

## NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT BẰNG KHÍ NÓNG CHO KHUÔN PHUN ÉP TẠO SẢN PHẨM DẠNG LƯỚI

### STUDY ON THE AIR HEATING PROCESS OF THE INJECTION MOLD FOR THE MESHING PRODUCT

Phạm Sơn Minh<sup>1</sup>, Đỗ Thành Trung<sup>1</sup>,  
 Lê Tuyên Giáo<sup>2</sup>, Trần Minh Thế Uyên<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Trường Cao Đẳng Nghề LILAMA 2

Ngày tòa soạn nhận bài 9/3/2015, ngày phản biện đánh giá 14/3/2015, ngày chấp nhận đăng 25/3/2015

#### TÓM TẮT

Trong qui trình phun ép nhựa, nhiệt độ khuôn càng cao sẽ có tác dụng tốt với chất lượng sản phẩm. Tuy nhiên, nhiệt độ khuôn càng cao sẽ dẫn đến thời gian giải nhiệt cho khuôn càng dài. Do đó, quá trình gia nhiệt cho bề mặt khuôn được đề xuất nhằm nâng cao nhiệt độ bề mặt khuôn trong quá trình nhựa điền đầy khuôn và giúp thời gian giải nhiệt cho khuôn không kéo dài quá lâu. Trong nghiên cứu này, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn từ bên ngoài với dòng khí nóng sẽ được thực hiện trên khuôn thực tế. Kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm cho thấy: với vùng gia nhiệt cục bộ, khi tăng nhiệt độ dòng khí nóng từ 200 °C đến 400°C, nhiệt độ ổn định của lòng khuôn sẽ tăng từ 90°C đến 160°C. Với phương pháp mô phỏng bằng phần mềm ANSYS CFX, quá trình gia nhiệt bằng khí nóng có thể được dự đoán khá chính xác với sai lệch nhiệt độ nhỏ hơn 10°C. Ngoài ra, phân bố nhiệt độ tại vùng gia nhiệt cũng được làm rõ dựa vào kết quả mô phỏng.

**Từ khóa:** Khuôn phun ép nhựa, gia nhiệt cục bộ, gia nhiệt bằng khí nóng, phân bố nhiệt độ.

#### ABSTRACT

For the injection molding process, the high mold temperature shows many advantages with the product quality. However, higher mold temperature will lead to the longer cooling time. Therefore, the external gas assisted mold temperature control (Ex-GMTC) is presented for raising the mold surface temperature in the filling step, and let the cooling step doesnot too long. In this research, the Ex-GMTC was achieved with a real mold. The experimental results show that, with the local heating area, when the gas temperature rose from 200 °C to 400°C, the stable temperature of the mold surface increased from 90°C to 160°C. By simulating with ANSYS CFX, the heating process could be predicted within the the error was lower than 10°C. Besides, the mold temperature of the local heating could be observed clearly based on the numerical analysis.

**Keywords:** Injection molding, local heating, gas assisted mold heating, temperature control.

#### I. GIỚI THIỆU

Hiện nay trên thị trường có rất nhiều sản phẩm nhựa được chế tạo bằng phương pháp phun ép, bao gồm các sản phẩm từ đơn giản như: thước, viết, bàn ghế... cho đến các sản

phẩm phức tạp như: vỏ điện thoại, các chi tiết máy trong ô tô, xe máy. Các sản phẩm này có hình dáng, màu sắc phong phú và chúng đã góp phần cho cuộc sống tiện nghi hơn. Với

các tính chất như: độ dẻo dai, nhẹ, có thể tái chế, không có những phản ứng hóa học với không khí trong điều kiện bình thường và vật liệu nhựa đã dần thay thế các loại vật liệu truyền thống như: sắt, nhôm, đồng thau.

Nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của các sản phẩm nhựa, công nghệ khuôn mẫu nói chung và công nghệ phun ép nhựa nói riêng đã có những bước phát triển đáng kể nhằm tạo ra các sản phẩm nhựa có kết cấu phức tạp và kích thước ngày càng nhỏ hơn [1 – 3]. Trong các dạng sản phẩm nhựa, sản phẩm có dạng lưới thường được sử dụng trong đời sống hàng ngày, cũng như trong các sản phẩm cao cấp với yêu cầu khác nhau về độ bền, kích thước và tính thẩm mỹ. Đối với các chi tiết dạng này để có thể đảm bảo chất lượng đặc biệt là đảm bảo độ bền của sản phẩm sau khi ép, các yếu tố sau cần được chú ý trong quá trình phun ép: tối ưu thiết kế hình học của sản phẩm, đặc tính của vật liệu nhựa, kết cấu khuôn, thông số ép, nhiệt độ khuôn trước khi tiến hành ép v.v... Trong đó, nhiệt độ khuôn trước khi ép giữ vai trò hết sức quan trọng, với giá trị nhiệt độ khuôn thích hợp sẽ giúp cho một số vật liệu nhựa chảy dẻo tốt trong khuôn và điền đầy toàn bộ lòng khuôn [5 – 7]. Hiện nay việc gia nhiệt thêm cho khuôn có thể được tiến hành với một hệ thống cấp nhiệt riêng biệt với các môi chất gia nhiệt như nước, dầu và khí.

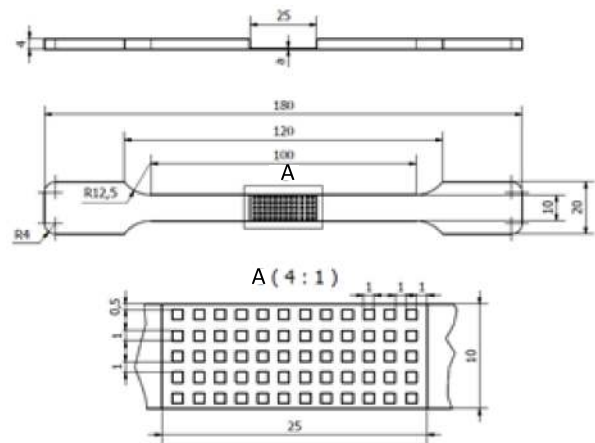
Trong các nghiên cứu trước đây, công nghệ gia nhiệt cảm ứng điện – từ kết hợp với làm nguội bằng nước được dùng để tạo ra sự biến thiên nhanh nhiệt độ khuôn [8]. Nghiên cứu này cho thấy phương pháp gia nhiệt cảm ứng có thể nhanh chóng tăng nhiệt độ bề mặt khuôn từ 60°C lên 140°C trong thời gian 3.5 s. Quá trình mô phỏng trong nghiên cứu này cũng cho thấy sóng điện từ có thể thâm nhập vào phần đáy của các kết cấu khuôn, tạo ra hiệu ứng gia nhiệt tại bề mặt của các kết cấu này.

Trong nghiên cứu khác, phương pháp phun khí nóng vào lòng khuôn nhằm tăng nhiệt

độ lòng khuôn đã được thử nghiệm [9]. Kết quả cho thấy, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng có thể tăng nhiệt độ khuôn từ 60°C đến 120°C trong thời gian 2s. Phương pháp này đã được ứng dụng trong quá trình phun ép các chip với cấu trúc micro và cho kết quả khá tốt với độ chính xác của các kênh micro có thể đạt đến 95%. Tuy nhiên, các loại nhựa thông dụng hiện nay, nhiệt độ chuyển pha thường cao hơn 150°C. Do đó, việc nghiên cứu nâng nhiệt độ khuôn cao hơn đang là nhu cầu hiện nay.

Qua các nghiên cứu trước đây [6 – 9], công nghệ gia nhiệt cho bề mặt khuôn trong quá trình phun ép nhựa là một trong những đề tài đang được các nhà khoa học quan tâm. Vì vậy, nhằm nghiên cứu kỹ hơn và tiến tới ứng dụng công nghệ gia nhiệt cho bề mặt lòng khuôn bằng phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng với nhiệt độ trong khoảng 200°C đến 400°C, bài báo này sẽ tiến hành gia nhiệt bằng khí nóng và kiểm tra kết quả tại bề mặt lòng khuôn bằng phương pháp thực nghiệm. Bên cạnh đó, phương pháp mô phỏng sẽ được tiến hành với phần mềm ANSYS CFX nhằm nghiên cứu kỹ hơn về phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn.

