồng đều trong phân bố nhiệt. Các cấu hình với 8, 6, và 4 lỗ thoát khí (Hình 5.5, Hình 5.6, Hình 5.7) thể hiện mức độ trung gian, cung cấp dữ liệu để so sánh và tối ưu hóa thiết kế nắp khí.

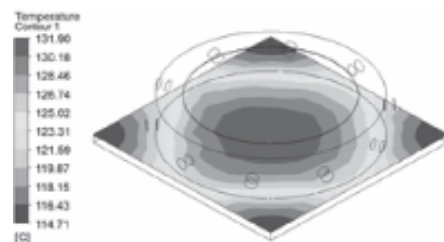
Mô phỏng sử dụng phần mềm ANSYS, như được minh họa qua các hình từ Hình 5.1 đến Hình 5.8, không chỉ giúp tái hiện chính xác quá trình gia nhiệt mà còn cung cấp cơ sở để tối ưu hóa thiết kế hệ thống. Việc phân tích sự phân bố nhiệt độ trên tấm chèn cho phép các kỹ sư xác định cấu hình nắp khí phù hợp, chẳng hạn như số lượng lỗ thoát khí tối ưu, để đạt được hiệu suất gia nhiệt cao nhất. Ngoài ra, mô

hình này có thể được mở rộng để áp dụng trong các quy trình công nghiệp khác, chẳng hạn như xử lý nhiệt kim loại, sản xuất linh kiện điện tử, hoặc gia công vật liệu composite.

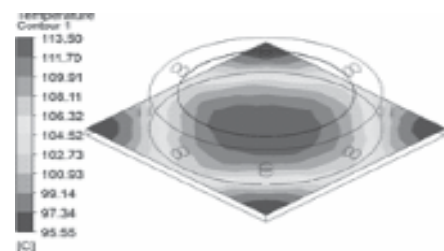
Kết quả từ các mô phỏng cũng đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu chi phí thí nghiệm thực tế. Thay vì thực hiện nhiều thử nghiệm với các cấu hình khác nhau, các nhà nghiên cứu có thể sử dụng mô hình ANSYS để dự đoán hiệu suất của hệ thống trong các điều kiện vận hành khác nhau. Điều này không chỉ tiết kiệm thời gian mà còn giúp đẩy nhanh quá trình phát triển và triển khai các giải pháp công nghệ mới.



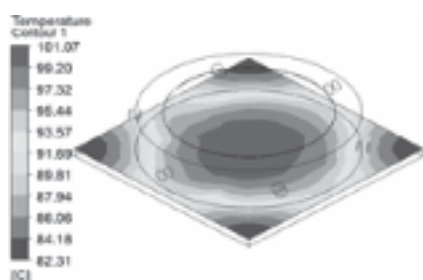
Hình 5.3. Sự thay đổi nhiệt độ tại các vị trí trên từng đường dọc theo trục tọa độ xOy



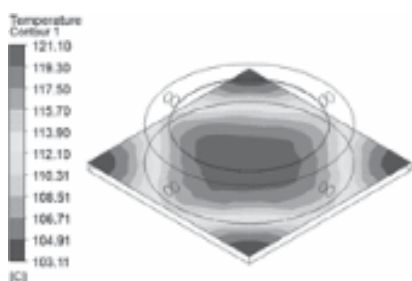
Hình 5.4. Hình ảnh kết quả mô phỏng ANSYS 10 lỗ thoát khí



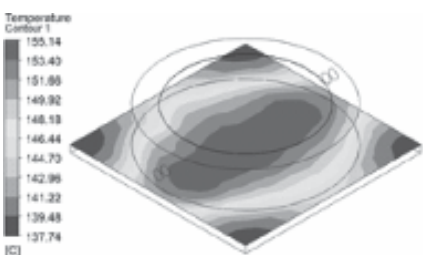
Hình 5.5. Hình ảnh kết quả mô phỏng ANSYS 8 lỗ thoát khí



Hình 5.6. Hình ảnh kết quả mô phỏng ANSYS 6 lỗ thoát khí



Hình 5.7. Hình ảnh kết quả mô phỏng ANSYS 4 lỗ thoát khí



Hình 5.8. Hình ảnh kết quả mô phỏng ANSYS 2 lỗ thoát khí

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 của các sản phẩm từ ép phun, nghiên cứu này đã tiến hành các tính toán và mô phỏng độc lập từng điều kiện của nắp chụp khí. Một loạt các loại nắp khí đã được thiết với các kích thước cố định: đường kính lỗ đầu vào là 35 mm, đường kính lỗ ra cố định là 3 mm và có 10 lỗ ra khí. Khoảng cách

giữa các lỗ vào và ra cũng được giữ ở mức 36° trên mỗi lỗ. Mô phỏng cho thấy nhiệt độ đạt được tối ưu nhất ở điều kiện chiều cao phun nhỏ, tuy nhiên khi chiều cao phun khí tăng lên thì nhiệt độ của tấm chèn đồng đều hơn. Việc ứng dụng ANSYS để đánh giá kết quả gia nhiệt cho lòng khuôn đem lại hiệu quả cao và tối ưu năng suất làm việc.

