

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH GIA NHIỆT THEO PHƯƠNG PHÁP CẢM ỨNG TỪ CHO KHUÔN PHUN ÉP NHỰA BẰNG CUỘN DÂY 3D SIMULATE THE INDUCTION HEATING PROCESS WITH THE 3D COIL DESIGN

Phạm Sơn Minh,
Trần Văn Trọn

Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực điều khiển nhiệt độ cho khuôn phun ép, phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ có nhiều ưu điểm như: tốc độ gia nhiệt cao, tiết kiệm năng lượng và không gây ô nhiễm môi trường. Trong nghiên cứu này, phương pháp mô phỏng sẽ được sử dụng nhằm xác định tốc độ gia nhiệt và phân bố nhiệt độ của bề mặt tấm khuôn sau quá trình gia nhiệt bằng phương pháp cảm ứng từ. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ gia nhiệt tại bề mặt tấm khuôn có thể lên đến 30°C/s , và so với các thiết kế cuộn dây khác, phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn có sự cải tiến rõ rệt. Với thiết kế của cuộn dây 3D, vùng nhiệt độ cao tập trung tại vùng trung tâm của tấm khuôn

Từ khóa: Khuôn phun ép nhựa, điều khiển nhiệt độ khuôn, gia nhiệt cảm ứng từ

ABSTRACT

In the field of dynamic mold temperature control for injection molding process, the induction heating method has many advantages as high heating rate, low energy consumption and reduced environmental pollution. In this research, the simulation method was used for determining the heating rate and the temperature distribution of the 3D coil induction heating. The result shows that the heating rate can reach to 30°C/s at the mold surface, and the temperature distribution has a clear improvement when we compare with the other coil design. With the 3D coil design, the higher temperature appears at the center of the mold plate with a rectangular area.

Keyword: Injection molding, Dynamic mold temperature control, Induction heating

ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tế sản xuất tại các doanh nghiệp Việt Nam, các đề tài nghiên cứu về lĩnh vực nhựa đã có định hướng về nghiên cứu tối ưu hóa quá trình giải nhiệt cho khuôn phun ép nhằm giải quyết bài toán về chi phí sản xuất trong ngành nhựa. Trong quá trình tìm hiểu, các doanh nghiệp Việt Nam đang trong quá trình khai thác một số phần mềm

chuyên dùng cho mô phỏng quá trình gia công nhựa như: C-Mold, Moldflow, Moldex3D, ... Ngoài ra, trong nghiên cứu, đã có một số đề tài tìm hiểu và ứng dụng công cụ CAD – CAM – CAE được tiến hành. Với đề tài “*Tối ưu hóa giải nhiệt khuôn ép phun*” [1], tác giả Lê Minh Trí đã đề cập đến cơ sở của việc thiết kế hệ thống giải nhiệt của khuôn ép phun dựa trên lý thuyết truyền nhiệt, ứng dụng

phương pháp này để tính toán hệ thống giải nhiệt cho sản phẩm là một tấm mỏng, sau đó sử dụng phần mềm Moldflow để mô phỏng, kiểm tra kết quả. Tuy nhiên, nội dung đề tài này chưa đưa ra được phương pháp tối ưu cho việc thiết kế hệ thống giải nhiệt, và việc tính toán, mô phỏng chỉ dừng lại ở một chi tiết quá đơn giản, chưa phù hợp với yêu cầu thực tế. Ngoài ra, công cụ CAE (Computer aided engineering) cũng được đề cập đến trong nghiên cứu của tác giả Nguyễn Văn Thành, với đề tài “*Nghiên cứu xây dựng qui trình thiết kế hệ thống làm nguội cho khuôn ép phun nhựa theo công nghệ CAD / CAE*” [2]. Nghiên cứu này đề cập đến lý thuyết truyền nhiệt và ứng dụng nó trong khuôn ép phun, nhằm xác định kích thước và phân bố hệ thống làm nguội, xây dựng được qui trình thiết kế hệ thống làm nguội cho khuôn ép phun theo công nghệ CAD / CAE, áp dụng qui trình này cho sản phẩm là khuôn vỏ bình nước nóng.