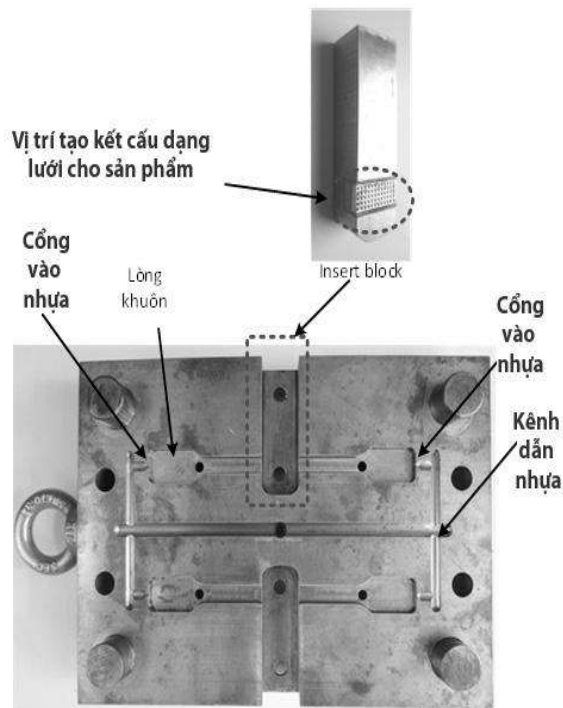
## II. MÔ PHỎNG VÀ THÍ NGHIỆM



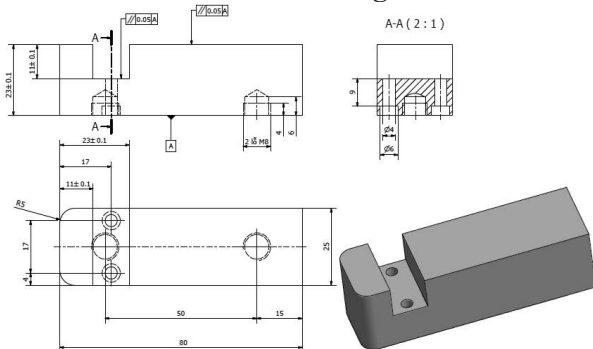
Hình 1: Kích thước mẫu thử kéo.

Trong nghiên cứu này, mẫu thử kéo (ISO 527 – 1993) với cấu trúc dạng lưới được chế tạo như Hình 1, và được sử dụng cho quá trình

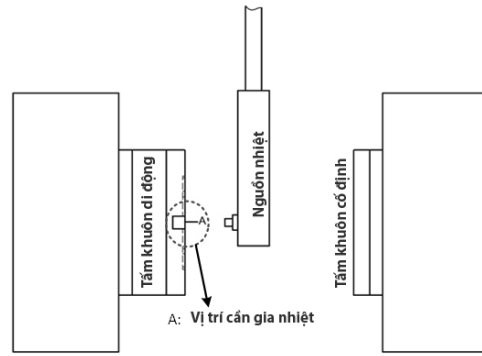
ngiên cứu khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng. Khuôn dùng cho quá trình thí nghiệm sẽ được gia công với hai lòng khuôn với hình dạng được trình bày như Hình 2. Lòng khuôn cho mẫu thử kéo được thiết kế với 2 cổng vào nhựa. Tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới, khối *insert* sẽ được sử dụng nhằm phục vụ cho quá trình gia nhiệt bằng khí nóng, cũng như quá trình nghiên cứu độ bền kéo ứng với các chiều dày khác nhau của lưới. Kích thước của khối *insert* được trình bày như Hình 3.