(*) 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: Cao Hoàng Thông, Trần Thanh Thương, Nguyễn Hà, Huỳnh Quang Duy.

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: SV2025-337.❖

Ngày nhận bài: **08/4/2025**

Ngày phản biện: **22/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. 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, 1174-1180. <https://doi.org/10.1002/app.23446>
- [2]. Yao, D., Kimerling, T. E., & Kim, B. (2006), "High-frequency proximity heating for injection molding applications". Polymer Engineering & Science, 46, 938-945. <https://doi.org/10.1002/polb.20446>

doi.org/10.1002/pen.20566

- [3]. Li, X. P., Wang, G., & Guan, Y. J. (2010), "Research of thermal response simulation and mold structure optimization for rapid heat cycle molding process, respectively, with steam heating and electric heating". *Materials & Design*, 31, 4720-4730. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.05.039>
- [4]. Poszwa, P., Muszyński, P., & Mrozek, K. (2020), "Numerical study on the influence of RHCM on the basic parameters of filling the cavity". *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 30, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.05.002>
- [5]. Li, J., Li, T., Xu, F., & Jiang, S. (2019), "A quantitative evaluation of the appearance quality of weld lines in RHCM parts". *Emerging Materials Research*, 8, 253-257. <https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00128>
- [6]. Chen, S. C., Chiu, C. H., & Tsai, K. C. (2009), "Effect of cavity surface coating on mold temperature variation and the quality of injection molded parts". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 5646-5653. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.07.016>
- [7]. Kitayama, S., Ishizuki, R., Takano, M., Kubo, Y., & Aiba, S. (2019), "Optimization of mold temperature profile and process parameters for weld line reduction and short cycle time in rapid heat cycle molding". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 1735-1744. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03567-3>
- [8]. Sánchez, R., Martínez, A., Mercado, D., Carbonel, A., & Aisa, J. (2021), "Rapid heating injection moulding: An experimental surface temperature study". *Polymer Testing*, 93, 106928. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106928>
- [9]. Chen, S. C., Chiu, C. H., & Tsai, K. C. (2009), "Effect of cavity surface coating on mold temperature variation and the quality of injection molded parts". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 965-970. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.06.012>
- [10]. Lin, Y. W., Tsai, K. C., & Chen, S. C. (2009), "Mold temperature variation for assisting micro molding of DVD micro-featured substrate and dummy using pulsed-cooling". *Sensors and Actuators A: Physical*, 152(2), 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.04.019>
- [11]. Chen, S. C., Jong, W. R., & Hsu, H. T. (2009), "Optimal design of heating channels for rapid heating cycles injection mold based on response surface and genetic algorithm". *Materials & Design*, 30, 4629-4639. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.04.048>
- [12]. Huzaim, N. H., Rahim, S. Z., Musa, L., Abdellah, A. E.-H., Abdullah, M. M. A. B., Rennie, A., Rahman, R., Garus, S., Błoch, K., & Sandu, A. V. (2022), "Potential of rapid tooling in rapid heat cycle molding: A review". *Materials*, 15, 3725. <https://doi.org/10.3390/ma15103725>
- [13]. Wang, G. L., Yao, D., & Kimerling, T. E. (2005), "3D numerical simulation of transient temperature field for lens mold embedded with heater". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1192-1200. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2005.06.011>
- [14]. Li, X. P., Zhao, G. Q., & Guan, Y. J. (2011), "Characteristic of rapid heating cycle moulding and warpage analysis of products". *Plastics, Rubber and Composites*, 40, 425-432. <https://doi.org/10.1179/1743289810Y.00000000019>
- [15]. Zhao, G., Wang, G., Guan, Y., & Li, H. (2011), "Research and application of a new rapid heat cycle molding with electric heating and coolant cooling to improve the surface quality of large LCD TV panels". *Polymer Advanced Technologies*, 22, 476-487. <https://doi.org/10.1002/pat.1551>