

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP GIA NHIỆT CẢM ỨNG TỪ CHO KHUÔN PHUN ÉP NHỰA VỚI CUỘN DÂY GIA NHIỆT ĐỘNG

RESEARCH METHODOLOGY FOR MOLD INDUCTION HEATING COILS PLASTIC WITH TEMPERATURE IN ACTION

Trần Trung Trực¹, Trần Quốc Nhiệm², Nguyễn Vinh Dự¹,
Phạm Sơn Minh³, Lê Ngọc Minh³

¹Trung tâm Ứng dụng Tiến bộ Khoa học và Công nghệ TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Gia nhiệt khuôn được sử dụng rất phổ biến trong sản xuất sản phẩm nhựa. Đặc biệt gia nhiệt bằng cảm ứng từ, ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong khuôn phun ép, do tốc độ gia nhiệt nhanh và tiết kiệm năng lượng. Hiện tại, gia nhiệt bề mặt bằng cảm ứng từ mới ứng dụng trên khuôn có một lòng khuôn để khắc phục lỗi sản phẩm như lỗi đường hàn, tăng khả năng điền đầy khuôn ở các sản phẩm mỏng. Do yêu cầu tăng năng suất nên các công ty sử dụng khuôn có nhiều lòng khuôn. Nhìn chung, gia nhiệt bề mặt bằng cảm ứng từ trên khuôn có nhiều lòng khuôn rất phức tạp, do từ trường phân bố không đều nên nhiệt độ cũng phân bố không đều trên bề mặt các lòng khuôn. Trong bài báo này sẽ nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ của lòng khuôn bằng cuộn dây gia nhiệt động di chuyển trên bề mặt khuôn độ dày tấm thép C45 có kích thước 300x500x30 mm.

Từ khóa: *Khuôn phun ép nhựa; Gia nhiệt cục bộ; Gia nhiệt bằng cảm ứng từ; Phân bố nhiệt độ tại lòng khuôn.*

ABSTRACT

Heated mold used very popular in manufacturing plastic products. Especially, heated by magnetic induction is increasingly widely used, due to rapid heating speed and save energy. Currently, the surface heating by induction of new applications on the site have a cavity to fix the error as welding lines, improve mold filling in the thin products. Due to the requirement to increase productivity so companies can use multiple cavity mold. In general, the surface heating by induction from multiple cavity mold on a very complex magnetic field due to uneven distribution of heat also unevenly distributed on the surface of the cavity.

In this paper will study the temperature distribution of the cavity with heated coil moves on the surface of the mold thickness steel plate 300x500x30 mm in size C45.

Keywords: *Injection molding, local heating, induction heating, temperature control for mold cavity.*

