

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ LÀM MÁT KHUÔN ÉP NHỰA SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ EFFICIENCY OF PLASTIC INJECTION MOLD COOLING USING NUMERICAL METHOD

PHẠM DUY NAM, PHẠM LÊ BẮC, PHẠM VĂN SÁNG*

Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: sang.phamvan@hust.edu.vn

Tóm tắt

Khuôn ép nhựa được biết đến như một phương pháp phổ biến tạo hình sản phẩm theo phương pháp định hình. Quá trình tạo ra sản phẩm là việc phun dòng nhựa nóng chảy điền đầy lòng khuôn và kết thúc bằng quá trình đông tụ nhanh chóng của nhựa nhờ hệ thống làm mát [1]. Nghiên cứu tập trung tìm ra phương pháp làm mát tối ưu bằng cách thay đổi đặc tính làm việc của hệ thống làm mát và với việc thay đổi vật liệu của chi tiết. Bằng việc áp dụng phương pháp mô phỏng số sử dụng phần mềm Simcenter STAR - CCM+, kết quả đưa ra đã đánh giá được hiệu quả của từng phương pháp làm mát và đưa ra được phương pháp tối ưu nhất là giảm nhiệt độ nước làm mát và sử dụng vật liệu đồng berry tại vị trí đặc biệt xét đến.

Từ khóa: Nhiệt độ, tản nhiệt, khuôn ép nhựa.

Abstract

Plastic injection mold is known as the most popular method to create the shaping plastic product. The melting plastic is filled the mold and the end of process is the fast condensation of molten plastic by cooling system. This study focusses on survey the efficiency of mold cooling by changing input conditions that are velocity, temperature of cooling water and material of mold details. By using simulation method with Simcenter STAR - CCM+, the results obtained that the best cooling method is reducing water temperature and using berry cooper for some special mold details at special location.

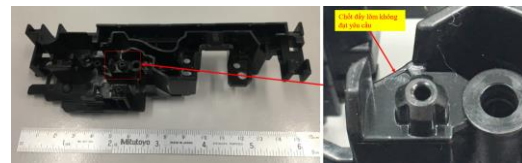
Keywords: Temperature, cooling, plastic injection mold.

1. Giới thiệu

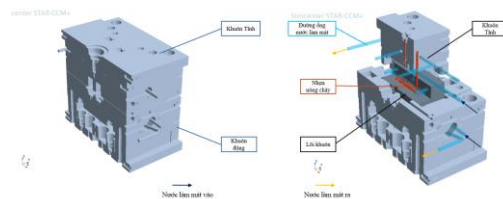
Ngành cơ khí chế tạo là một trong những ngành công nghiệp mũi nhọn của nước ta được chú trọng phát triển. Trong đó lĩnh vực khuôn mẫu luôn chiếm ưu thế hàng đầu. Với nhu cầu sử dụng sản phẩm chế

tác từ nhựa vô cùng lớn của nước ta, đòi hỏi một dây chuyền chế tạo tốc độ, ổn định và phải đảm bảo tiêu chuẩn hình học. Việc áp dụng phương pháp khuôn ép nhựa đã đem lại rất nhiều ưu thế về sản lượng, chất lượng, chi phí vận hành,... Tuy nhiên, với điều kiện làm việc liên tục nhiều giờ trong ngày, việc mất ổn định nhiệt độ khuôn là hiện tượng dễ thấy và điều đó dẫn đến tình trạng sản phẩm bị biến dạng tại một số vị trí, không đạt tiêu chuẩn về chất lượng (Hình 1).

Nghiên cứu này tập trung tìm ra phương pháp làm mát tối ưu, đặc biệt đối với vị trí chốt đẩy trên Hình 1.



Hình 1. Sản phẩm bị lỗi do quá nhiệt tại vị trí chốt đẩy



Hình 2. Mô hình hình học của khuôn

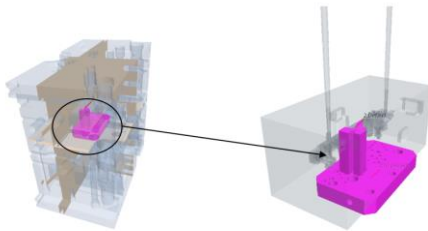
Mô hình khuôn có tính chất đối xứng, do đó mô phỏng được tiến hành với một nửa khuôn với điều kiện biên đối xứng tại bề mặt cắt đối xứng nhằm đảm bảo tính thực tế của hiện tượng vật lý. Mô hình 3D của khuôn được biểu thị dưới Hình 2. Vật liệu ban đầu được sử dụng cho vỏ khuôn tĩnh và động là thép S55C với nhiệt độ ban đầu của nửa khuôn tĩnh là 313,0K, nửa khuôn động là 301,0K. Phần lõi khuôn được chọn tiêu chuẩn ban đầu bằng vật liệu Stavax và nhựa nóng chảy sử dụng vật liệu là PPE+PS với nhiệt độ nóng chảy 555,0K.