**Hình 2:** Kết cấu lòng khuôn.



**Hình 3:** Kích thước khối *insert* tạo kết cấu dạng lưới



**Hình 4:** Vị trí của khuôn trong quá trình gia nhiệt.

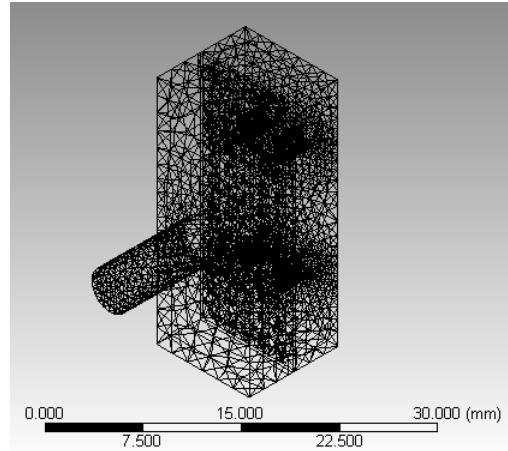
Trong qui trình phun ép truyền thống, sau khi một chu kỳ phun ép được hoàn thành, hai tấm khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được đẩy ra khỏi lòng khuôn. Sau đó, hai tấm khuôn sẽ đóng lại và một chu kỳ phun ép mới sẽ được bắt đầu. Với qui trình phun ép nhựa với sự hỗ trợ của khí nóng trong quá trình gia nhiệt 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 cân gia nhiệt cho lòng khuôn. Vị trí của khuôn và nguồn nhiệt nóng được trình bày như Hình 4. 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 sẽ đóng lại và chu kỳ phun ép mới sẽ được bắt đầu.

Trong quá trình nghiên cứu khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng, phương pháp đo nhiệt độ tiếp xúc sẽ được sử dụng với vị trí đo tại bề mặt tạo kết cấu dạng lưới như Hình 1. Ngoài ra, nhằm quan sát phân bố nhiệt độ tại khu vực này, phương pháp mô phỏng cũng được thực hiện với phần mềm ANSYS cho khu vực tạo kết cấu dạng lưới. Mô hình mô phỏng với 2 phần tử được trình bày như Hình 5. Các thông số mô phỏng được cài đặt như trong môi trường thí nghiệm thực. Các thông số này được trình bày ở Bảng 1.

**Bảng 1: Thông số mô phỏng**

Thông số mô phỏng	
Nhiệt độ inlet của không khí	25 °C
Nhiệt độ khí phun vào khu vực cần gia nhiệt	200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °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 khí tham khảo	1 atm
Nhiệt độ ban đầu của tấm nhôm tạo kết cấu dạng lưới	25 °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 60 s (bước 5 s)
Bước tối thiểu cho một mức thời gian phân tích	1 s
Thời gian khởi tạo ban đầu	0 s

Trong các nghiên cứu về quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng, thời gian gia nhiệt và nhiệt độ dòng khí nóng là hai thông số quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến phân bố nhiệt độ của khu vực cần gia nhiệt [8, 9]. Do đó, trong nghiên cứu này, thời gian gia nhiệt sẽ được nghiên cứu từ 0s đến 60s. Bên cạnh đó, nhiệt độ dòng khí nóng sẽ được thay đổi từ 200°C đến 400°C. Trong quá trình thí nghiệm, cũng như mô phỏng, giá trị nhiệt độ tại khu vực tạo lưới sẽ được thu thập, so sánh và đánh giá.



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

### III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

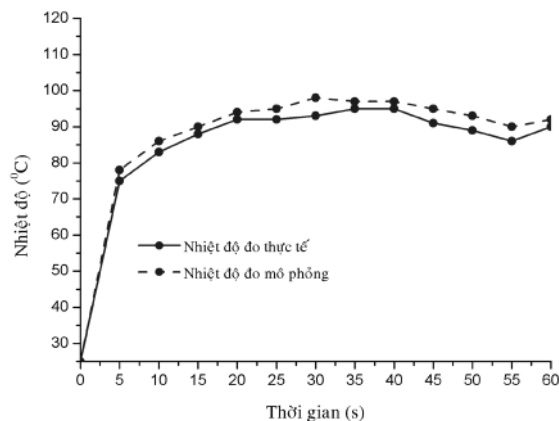
Kết quả thí nghiệm nhiệt độ tại bề mặt khuôn với thời gian gia nhiệt và nguồn khí nóng khác nhau được trình bày như Bảng 2. Đồng thời, với phương pháp mô phỏng, nhiệt độ bề mặt khuôn được thu thập, so sánh với thí nghiệm và trình bày như Hình 6 ( $t_{\text{khí}} = 200^\circ\text{C}$ ), Hình 7 ( $t_{\text{khí}} = 250^\circ\text{C}$ ), Hình 8 ( $t_{\text{khí}} = 300^\circ\text{C}$ ), Hình 9 ( $t_{\text{khí}} = 350^\circ\text{C}$ ), Hình 10 ( $t_{\text{khí}} = 400^\circ\text{C}$ ).

