

## ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT CHO LÒNG KHUÔN HÌNH CHỮ NHẬT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHUN KHÍ NÓNG TỪ BÊN NGOÀI

### EVALUATION OF HEATING PROCESS FOR THE RECTANGULAR MOLD CAVITY BY EXTERNAL GAS-ASSISTED HEATING

Phạm Sơn Minh<sup>1</sup>, Đỗ Thành Trung<sup>1</sup>, Nguyễn Hộ<sup>2</sup>, Phan Thế Nhân<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

<sup>2</sup>Trường Đại Học Công Nghệ Đồng Nai

<sup>3</sup>Trường Cao Đẳng Nghề Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM

Ngày tòa soạn nhận bài 23/3/2015, ngày phản biện đánh giá 6/4/2015, ngày chấp nhận đăng 10/4/2015

#### TÓM TẮT

Nhằm nâng cao nhiệt độ bề mặt lòng khuôn hình chữ nhật trước khi nhựa nóng chảy được ép vào khuôn phun ép, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn bằng khí nóng đã được ứng dụng. Trong nghiên cứu này, nguồn khí nóng 200 °C đã được sử dụng cho quá trình gia nhiệt bề mặt khuôn với bề mặt gia nhiệt hình chữ nhật có kích thước 175 mm x 12 mm. Thông qua quá trình mô phỏng với phần mềm ANSYS, phương pháp này cho thấy phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn khá tốt. Bên cạnh đó, phương pháp mô phỏng cũng cho thấy khả năng dự đoán khá chính xác giá trị nhiệt độ tại bề mặt khuôn. Ngoài ra, phương pháp thực nghiệm cũng đã được sử dụng để khảo sát nhiệt độ của bề mặt khuôn theo thời gian gia nhiệt. Kết quả thí nghiệm cho thấy nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ tăng nhanh trong 10 s đầu của quá trình gia nhiệt, sau đó, trong 20 s tiếp theo, giá trị này sẽ tăng chậm và ổn định sau 30 s. Tại thời điểm ổn định, nhiệt độ tại các điểm khảo sát dao động trong khoảng 83.5°C đến 95°C.

**Từ khóa:** Phun ép, khuôn, gia nhiệt bằng khí nóng.

#### ABSTRACT

For enhancing surface temperature of the rectangular mold cavity before injecting melt plastic into the mold, a gas assisted mold heating method (GAMH) was applied. In this research, a 200°C air flow source was used for heating the rectangular mold cavity with the heating area size of 175mm x 12mm. Based on the simulated results with ANSYS CFX, it was clear that the GAMH had a good temperature distribution on the cavity surface of mold. Also, the simulated method showed the ability to predict quite accurately the temperature value on the cavity surface of mold. In addition, experiments were conducted to examine the temperature on the surface temperature as a function of heating time. The experimental results showed that the mold surface temperature increased rapidly in the first 10s, slowly in the next 20s, and became stable after that. At the stable state, the temperature values of several considered points of the mold varied from 83.5°C to 95°C.

**Keywords:** Injection molding, mold, gas assisted mold heating.

#### 1. GIỚI THIỆU

Phun ép là công nghệ phun nhựa nóng chảy được định lượng chính xác vào trong lòng một khuôn đóng kín với áp lực cao và tốc độ nhanh, sau thời gian ngắn, sản phẩm được định hình, và khi đạt đến nhiệt độ nguội theo

yêu cầu, sản phẩm được lấy ra ngoài. Sau đó, chu kỳ phun ép tiếp theo sẽ được tiến hành. Thời gian từ lúc đóng khuôn, phun nhựa, định hình sản phẩm, lấy sản phẩm ra khỏi khuôn, đóng khuôn gọi là chu kỳ của một lần ép sản phẩm. Trong quá trình điền nhựa vào khuôn

với sản phẩm thành mỏng, những lớp nhựa tiếp xúc với thành của khuôn (bề mặt khuôn ở nhiệt độ thấp) sẽ đông lại. Quá trình đông lại ở bề mặt tiếp xúc với khuôn sẽ làm giảm áp lực của dòng nhựa làm cho nhựa sẽ không điền đầy được lòng khuôn [1, 2].