Tuy nhiên, đến hiện nay, lĩnh vực điều khiển nhiệt độ khuôn chỉ được hiểu và thực hiện theo hướng giải nhiệt cho khuôn, với mục tiêu quan trọng nhất là làm nguội khuôn trong thời gian ngắn nhất. Ngược lại, quá trình gia nhiệt cho khuôn vẫn chưa được quan tâm đúng mức. Do đó, thực trạng của sản xuất sản phẩm nhựa tại Việt Nam chỉ dừng lại ở nhóm các sản phẩm đơn giản, chất lượng thấp, và chủ yếu tập trung vào lĩnh vực hàng tiêu dùng.

Ngoài ra, trong các nghiên cứu ngoài nước, điều khiển nhiệt độ khuôn tối ưu là một trong những cách hiệu quả nhất nhằm nâng cao chất lượng bề mặt khuôn [3 - 7]. Nhìn chung, nếu nhiệt độ bề mặt lòng khuôn cao, quá trình điền đầy nhựa sẽ được dễ dàng hơn, và trong hầu hết các trường hợp, chất lượng bề mặt sản phẩm sẽ được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, nếu nhiệt độ của các tấm khuôn tang cao, quá trình giải nhiệt của khuôn nhựa

sẽ bị kéo dài, và chu kỳ phun ép sẽ tốn nhiều thời gian, giá thành sản phẩm cũng sẽ gia tăng. Vì vậy, mục tiêu quan trọng của quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn phun ép là: gia nhiệt cho bề mặt khuôn đến nhiệt độ yêu cầu, nhưng vẫn đảm bảo thời gian chu kỳ phun ép không quá dài.

Trong các nghiên cứu mới đây, phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ được kết hợp với lưu chất giải nhiệt nhằm điều khiển nhiệt độ khuôn. Phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ có những ưu điểm vượt trội so với các phương pháp khác như:

- Tốc độ gia nhiệt cao [8 - 11]
- Thời gian gia nhiệt có thể kéo dài đến 20 s [6]
- Có thể ứng dụng cho khuôn phun ép như một module đính kèm, nghĩa là không cần thay đổi kết cấu khuôn có sẵn.

Tuy nhiên, hiện nay, các thiết kế của cuộn dây gia nhiệt chỉ giới hạn ở dạng 2D, toàn bộ cuộn dây chỉ được bố trí trên 2 mặt phẳng. Điều này ảnh hưởng không tốt đến phân bố nhiệt độ trên bề mặt của khuôn. Đây cũng là một trong những nguyên nhân làm tăng độ cong vênh của sản phẩm nhựa sau khi phun ép. Để khắc phục hiện tượng này, mô hình cuộn dây 3D được đề xuất nhằm nâng cao độ đồng đều về nhiệt độ của bề mặt khuôn và giảm cong vênh sản phẩm.

PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG VÀ THÍ NGHIỆM

Trong nghiên cứu này, hệ thống thí nghiệm bao gồm các thành phần như Hình 1:

- Máy gia nhiệt bằng cảm ứng từ (IHTC-02 - INER Technology Co., LTD. (Hình 2). Các thông số vận hành của máy được trình bày như Bảng 1.
- Tấm khuôn sau khi được gia nhiệt sẽ được làm mát bởi hệ thống giải nhiệt

- Hệ thống giám sát và điều khiển nhiệt độ cho khuôn
- Tấm khuôn bằng thép không gỉ

Trong nghiên cứu này, máy gia nhiệt bằng cảm ứng từ có khả năng cấp dòng điện cho cuộn dây với tần số cao nhất là 75 kHz, cường độ dòng điện cao nhất là 1500 A, với công suất cực đại là 80KW. Hình 4 và 5 trình bày kích thước của tấm khuôn, hệ thống giải nhiệt cho khuôn và vị trí các điểm đo nhiệt độ. Hệ thống các kênh dẫn chất giải nhiệt của tấm khuôn có vai trò điều khiển nhiệt độ cho tấm khuôn, gồm hai chức năng chính: gia nhiệt cho toàn bộ thể tích tấm khuôn lên nhiệt độ bắt đầu (initial temperature) cho quá trình thí nghiệm, và giải nhiệt cho tấm khuôn sau khi quá trình gia nhiệt bằng cảm ứng từ kết thúc. Trong suốt quá trình thí nghiệm, nhiệt độ tại các điểm T1, T2, và T3 (Hình 5) sẽ được đo và giám sát.