Kết quả mô phỏng và thí nghiệm cho thấy ứng với các giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại. Nhìn chung, khi nhiệt độ của dòng khí nóng thay đổi từ 200°C đến 400°C, sau 20s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định. Tương tự với các nghiên cứu trước đây, sau thời gian tăng nhiệt độ, bề mặt khuôn sẽ đạt đến giới hạn. Tại trạng thái này, năng lượng hấp thu từ dòng khí nóng của bề mặt khuôn sẽ cân bằng với phần năng lượng truyền vào phần thể tích của khuôn. Do đó, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ được giữ cân bằng. Tùy thuộc vào giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, bề mặt khuôn sẽ đạt đến trạng thái cân bằng với các mức nhiệt độ khác nhau. Cụ thể, khi nhiệt độ dòng khí nóng tăng từ 200°C đến 400°C, nhiệt độ cân bằng tại bề mặt khuôn

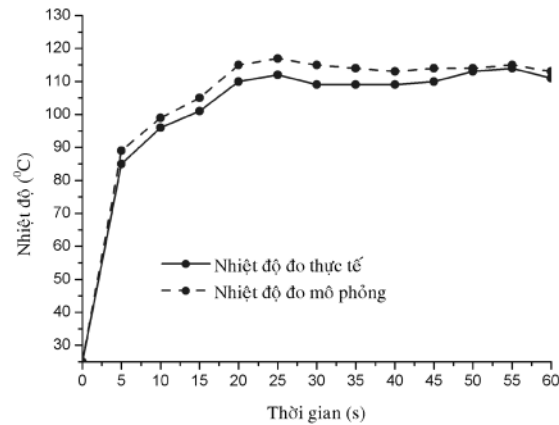
sẽ tăng từ 92°C đến 160°C. Kết quả này cũng cho thấy, với nhiệt độ 160 °C, phương pháp gia nhiệt này hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu gia nhiệt cho khuôn phun ép như các nghiên cứu trước đây đã thực hiện [1 – 5]. Đồng thời, kết quả so sánh giữa mô phỏng và thí nghiệm cho thấy tương đồng nhau. Vì vậy, phương pháp gia nhiệt cho lòng khuôn phun ép bằng khí nóng hoàn toàn có thể dự đoán trước bằng phương pháp mô phỏng với sai số nhiệt độ ít hơn 10°C.

**Bảng 2: Kết quả nhiệt độ tại bề mặt khuôn (°C) với thời gian và nguồn khí nóng khác nhau**

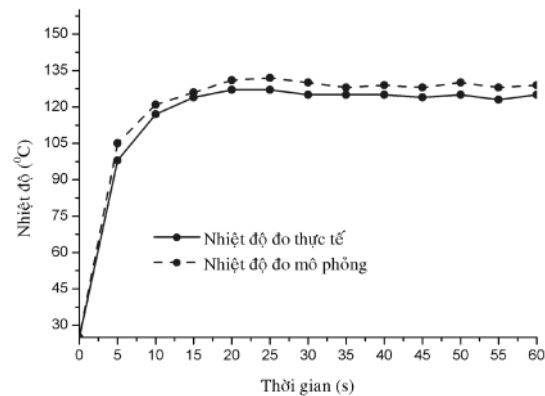
Thời gian gia nhiệt	$T_{\text{khí 400}}$	$T_{\text{khí 350}}$	$T_{\text{khí 300}}$	$T_{\text{khí 250}}$	$T_{\text{khí 200}}$
	°C	°C	°C	°C	°C
5s	110	105	98	85	75
10s	120	118	117	96	83
15s	147	127	124	101	88
20s	164	132	127	110	92
25s	161	144	127	112	92
30s	157	146	125	109	93
35s	156	146	125	109	95
40s	160	149	125	109	95
45s	159	147	124	110	91
50s	160	147	125	113	89
55s	158	147	123	114	86
60s	159	148	125	111	90