Hiện nay, sản phẩm nhựa rất đa dạng, từ hình dáng đơn giản đến phức tạp, từ kích thước lớn đến kích thước nhỏ. Với sự phát triển của xã hội, yêu cầu mới với công nghệ phun ép luôn được được đặt ra, một trong những yêu cầu cấp thiết nhất là chế tạo các sản phẩm nhựa bằng công nghệ phun ép với bề dày ở nhỏ hơn 1 mm phục vụ cho các chip sinh học, các thiết bị quang học,... Từ các yêu cầu này, nhằm khắc phục hiện tượng đông đặc quá nhanh của dòng nhựa chảy trong lòng khuôn, phương pháp nâng cao nhiệt độ bề mặt lòng khuôn đã được đề xuất [3, 4].

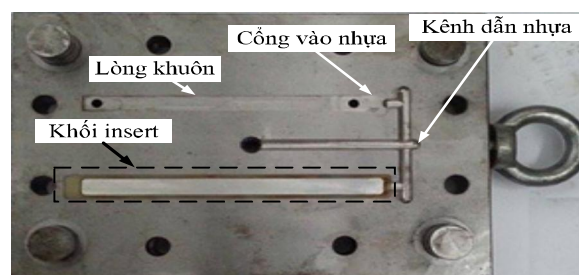
Trong nghiên cứu của *Chen et.al*, nhiệt độ tấm khuôn được nâng từ 60 °C đến 100 °C, sau đó quá trình điền đầy nhựa nóng chảy vào lòng khuôn được tiến hành [2, 4]. Trong bài báo này, các mức nhiệt độ khác nhau đã được trình bày. Kết quả cho thấy thời gian để nâng nhiệt độ khuôn từ 60 °C đến 100 °C với lưu chất gia nhiệt là nước, sẽ kéo dài 53 s. Với phương pháp này, thời gian chu kỳ sẽ kéo dài, do đó, hiệu quả kinh tế sẽ giảm rõ rệt. Để rút ngắn thời gian gia nhiệt cho khuôn, các phương pháp gia nhiệt bề mặt khuôn đã được nghiên cứu [5 – 8]. Trong đó, phương pháp dùng khí nóng để nâng nhiệt độ lòng khuôn đang được nhiều nhà nghiên cứu tập trung khai thác [7 – 8]. Một trong những khó khăn

của phương pháp này là khả năng điều khiển dòng khí nóng nhằm giảm chênh lệch nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn. Do đó, nghiên cứu này sẽ tập trung ứng dụng công cụ CAE (Computer assisted Engineering) nhằm phân tích và dự đoán kết quả gia nhiệt bằng khí nóng cho một bộ khuôn thực tế với lòng khuôn hình chữ nhật. Thông qua mô phỏng trên phần mềm ANSYS CFX, các giá trị nhiệt độ và sự phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn sẽ được xác định. Sau đó, thí nghiệm gia nhiệt sẽ được tiến hành nhằm khảo sát nhiệt độ của bề mặt khuôn theo thời gian gia nhiệt, cũng như đánh giá độ chính xác của kết quả mô phỏng.