Trong nghiên cứu này, cuộn dây dạng 3D sẽ được sử dụng cho quá trình gia nhiệt của khuôn. Kích thước và vị trí đặt cuộn dây trong quá trình gia nhiệt được mô tả như Hình 6. Với thiết kế này, khoảng cách từ cuộn dây đến bề mặt khuôn là 3 mm. Để giải nhiệt cho cuộn dây, hệ thống kênh dẫn nước được thiết kế bên trong cuộn dây. Nhằm đảm bảo khả năng dẫn điện và giải nhiệt tốt, toàn bộ cuộn dây đều được làm bằng đồng (Cu).

Nhằm quan sát phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn, hệ thống camera nhiệt (Avio NEO THERMO TVS-700) sẽ được sử dụng để quan sát phân bố nhiệt tại bề mặt, ngoài ra, hệ thống cảm biến nhiệt tiếp xúc được sử dụng nhằm đo các giá trị nhiệt độ tại ba điểm T1, T2, và T3 như Hình 5. Trong quá trình thực nghiệm, các giá trị nhiệt độ sẽ được thu thập, sau đó các kết quả này được dùng trong quá trình kiểm chứng các kết quả mô phỏng. Trong quá trình thí nghiệm, tấm khuôn sẽ được gia nhiệt bằng hệ thống điều khiển nhiệt độ cho khuôn phun ép đến nhiệt độ 40°C, sau

(stainless steel 420) với kích thước 32 mm x 100 mm x 100 mm (Hình 4)

- Cuộn dây gia nhiệt 3D

đó, bề mặt khuôn sẽ được gia nhiệt bởi hệ thống gia nhiệt cho bề mặt khuôn theo phương pháp cảm ứng từ. Trong quá trình gia nhiệt này, tốc độ gia nhiệt và phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ được quan sát bởi hệ thống camera nhiệt, và các cảm biến tiếp xúc tại các điểm T1, T2, và T3. Các đặc tính vật liệu được trình bày như Bảng 2.

Vì tốc độ gia nhiệt theo phương pháp cảm ứng từ rất cao, do đó, trong quá trình thực nghiệm, cũng như quá trình mô phỏng, các giá trị nhiệt độ tại ba điểm T1, T2 và T3 sẽ được thu nhận trong thời gian 2 s. Ngoài ra, trong nghiên cứu này, bên cạnh việc thực nghiệm trên mô hình thực tế, qui trình gia nhiệt cho bề mặt tấm khuôn sẽ được tiếp tục nghiên cứu thông qua quá trình mô phỏng bằng phần mềm ANSYS. Trong quá trình mô phỏng, mô hình mô phỏng và các thông số của quá trình gia nhiệt được thiết lập như trong thực nghiệm. Sau đó, kết quả mô phỏng sẽ được so sánh với kết quả thực tế nhằm kiểm tra tính chính xác của quá trình mô phỏng. Hình 7 cho thấy mô hình lưới khi sử dụng phần mềm ANSYS mô phỏng quá trình gia nhiệt bằng cảm ứng từ cho tấm khuôn.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Các giá trị nhiệt độ tại cuối quá trình gia nhiệt ứng với cuộn dây 2D và 3D được trình bày như hình 5 và 6. Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, Hình 5 trình bày kết quả về nhiệt độ tại điểm T1, T2, và T3 với thời gian gia nhiệt 2 s, và cuộn dây loại 2D. Theo kết quả này, bằng thực nghiệm, nhiệt độ tại các điểm T1, T2, và T3 lần lượt là 64 °C, 108 °C, và 105°C. Kết quả này cho thấy nhiệt độ tại điểm T2 và T3 hầu như bằng nhau. Tuy nhiên, hiệu ứng gia nhiệt tại vị trí T1 có sự

khác biệt rõ rệt so với hai vị trí còn lại. Nhìn chung, sai lệch nhiệt độ giữa 3 điểm T1, T2, và T3 khoảng 41°C . Trong lĩnh vực khuôn phun ép, sự chênh lệch nhiệt độ của bề mặt tấm khuôn là một trong những nguyên nhân làm tăng độ cong vênh của sản phẩm nhựa.