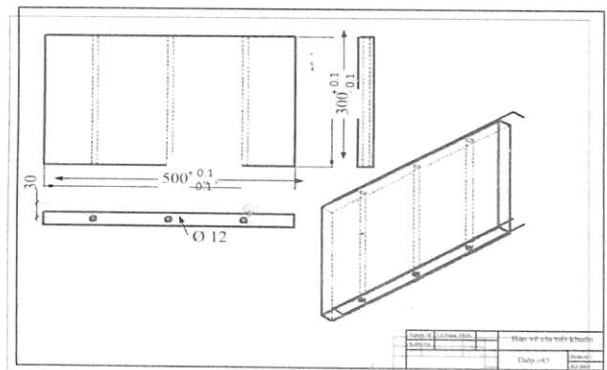
1. TỔNG QUAN

Do sự phát triển của xã hội và sự gia tăng dân số nên nguyên vật liệu trong tự nhiên sử dụng cho sản xuất dụng cụ, thiết bị, hàng tiêu dùng ngày càng khan hiếm. Vì thế, nguyên liệu nhựa ngày càng sử dụng phổ biến, từ sản phẩm tiêu dùng đến sản phẩm công nghệ cao. Nhưng nguồn nguyên liệu có hạn mà nhu cầu tiêu dùng thì có hướng tăng nên để phát triển bền vững, chúng ta phải sử dụng nguyên liệu hợp lý. Hiện nay, các công ty đã đầu tư các công nghệ gia nhiệt khuôn phun ép để làm tăng chất lượng sản phẩm, giảm sản phẩm lỗi, giảm chi phí sản xuất [4]. Trong những công nghệ gia nhiệt khuôn như gia nhiệt bằng dầu nóng, khí nóng, điện trở, hồng ngoại, cảm ứng từ thì công nghệ cảm ứng từ được đánh giá cao [1]. Tùy theo từng loại nhựa mà yêu cầu nhiệt độ khuôn khác nhau. Ví dụ nhựa PS nhiệt độ đông đặc thấp nên nhiệt độ lòng khuôn yêu cầu 60°C-70°C, nhựa PC nhiệt độ đông đặc cao nên nhiệt độ lòng khuôn yêu cầu 90°C-120°C. Trong thời gian bơm nhựa điền đầy lòng khuôn (thường nhỏ hơn 2 giây) nên giữ nhiệt độ lòng khuôn lớn hơn nhiệt độ đông đặc, vì như vậy sẽ giảm được các lỗi sản phẩm, chất lượng sản phẩm ổn định, công ty tăng khả năng cạnh tranh.

Với những yêu cầu của gia nhiệt khuôn, người ta đánh giá cao phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ vì cảm ứng từ chỉ làm nóng bề mặt lòng khuôn trong thời gian ngắn. Hiện nay, có ba phương pháp gia nhiệt khuôn bằng cảm ứng từ: Cuộn dây bao xung quanh khuôn; Cuộn dây đặt bên trong khuôn; Cuộn dây do cánh tay máy đưa vào gia nhiệt bề mặt khuôn. Mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm, trong nghiên cứu này sử dụng cuộn dây gia nhiệt bề mặt khuôn. Đã có nhiều nghiên cứu và ứng dụng gia nhiệt cảm ứng từ trên khuôn phun ép

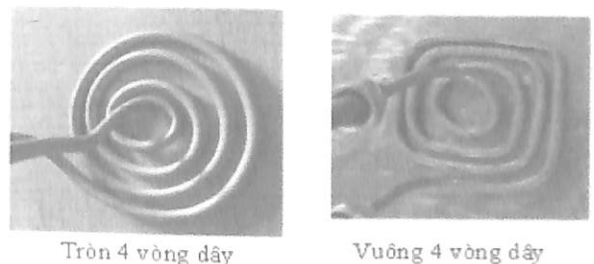
có một lòng khuôn, ví dụ lòng khuôn có biên dạng hình chữ nhật thì dùng cuộn dây hình chữ nhật [3], nhưng chưa có nghiên cứu gia nhiệt động trên bề mặt khuôn. Vấn đề nghiên cứu này cần giải quyết là: Khoảng cách cuộn dây đến bề mặt khuôn tương thích; Hình dạng nhiệt độ cuộn dây tròn và dây vuông; Vận tốc di chuyển cuộn dây trên bề mặt khuôn.

Trong tổng thời gian rút cánh tay máy và đóng khuôn (khoảng 5 giây) nhiệt từ mặt phân khuôn truyền vào lòng khuôn phải đạt yêu cầu. Do chỉ được gia nhiệt trên bề mặt nên thời gian giải nhiệt ngắn. Khuôn âm được sử dụng trong thí nghiệm có kích thước 300x500x30 mm³, trên khuôn có sáu lòng khuôn như hình 1.



Hình 1. Khuôn dùng thực hiện thí nghiệm.

Nghiên cứu này, sử dụng phương pháp gia nhiệt bề mặt khuôn bằng ba loại cuộn dây tròn và vuông như hình 2.



Hình 2. Cuộn dây gia nhiệt dùng trong thí nghiệm.

2. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

Trong nghiên cứu này, khuôn được chế tạo bằng thép C45, cuộn dây được chế tạo bằng ống đồng đường kính 6mm.