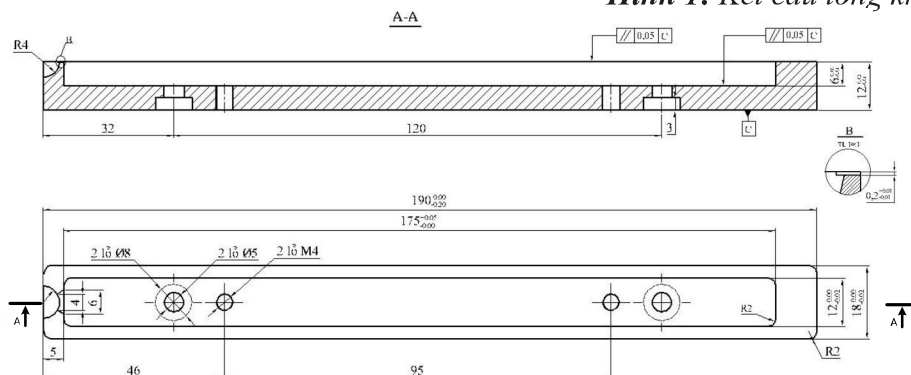
## 2. MÔ PHỎNG VÀ THÍ NGHIỆM

Trong nghiên cứu này, khuôn phun ép dùng cho quá trình thí nghiệm về dòng chảy nhựa được sử dụng cho quá trình nghiên cứu khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng. Kết cấu lòng khuôn cần gia nhiệt được trình bày như Hình 1.

Tấm khuôn dùng cho quá trình thí nghiệm sẽ được gia công với một lòng khuôn và một cổng vào nhựa. Tại bề mặt cần gia nhiệt, lòng khuôn được cách nhiệt bởi vật liệu nhựa chịu nhiệt và có kích thước như Hình 2.

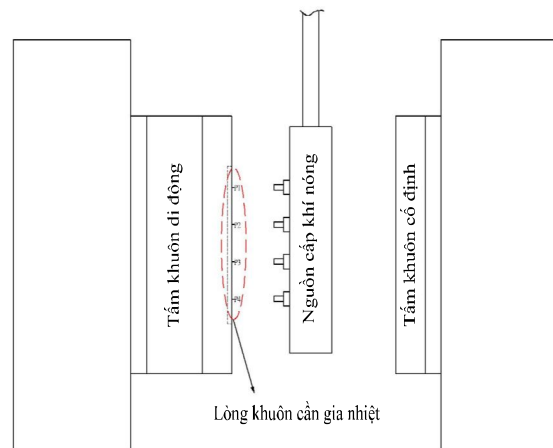


Hình 1: Kết cấu lòng khuôn.

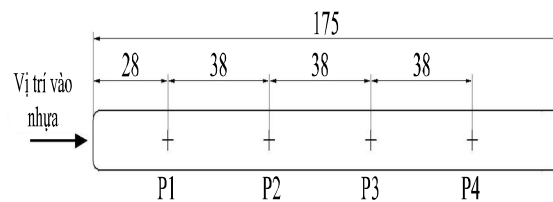


Hình 2: Kích thước bộ phận cách nhiệt cho lòng khuôn.

Trong qui trình phun ép truyền thống, sau khi một chu kỳ phun ép được hoàn thành, hai tấm khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được đẩy ra khỏi lòng khuôn. Sau đó, hai tấm khuôn sẽ đóng lại và một chu kỳ phun ép mới sẽ được bắt đầu. Tuy nhiên, với qui trình phun ép nhựa với sự hỗ trợ của khí nóng trong quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn, sau khi sản phẩm được đẩy ra khỏi lòng khuôn, cơ cấu tay máy sẽ đưa nguồn nhiệt vào giữa hai tấm khuôn, sau đó, khí nóng từ nguồn nhiệt này sẽ được phun trực tiếp lên vị trí cần gia nhiệt cho lòng khuôn. Vị trí của khuôn và nguồn nhiệt nóng được trình bày như Hình 3. Sau khi nhiệt độ của lòng khuôn đạt được giá trị theo yêu cầu, nguồn nhiệt sẽ được di chuyển ra ngoài khu vực khuôn, sau đó, hai tấm khuôn đóng lại và chu kỳ phun ép mới được bắt đầu.