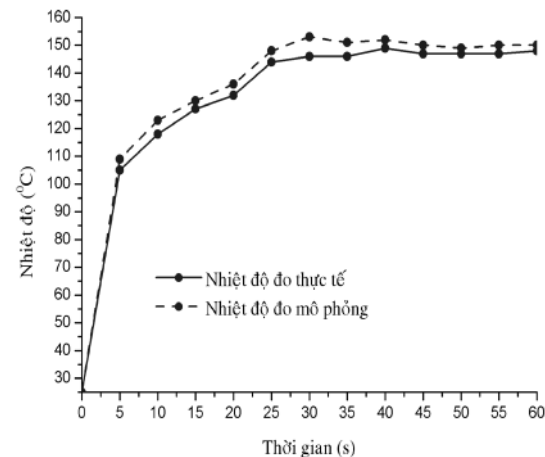
**Hình 6:** Đồ thị so sánh nhiệt độ đo được tại điểm A ứng với  $t_{\text{khí}} = 200^{\circ}\text{C}$



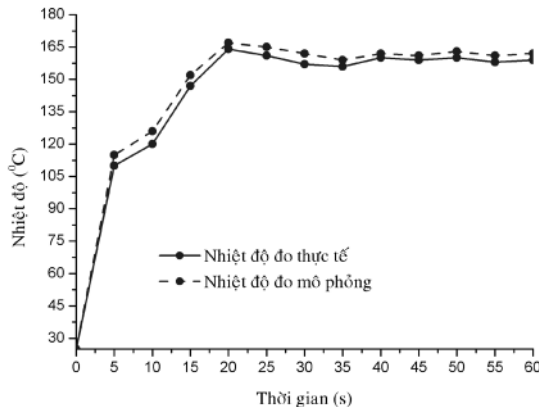
**Hình 7:** Đồ thị so sánh nhiệt độ đo được tại điểm A ứng với  $t_{\text{khí}} = 250^{\circ}\text{C}$



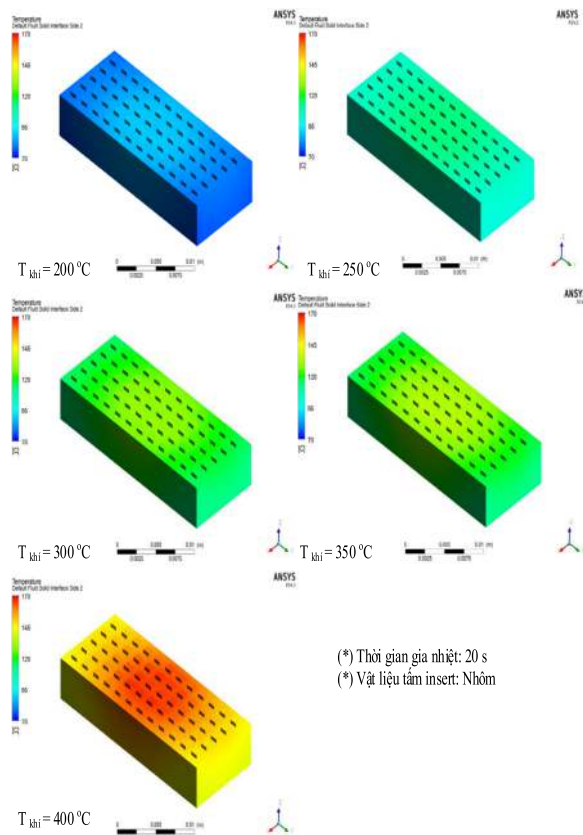
**Hình 8:** Đồ thị so sánh nhiệt độ đo được tại điểm A ứng với  $t_{\text{khí}} = 300^{\circ}\text{C}$