Hình 6 trình bày kết quả về nhiệt độ tại điểm T1, T2, và T3 với thời gian gia nhiệt 2 s, và cuộn dây loại 3D. Với các thông số thí nghiệm như trường hợp cuộn dây 2D, trong trường hợp này, giá trị nhiệt độ tại các điểm T1, T2, và T3 lần lượt là: 89°C , 78.5°C , và 66.1°C . Dựa vào kết quả này, độ chênh lệch nhiệt độ giữa ba điểm được giảm xuống 23°C .

Trong công nghệ phun ép sản phẩm nhựa, phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn là một trong những yêu cầu quan trọng nhất. Với phân bố nhiệt độ đồng đều, chất lượng sản phẩm sẽ tăng đáng kể, bên cạnh đó, quá trình điền đầy lòng khuôn của nhựa nóng chảy cũng sẽ thuận lợi hơn. Ví lý do đó, trong thực nghiệm của nghiên cứu này, sau khi quá trình gia nhiệt cho bề mặt của tấm khuôn, phân bố nhiệt độ trên bề mặt này sẽ được quan sát, kiểm tra thông qua hệ thống camera nhiệt. Phân bố nhiệt độ này sẽ được so sánh với kết quả từ mô phỏng của phần mềm ANSYS. Các so sánh về phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn được trình bày ở Hình 7. Dựa vào kết quả này, ta có thể dễ dàng nhận thấy vùng nhiệt độ thấp xuất hiện rất rõ tại vùng trung tâm của tấm khuôn khi phương án cuộn dây 2D được sử dụng. Với phân bố nhiệt độ này, quá trình thiết kế các lòng khuôn sẽ gặp rất nhiều khó khăn, đặc biệt với các sản phẩm nhựa dạng tấm. Ngược lại, với thiết kế của cuộn dây 3D, vùng nhiệt độ cao xuất hiện trong vùng hình vuông tại trung tâm của bề mặt tấm khuôn. Với dạng phân bố nhiệt độ này, quá trình thiết kế các lòng khuôn sẽ thuận lợi hơn rất nhiều. Thông qua các kết quả như Hình 7, ưu điểm về gia nhiệt của cuộn dây 3D được minh chứng rất rõ, đặc biệt trong các ứng dụng cho quá trình gia nhiệt của

khuôn phun ép nhựa. Ngoài ra, từ kết quả của hình 5, 6, và 7 cho thấy quá trình mô phỏng có thể dự đoán khá chính xác các kết quả về gia nhiệt theo phương pháp cảm ứng từ bằng cuộn dây 2D và 3D, cả về giá trị nhiệt độ và phân bố nhiệt độ trên bề mặt tấm khuôn.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Với đề tài nghiên cứu này, hệ thống gia nhiệt cho khuôn phun ép nhựa theo nguyên lý cảm ứng từ với cuộn dây 2D và 3D đã được thực hiện và đánh giá. Qua các kết quả đạt được, ưu điểm của cuộn dây 3D đã được nêu rõ. Bằng phương pháp mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng, nhiệt độ tại bề mặt khuôn đã được nghiên cứu về giá trị nhiệt độ và phân bố nhiệt độ. Dựa vào các kết quả này, các kết luận sau đã được rút ra:

- Tốc độ gia nhiệt tại các điểm T2 và T3 sẽ cao hơn khi phương án cuộn dây 2D được sử dụng. Tuy nhiên, với phương án này, nhiệt độ tại vùng giữa của tấm khuôn (điểm T1) sẽ thấp hơn rất nhiều so với các vị trí còn lại.
- Với thiết kế cuộn dây 2D, kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm đều cho thấy vùng nhiệt độ thấp xuất hiện rất rõ tại trung tâm của tấm khuôn.
- Nhìn chung, tốc độ gia nhiệt tại vị trí T2 và T3 thấp hơn khi cuộn dây 3D được sử dụng. Tuy nhiên, khả năng gia nhiệt tại điểm giữa của tấm khuôn được cân thiện đáng kể trong trường hợp gia nhiệt của cuộn dây 3D. Khi chuyển từ thiết kế cuộn dây 2D sang 3D, độ chênh lệch nhiệt độ giữa 3 điểm T1, T2, và T3 giảm từ 41°C xuống 23°C