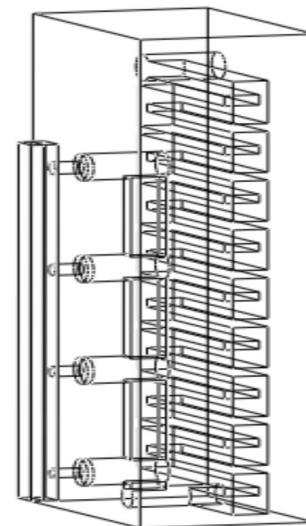


**Hình 3:** Vị trí của khuôn trong quá trình gia nhiệt.



**Hình 4:** Vị trí đo nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn

Trong lĩnh vực phun ép nhựa, phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn có ý nghĩa rất quan trọng, đây là một trong những yếu tố chính có ảnh hưởng đến độ cong vênh sản phẩm nhựa sau khi phun ép [1, 5]. Do đó, trong các thí nghiệm của nghiên cứu này, giá trị nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn sẽ được ghi nhận với 4 điểm như Hình 4. Ngoài ra, nhằm quan sát phân bố nhiệt độ tại bề mặt này, phương pháp mô phỏng cũng sẽ được thực hiện với phần mềm ANSYS. Mô hình mô phỏng được trình bày như Hình 5. Các thông số mô phỏng được cài đặt như trong thí nghiệm thực như Bảng 1.



**Hình 5:** Mô hình mô phỏng quá trình gia nhiệt bằng khí nóng.

Nhằm quan sát quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn phun ép nhựa, dòng khí nóng với nhiệt độ 200 °C được phun lên bề mặt lòng khuôn thông qua 4 cổng phun (Hình 3). Thời gian gia nhiệt sẽ được ghi nhận từ lúc bắt đầu phun khí đến 30 s. Giá trị nhiệt độ tại 4 điểm trên bề mặt lòng khuôn sẽ được ghi nhận từ thí nghiệm, sau đó, các kết quả thí nghiệm sẽ được so sánh với kết quả mô phỏng.

**Bảng 1: Thông số mô phỏng**

Thông số mô phỏng	
Nhiệt độ inlet của không khí	30 °C
Nhiệt độ khí phun vào khu vực cần gia nhiệt	200 °C
Khối lượng riêng của khí	1.185 kg/m <sup>3</sup>
Nhiệt dung riêng của khí	1004 J/kg.K
Hệ số giãn nở vì nhiệt của khí	0.003356 K <sup>-1</sup>
Áp suất không khí	1 atm
Nhiệt độ ban đầu của tấm nhôm	30 °C
Khối lượng riêng của nhôm	2702 kg/m <sup>3</sup>
Nhiệt dung riêng của nhôm	903 J/kg.K
Hệ số dẫn nhiệt của nhôm	237 W/m.K
Hệ số truyền nhiệt từ khối khí sang tấm nhôm	2340 W/m.K
Dạng phân tích nhiệt	Transient
Các mức thời gian phân tích	0 s à 30 s (bước 5 s)
Bước tối thiểu cho một mức thời gian phân tích	1 s
Thời gian khởi tạo ban đầu	0 s

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

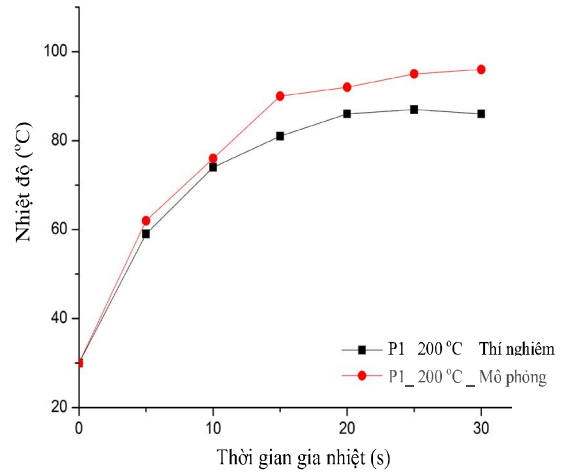
Kết quả mô phỏng và thí nghiệm tại các vị trí đo khác nhau trên bề mặt lòng khuôn với thời gian gia nhiệt 30 s được trình bày như Bảng 2. Trong quá trình thí nghiệm, sự thay đổi nhiệt độ tại 4 điểm được trình bày như Hình 6. Kết quả thí nghiệm cho thấy trong 10 s đầu, nhiệt độ tại 4 điểm (Hình 4) tăng rất nhanh. Tuy nhiên, sự tăng nhiệt độ này chậm lại trong 20 s tiếp theo. Sau đó, từ giây thứ 30 trở đi, nhiệt độ tại 4 điểm sẽ đạt đến giá trị ổn định. Với 4 vị trí đo, nhiệt độ ổn định dao