Bảng 1. Thông số thí nghiệm:

Thông số thí nghiệm		
Tên gọi	Giá trị	Đơn vị
Tần số dòng điện cao tần	25	kHz
Cường độ dòng điện tối đa hiển thị ở đồng hồ máy phát	50	A
Khoảng cách giữa cuộn dây và mặt phân khuôn	3,5,7	mm
Thời gian gia nhiệt	30	s
Vận tốc di chuyển cuộn dây	20, 60, 120, 180	mm/s
Cuộn dây gia nhiệt	Vuông, tròn	

Khuôn có kích thước 300x500x30 mm³. Tấm khuôn dạng mặt phẳng, tiến hành gia nhiệt cho khuôn với thời gian gia nhiệt là 30s, với vận tốc di chuyển cuộn dây là 20 mm/s, 60 mm/s, 120 mm/s, 180 mm/s. Cuộn dây được đặt cách mặt phân khuôn 3mm. Đo nhiệt độ bằng máy đo hồng ngoại với khoảng cách đo theo tiêu chuẩn qui định của máy (16cm). Đo nhiệt độ trên: Mặt phân khuôn với 11 điểm trên bề mặt khuôn. Mỗi lần đo xong một vị trí, cho nước vào giải nhiệt về nhiệt độ ban đầu (khoảng 30⁰C). Sau đó tiếp tục tiến hành gia nhiệt và đo ở vị trí khác.

Sau khi tiến hành thí nghiệm xác định thời gian gia nhiệt thích hợp ta được kết quả như bảng 2 và bảng 3.

Trong nghiên cứu này, sử dụng phần mềm COMSOL Mutiphysics 5.0 để mô phỏng quá trình gia nhiệt khuôn phun ép [2].

Quá trình mô phỏng gia nhiệt cảm ứng từ dựa vào phương trình Maxwell:

$$\nabla \times E = -j\omega B;$$

$$\nabla \times H = J;$$

$$H = \frac{B}{\mu}; \quad E = \frac{J}{\sigma}; \quad \nabla \times J = -j\omega \sigma B;$$

$$\nabla \times B = \mu J; \quad -\frac{dB_x}{dy} = \mu J_z; \quad \frac{dB_z}{dy} = -j\omega \sigma B_x; \quad \frac{d^2 J_z}{dy^2} = j\omega \mu \sigma J_z;$$

$$J_z(y) = J_1 e^{Ky} + J_2 e^{-Ky}$$

[5]. Áp dụng công thức tính dòng điện Eddy để xác định phân bố nhiệt độ trên các lòng khuôn,

$$\vec{J}_e = -i\omega\sigma\vec{A}; \quad Q = \frac{1}{2\sigma} |\vec{J}_e|^2$$

J_e : Mật độ dòng điện Eddy; Q : Nhiệt lượng sinh ra bởi dòng điện Eddy.

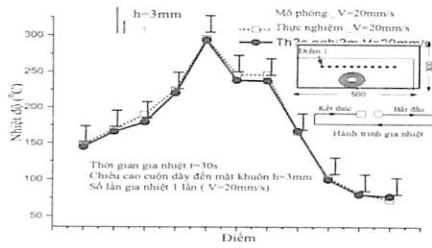
Bảng 2. Kết quả gia nhiệt cuộn dây tròn với vận tốc thay đổi.

Điểm	Thực nghiệm V=20mm/s	Thực nghiệm V=60mm/s	Thực nghiệm V=120mm/s	Thực nghiệm V=180mm/s
1	144.5°C	180.0°C	185.3°C	195.3°C
2	166.1°C	186.3°C	187.5°C	207.7°C
3	179.3°C	210.2°C	215.6°C	220.2°C
4	220.1°C	233.1°C	226.4°C	228.3°C
5	293.3°C	270.1°C	264.5°C	259.5°C
6	238.2°C	209.5°C	205.1°C	198.3°C
7	237.5°C	211.4°C	209.4°C	210.1°C
8	167.5°C	150.3°C	155.8°C	159.4°C
9	100.2°C	109.4°C	128.1°C	136.9°C
10	80.1°C	105.4°C	119.3°C	134.0°C
11	77.3°C	105.0°C	119.1°C	134.0°C

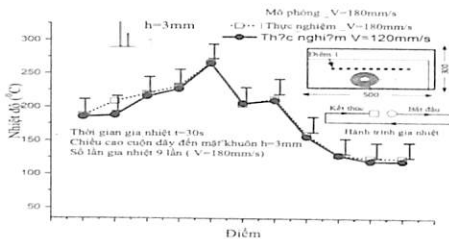
Bảng 3. Kết quả gia nhiệt cuộn dây vuông với vận tốc thay đổi:

Điểm	Thực nghiệm V=20mm/s	Thực nghiệm V=60mm/s	Thực nghiệm V=120mm/s	Thực nghiệm V=180mm/s
1	178.2°C	208.1°C	217.0°C	220.0°C
2	189.3°C	219.3°C	225.0°C	235.5°C
3	220.1°C	237.5°C	239.1°C	240.5°C
4	272.4°C	272.3°C	265.1°C	258.8°C
5	304.2°C	279.4°C	272.3°C	260.1°C
6	239.2°C	202.5°C	215.3°C	209.1°C
7	235.8°C	207.3°C	214.2°C	217.3°C
8	180.1°C	170.1°C	165.4°C	177.3°C
9	112.1°C	116.0°C	139.3°C	152.2°C
10	93.2°C	116.3°C	127.3°C	151.1°C
11	79.3°C	115.3°C	128.3°C	150.3°C

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 3. So sánh kết quả phân bố nhiệt độ của mô phỏng và thí nghiệm cuộn dây xoắn tròn.



Hình 4. So sánh kết quả phân bố nhiệt độ của mô phỏng và thí nghiệm cuộn dây xoắn tròn.

Trong nghiên cứu này, thông qua quá trình di chuyển cuộn dây và thay đổi hình dạng cuộn dây, ta có các kết luận như sau: Vùng mặt phẳng phân khuôn gần cuộn dây nhất nên từ trường tập trung cao nhất. Khi khoảng cách cuộn dây càng nâng lên thì nhiệt độ giảm xuống. Cuộn dây tròn có nhiệt độ cao và đều trên bề mặt khuôn. Cuộn dây xoắn vuông góc có tốc độ gia nhiệt nhanh hơn cuộn dây xoắn tròn nhưng nhiệt độ tại các lòng khuôn không đều. Cuộn dây hình chữ nhật có sự phân bố từ trường tương đối đều nên nhiệt độ tại các lòng khuôn tương đối đồng đều. Nhưng tốc độ gia nhiệt chậm không thích hợp trong sản xuất. Khi tăng tốc độ di chuyển cuộn dây thì nhiệt độ trên bề mặt khuôn được phân bố đều hơn và độ chênh lệch nhiệt độ được rút ngắn.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tốc độ gia nhiệt cảm ứng từ trên bề mặt khuôn phun ép rất nhanh. Bằng kết quả mô phỏng và thí nghiệm

cho phép đưa ra kết luận sau:

Khoảng cách giữa bề mặt cuộn dây và mặt phân khuôn có ảnh hưởng lớn đến sự phân bố nhiệt độ trên khuôn.

Kích thước thước hình dạng cuộn dây nên ở trong khoảng 80% đến 90% so với kích thước hình dạng bố trí các lòng khuôn. Kích thước lớn hơn làm nhiệt độ phân bố trên mặt phân khuôn nhiều hơn trong lòng khuôn.

Tốc độ gia nhiệt của cuộn dây xoắn tròn nhanh hơn cuộn dây xoắn vuông góc.

Bước của cuộn dây gia nhiệt ảnh hưởng lớn đến tốc độ gia nhiệt.

Vận tốc di chuyển cuộn dây làm nhiệt độ thay đổi. ❖

Ngày nhận bài: 05/7/2018

Ngày phản biện: 16/7/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. G. Wang, G. Zhao, H 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 & Design* 31 (1) (2010) 382-395.
- [2]. PGS, TS. Đặng Thành Trung, *COMSOL – Nền tảng và ứng dụng trong mô phỏng số*, NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [3]. S. C. Chen, W. R. Jong, and J. A. Chang, *Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance on weld line*, *J. Appl. Polym. Sci.*, 101 (2006) 1174-1180.
- [4]. Keun Park, Dong-Hwi Sohn, Kwang-Hwan Cho, *Eliminating weldlines of an injection-molded part with the aid of high-frequency induction heating*, *Journal of Mechanical Science and Technology* 24 (2010) 149-152.
- [5]. Savia D. J., *Induction Heating of Samples in Vacuum Systems*. In *The Proceeding of the COMSOL Users conference 2007 Grenoble*, 2007.