Trong giai đoạn tiếp theo, đề tài sẽ tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt của các loại cuộn dây đối với nhiều dạng bề mặt khác nhau của lòng khuôn, cũng như đưa hệ thống vào thử nghiệm trên các bộ khuôn thực tế và

kiểm tra chất lượng sản phẩm nhựa sau khi phun ép.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về kinh phí nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu cấp trường của Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

TÀI LIỆU THAM KHẢO

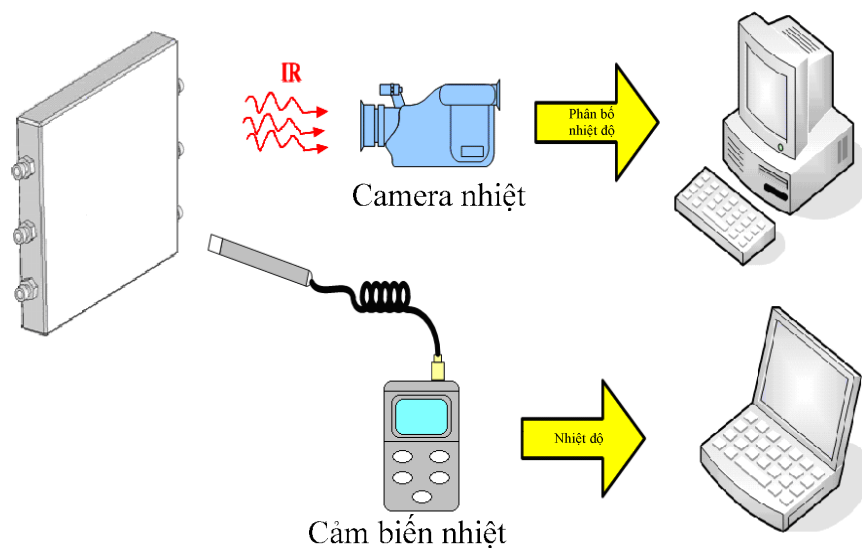
- [1] Lê Minh Trí, *Tối ưu hóa giải nhiệt khuôn ép phun*, Luận văn Thạc Sĩ ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM, 2006
- [4] S. C. Chen, Y. W. Lin, R. D. Chien, H. M. Li, Variable mold temperature to improve surface quality of microcellular injection molded parts using induction heating technology, *Advances in Polymer Technology* 27 (4) (2008) 224-232.
- [5] M. C. Jeng, S. C. Chen, P. S. Minh, J. A. Chang, C. S. Chung, Rapid mold temperature control in injection molding by using steam heating, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37(9) (2010) 1295-1304.
- [6] S. C. Chen, Y. Chang, Y. P. Chang, Y. C. Chen, C. Y. Tseng, Effect of cavity surface coating on mold temperature variation and the quality of injection molded parts, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36 (10) (2009) 1030-1035.
- [7] S. C. Chen, H. M. Li, S. S. Hwang, H. H. Wang, Passive mold temperature control by a hybrid filming-microcellular injection molding processing, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 35 (7) (2008) 822-827.
- [2] Nguyễn Văn Thành, *Nghiên cứu xây dựng qui trình thiết kế hệ thống làm nguội cho khuôn ép phun nhựa theo công nghệ CAD / CAE*, Luận văn Thạc Sĩ ĐH Bách Khoa TP. HCM 2006
- [3] S. C. Chen, Y. C. Wang, S. C. Liu, J. C. Cin, Mold temperature variation for assisting micro molding of DVD micro-featured substrate and dummy using pulsed-cooling, *Sensors and Actuators A* 151 (1) (2009) 87-93.
- [8] P. C. Chang, S. J. Hwang, Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49 (21-22) (2006) 3846-3854.
- [9] M. C. Yu, W. B. Young, P. M. Hsu, Micro injection molding with the infrared assisted heating system, *Materials Science and Engineering A* 460-461 (2007) 288-295.
- [10] S. C. Chen, R. 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* 36 (8) (2009) 806-812.
- [11] S. C. Chen, P. S. Minh, J. A. Chang, Gas-assisted mold temperature control for improving the quality of injection molded parts with fiber additives, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 38 (3) (2011) 304-312.