động trong khoảng 83.5 °C đến 95 °C. Với kết quả này, phương pháp mô phỏng sẽ được thực hiện với thời gian gia nhiệt 30 s nhằm quan sát phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn.

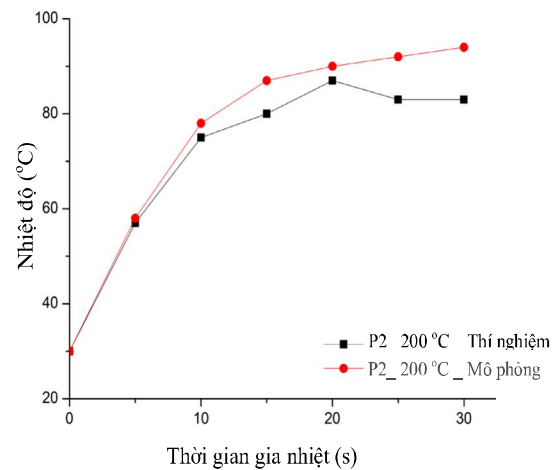
Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm về phân bố nhiệt độ tại 4 điểm trong thời gian gia nhiệt 30 s được trình bày trong Hình 7 (điểm P1), Hình 8 (điểm P2), Hình 9 (điểm P3) và Hình 10 (điểm P4). Các kết quả này cho thấy trong 10 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt, sai lệch giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm dưới 3 °C. Tuy nhiên, từ 10 s đến 30 s, sự khác biệt về nhiệt độ giữa mô phỏng và thực nghiệm thay đổi theo chiều hướng tăng (sai lệch lớn nhất khoảng 10 °C). Hiện tượng này cho thấy quá trình mô phỏng đã bị ảnh hưởng bởi đặc tính vật liệu và các điều kiện biên của quá trình gia nhiệt. Ngoài ra, do giới hạn của trang thiết bị mô phỏng, kích thước lưới và phần tử chưa được tối ưu hóa. Tuy nhiên, nhìn chung các kết quả từ Hình 7 đến Hình 10 cho thấy sự tương đối giống nhau giữa mô phỏng và thực nghiệm tại tất cả các vị trí khảo sát. Vì vậy, có thể dự đoán quá trình gia nhiệt bằng khí nóng bằng phần mềm mô phỏng ANSYS CFX. Phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn ứng với các thời gian gia nhiệt khác nhau cũng được so sánh như Hình 11. Kết quả này cho thấy trong 10 s đầu của quá trình gia nhiệt, quá trình truyền nhiệt giữa khí nóng và lòng khuôn diễn ra rất mạnh do chênh lệch nhiệt độ giữa lòng khuôn và khí rất lớn, kết quả là nhiệt độ của lòng khuôn gần 4 cổng phun khí sẽ tăng nhanh. Tuy nhiên, khi nhiệt độ lòng khuôn tăng cao, quá trình truyền nhiệt đối lưu giữa khí và lòng khuôn sẽ giảm đáng kể, bên cạnh đó, nhiệt năng tại các vị trí này sẽ truyền ra những vị trí có nhiệt độ thấp hơn. Do đó, từ 10 s đến 30 s, sự mất cân bằng nhiệt độ này đã giảm đáng kể. Ngoài ra, Hình 11 cho thấy phân bố nhiệt độ tại thời điểm 30 s với chênh lệch nhiệt độ của cả bề mặt lòng khuôn là 11.5 °C. Với chênh lệch nhiệt độ này, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ bên ngoài hoàn toàn có thể ứng dụng cho qui trình phun ép.