**Hình 9:** Đồ thị so sánh nhiệt độ đo được tại điểm A ứng với  $t_{\text{khí}} = 350^{\circ}\text{C}$



Hình 10: Đồ thị so sánh nhiệt độ đo được tại điểm A ứng với  $t_{khí} = 400^{\circ}C$



Hình 11: Phân bố nhiệt độ tại tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s

Mặt khác, thông qua quá trình mô phỏng, phân bố nhiệt độ tại tấm insert sau 20s gia nhiệt được trình bày như Hình 11. Kết quả này cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Với phân bố nhiệt độ này, quá trình giải nhiệt tiếp theo trong chu kỳ phun ép sẽ được thực hiện dễ dàng hơn. Vì vậy, đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng [3 – 9]. Ngoài ra, do tấm insert này được làm bằng vật liệu nhôm, do đó, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tạo kết cấu khá đồng đều.

#### IV. KẾT LUẬN

Qua kết quả mô phỏng và thực nghiệm, quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép tạo sản phẩm dạng lưới đã được thực hiện với các kết luận như sau:

- Nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ tăng nhanh trong 5s đầu của quá trình gia nhiệt, sau đó, trong 15s tiếp theo, giá trị này sẽ tăng chậm và ổn định sau 20s. Với dòng khí nóng có nhiệt độ cao hơn, giá trị ổn định của nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ tăng. Khi dòng khí nóng  $400^{\circ}C$  được sử dụng, bề mặt lòng khuôn sẽ ổn định nhiệt độ tại giá trị  $160^{\circ}C$ . Với nhiệt độ này, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng có thể ứng dụng cho hầu hết các loại nhựa thông dụng.

- Phương pháp mô phỏng bằng phần mềm ANSYS CFX cho thấy khả năng dự đoán trước kết quả gia nhiệt bằng khí nóng hoàn toàn khả thi, với sai lệch nhiệt độ nhỏ hơn  $10^{\circ}C$ . Bên cạnh đó, thông qua quá trình mô phỏng, phân bố nhiệt độ bề mặt tại tấm insert cũng được xác định. Nhiệt độ cao sẽ tập trung tại bề mặt lòng khuôn do các vị trí này được tiếp xúc trực tiếp với dòng khí nóng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T. Osswald, S. Turg and P. Gramann, *Injection Molding Handbook*, NXB Hanser; Ohio – USA, 2nd Edition, (2008), 764 trang.  
 [2] [http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/fp\\_doc/f5co1.frm.html](http://www.dc.engr.scu.edu/cmdoc/fp_doc/f5co1.frm.html)

- [3] A. I. Isayev, T. H. Lin and K. Kon, *Frozen-in birefringence and anisotropic shrinkage in optical moldings: II. Comparison of simulations with experiments on light-guide plates* Polymer, Vol 51, 2010, pp.5623-5639
- [4] 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
- [5] G. Wang, G. Zhao, Hu. Li, Y. Guan, *Research of thermal response simulation and mold structure optimization for rapid heat cycle molding processes, respectively, with steam heating and electric heating*, Materials and Design Vol 31, 2010, pp. 382–395.
- [6] G. Wang, G. Zhao, X. Wang, *Development and evaluation of a new rapid mold heating and cooling method for rapid heat cycle molding*, International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 78, 2014, pp. 99 – 111.
- [7] S. C. Chen, H. M. Li, S. S. Hwang and H. H. Wang, *Passive mold temperature control by a hybrid filming - microcellular injection molding processing*, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol 35, 2008, pp. 822-827.
- [8] Nguyễn Phước Thiện, Trần Hồng Phúc, Đồ án tốt nghiệp “*Thiết kế chế tạo module gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép*”, ĐH SPKT Tp. HCM (2014).
- [9] A. C. Liou, R.H. Chen, C.K. Huang, C.H. Su and P.Y. Tsai, *Development of a heat-generable mold insert and its application to the injection molding of microstructures* Microelectronic Engineering, Vol 117, 2014, pp. 41-47.