Bảng 1: Thông số của thiết bị gia nhiệt bằng cảm ứng từ

Model	IHTC-03
Hệ thống điều khiển	PLC
Công suất cực đại	80(Kw)
Nguồn điện (3 pha)	380(v)
Cường độ dòng điện	150(A)
Phương pháp giải nhiệt cho cuộn dây	Nước
Loại cảm biến nhiệt	K-Type

Bảng 2: Đặc tính vật liệu

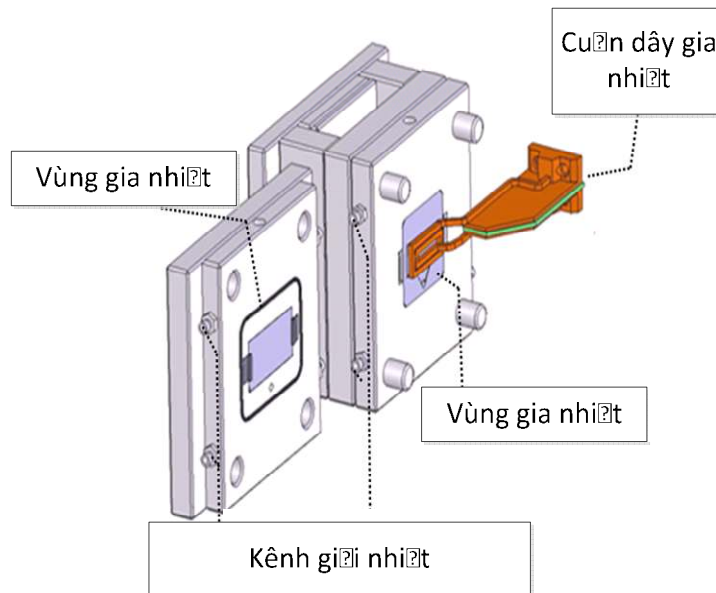
Đặc tính vật liệu	Đơn vị	Không khí (25oC)	Thép không gỉ 420 (ISO 683/134)	Đồng (Cu)
Khối lượng riêng (Density)	kg/m ³	1.18	7700	8940
Điện trở riêng (Electrical Resistivity)	ohm-m		5.50E-07	1.71E-07
Độ thấm từ (Relative Permeability μ)	-	1	200	0.99
Nhiệt dung riêng (Specific Heat)	J/kg-K	1000	448	392
Hệ số dẫn nhiệt (Thermal conductivity)	(W/m-K)	0.0256	14	400



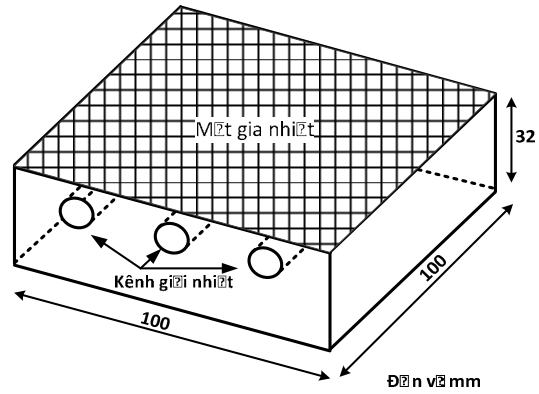
Hình 1: Mô hình thí nghiệm gia nhiệt bằng cảm ứng từ



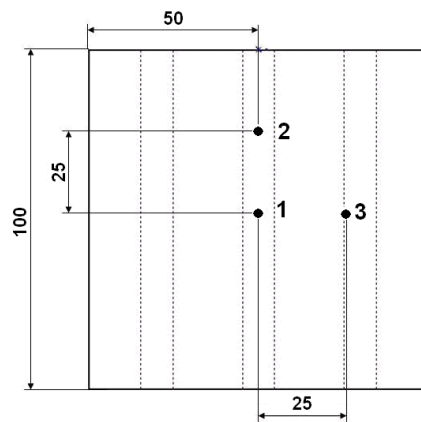
Hình 2: Máy gia nhiệt bằng cảm ứng từ (IHTC-02)