**Bảng 2:** Kết quả nhiệt độ tại bề mặt khuôn tại một số vị trí đo khác nhau

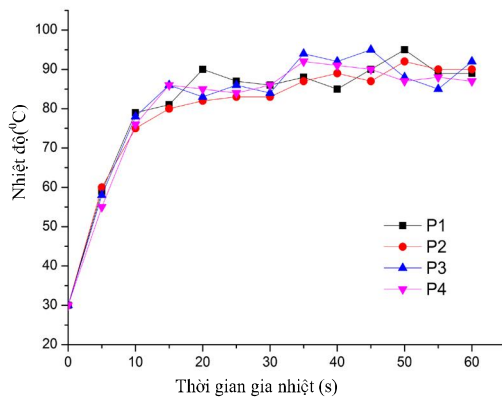
Thời gian gia nhiệt	Vị trí đo	Kết quả mô phỏng	Kết quả thí nghiệm
5s	1	62	59
	2	58	57
	3	56	58
	4	57	55
10	1	76	74
	2	78	75
	3	74	73
	4	74	75
15	1	90	81
	2	87	80
	3	86	83
	4	85	82
20	1	92	86
	2	90	87
	3	88	82
	4	84	85
25	1	95	87
	2	92	83
	3	91	86
	4	86	84
30	1	95	86
	2	94	83.5
	3	94	84
	4	84	86



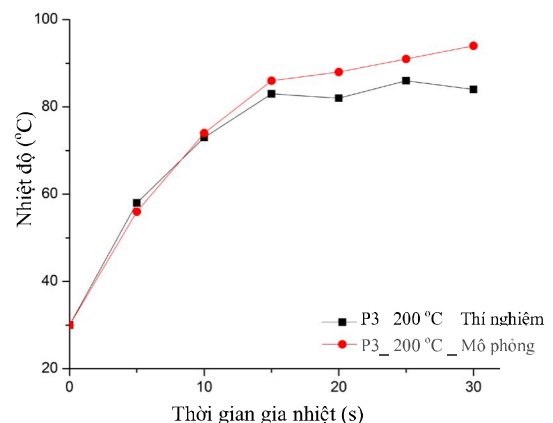
**Hình 7:** Đồ thị so sánh nhiệt độ tại điểm P1 với thời gian gia nhiệt 30 s



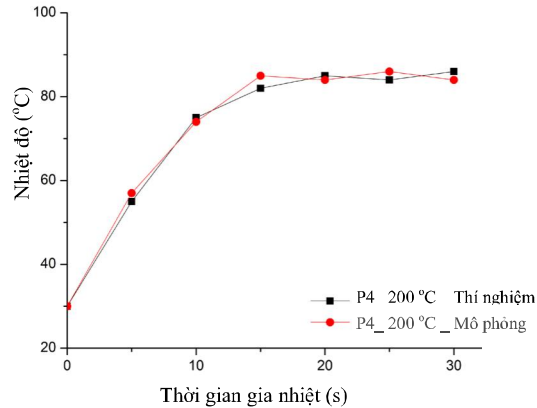
**Hình 8:** Đồ thị so sánh nhiệt độ tại điểm P2 với thời gian gia nhiệt 30 s



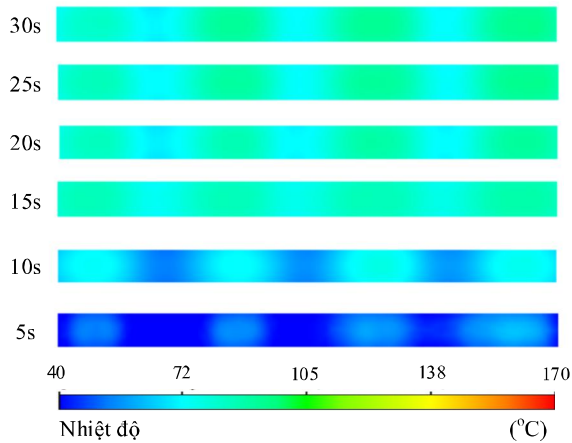
**Hình 6:** Thí nghiệm sự thay đổi của nhiệt độ tại 4 điểm trên bề mặt lòng khuôn trong quá trình gia nhiệt



**Hình 9:** Đồ thị so sánh nhiệt độ tại điểm P3 với thời gian gia nhiệt 30 s



**Hình 10:** Đồ thị so sánh nhiệt độ tại điểm P4 với thời gian gia nhiệt 30 s



**Hình 11:** Phân bố nhiệt độ tại lòng khuôn ứng với các thời gian gia nhiệt khác nhau.

#### 4. KẾT LUẬN

Quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn hình chữ nhật bằng phương pháp phun khí nóng từ bên ngoài được nghiên cứu thông qua mô phỏng và thí nghiệm với một số kết luận như sau:

- Kết quả thí nghiệm cho thấy khi gia nhiệt bằng khí nóng từ bên ngoài, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ tăng nhanh trong 10 s đầu, sau đó, giá trị này sẽ tăng chậm trong 20 s tiếp theo và ổn định sau 30 s. Tại thời điểm ổn định, nhiệt độ được phân bố tương đối đồng đều (chênh lệch khoảng 11.5 °C). Vì vậy, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ bên ngoài hoàn toàn có thể ứng dụng cho quy trình phun ép nhựa.
- Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho thấy sự sai lệch không lớn tại tất cả các vị trí khảo sát trên bề mặt khuôn. Vì vậy, có thể sử dụng phần mềm mô phỏng ANSYS CFX để dự đoán nhiệt độ phân bố trên bề mặt lòng khuôn trong quá trình gia nhiệt bằng khí nóng, qua đó có thể đánh giá chất lượng chất lượng sản phẩm.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Y. Yang, S.-C. Nian, S.-T. Huang and Y.-J. Weng, *A study on the micro-injection molding of multi-cavity ultra-thin parts*, *Polymers Advances Technologies*, Vol. 22, 2011, pp. 891–902.
- [2] Y. K. Shen, C. F. Huang, Y. S. Shen, S. C. Hsu, M. W. Wu, *Analysis for microstructure of micro lens arrays on micro-injection molding by numerical simulation*, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 35, 2008, pp. 1097-1100.
- [3] K. F. Zhang, Z. Lu, *Analysis of morphology and performance of PP microstructures manufactured by micro injection molding*, *Microsyst Technol*, Vol 14, 2008, pp. 209-214.
- [4] B. Sha, S. Dimov, C. Griffiths, M.S. Packianather, *Investigation of micro-injection moulding: Factors affecting the replication quality*, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 183, 2007, pp. 284–296.
- [5] S. C. Chen, . D. Chien, S. H. Lin, M. C. Lin, J. A. Chang, *Feasibility evaluation of gas-assisted heating for mold surface temperature control during injection molding process*, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, 2009, pp. 806-812.

- [6] S. C. Chen, W. R. Jong, J. A. Chang, H. S. Peng, *Simulation and verification on rapid mold surface heating/cooling using electromagnetic induction technology*, 4th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics Cairo, Egypt, 2005.
- [7] S. C. Chen, Y. W. Lin, R. D. Chien, H.M. Li, *Variable Mold Temperature to Improve Surface Quality of Microcellular Injection Molded Parts Using Induction Heating Technology*, Advances in Polymer Technology, Vol. 27, 2008, pp. 224–232.
- [8] S. C. Chen, J. A. Chang, Y. C. Wang, C. F. Yeh, *Development of Gas-Assisted Dynamic Mold Temperature Control System and Its Application for Micro Molding*, ANTEC, 2008, pp. 2208-2212.