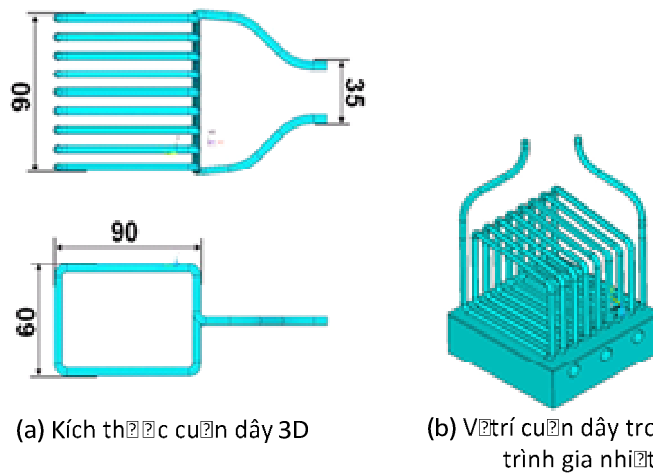
Hình 3: Induction heating for injection mold plate



Hình 4: Kích thước của tấm khuôn



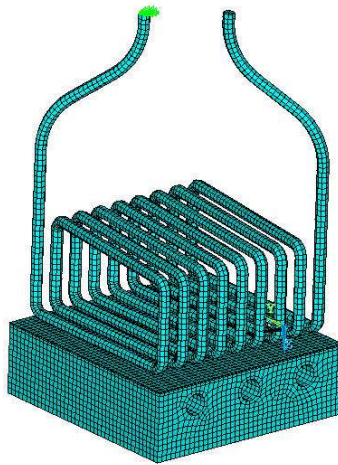
Hình 5: Vị trí các điểm đo nhiệt độ sau quá trình gia nhiệt



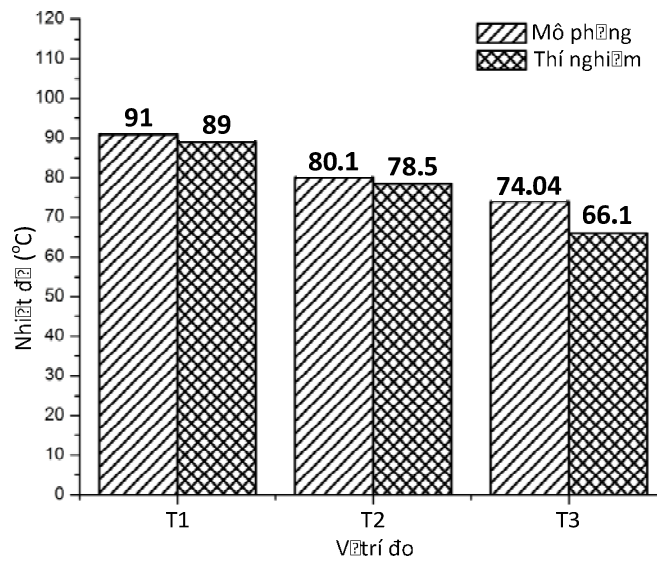
(a) Kích thước cuộn dây 3D

(b) Vị trí cuộn dây trong quá trình gia nhiệt

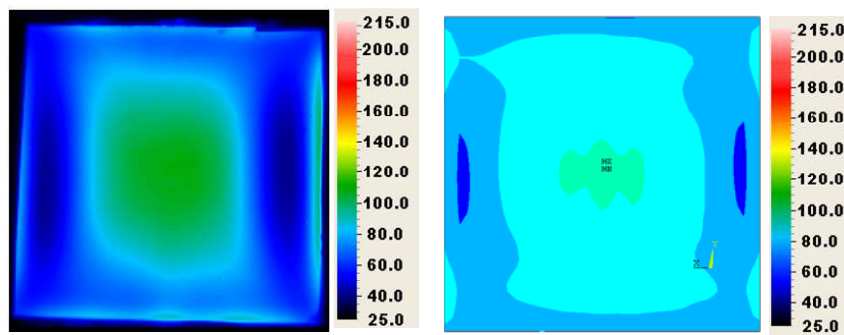
Hình 6: Kích thước (a) và vị trí (b) cuộn dây trong quá trình gia nhiệt bằng cảm ứng từ



Hình 7. Mô hình lưới khí mô phỏng bằng phần mềm ANSYS



Hình 8: Kết quả gia nhiệt tại điểm T1, T2, và T3 với cuộn dây 3D



(a) Thí nghiệm

(b) Mô phỏng

Hình 9: Phân bố nhiệt độ trên bề mặt khuôn