Nhóm tác giả sử dụng phương pháp thay đổi thông số đầu vào của hệ thống làm mát, sử dụng vật liệu lõi khuôn ban đầu là Stavax để nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc và nhiệt độ của dòng nước đến hiệu quả tản nhiệt của khuôn. Các giá trị lần lượt được thay đổi là

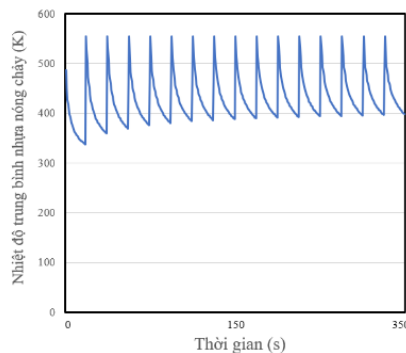
vận tốc và nhiệt độ, kết quả mô phỏng so sánh với một trường hợp được cho là cơ sở để đánh giá tính hiệu quả của từng trường hợp thay đổi thông số. Giá trị dữ liệu đầu vào với hệ thống làm mát được biểu thị dưới Bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu đầu vào các trường hợp

Trường hợp	Vận tốc nước làm mát (m/s)	Nhiệt độ nước làm mát (K)
Trường hợp 1	1,0	293,0
Trường hợp 2	2,0	293,0
Trường hợp 3	1,0	283,0



Hình 3. Chi tiết chốt đẩy



Hình 4. Đồ thị nhiệt độ trung bình nhựa nóng chảy - thời gian

Với kết quả của khảo sát 1, dữ liệu của trường hợp làm mát tối ưu nhất sẽ được sử dụng cho khảo sát 2. Bài khảo sát này sử dụng phương pháp thay đổi vật liệu chi tiết tại vị trí chốt đẩy (Hình 3) nhằm đánh giá ảnh hưởng của vật liệu đến quá trình tản nhiệt trong điều kiện làm việc thời gian dài. Vật liệu được chọn sử dụng để so sánh là vật liệu Stavax và đồng Berry. Để đơn giản hóa cho mô phỏng, miền thể tích nhựa được đưa về chu kỳ nhiệt với thời gian 22s một chu kỳ. Trong đó, ở đầu chu kỳ, nhiệt độ vùng nhựa nóng

chảy được đưa về giá trị 555,0K tương ứng với nhiệt độ của nhựa nóng chảy được đưa vào khuôn, sau đó nhiệt độ sẽ giảm tự do nhờ quá trình lan truyền nhiệt và việc hệ thống làm mát hoạt động (thể hiện ở đồ thị “nhiệt độ trung bình nhựa nóng chảy - thời gian” Hình 4). Điều này đảm bảo việc hoạt động của khuôn được diễn ra đúng với thực tế làm việc.

2. Phương pháp mô phỏng số

Phương pháp mô phỏng số với phần mềm Simcenter STAR-CCM+ được nhóm tác giả chọn sử dụng nhằm mô phỏng các trường hợp làm mát. Các bài toán đưa ra cần giải quyết là tính toán dòng chảy trong đường ống làm mát quá trình truyền nhiệt trong môi trường và tương tác nhiệt giữa các môi trường rắn lỏng. Từ các vấn đề đó chọn ra được các phương pháp, mô hình phù hợp để giải quyết bài toán tổng thể.

2.1. Phương trình Reynold Averaged Navier-Stoke (RANS)

Phương trình RANS là phương trình đặc trưng biểu diễn chuyển động của các phần tử chất lỏng trong không gian. Nó giải quyết bài toán chuyển động của dòng nước làm mát trong đường ống với sự vận động liên tục. Phương trình đó được biểu diễn như sau:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} +$$

$$\mu \Delta \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) = F_y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} +$$

$$\mu \Delta \bar{v} - \rho \left(\frac{\partial \overline{v'u'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} +$$

$$\mu \Delta \bar{w} - \rho \left(\frac{\partial \overline{w'u'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{w'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w'w'}}{\partial z} \right) \quad v, w \quad (3)$$

Trong đó: ρ là khối lượng riêng chất lỏng; u, v, w lần lượt là các thành phần vận tốc theo phương x, y, z ; t là thời gian; F_x, F_y, F_z là lực theo các phương x, y, z ; p là áp suất.

Từ các phương trình (1), (2) và (3) ta có phương trình tổng quát chuyển động của các phần tử chất lỏng trong không gian:

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} = F_i + \mu \Delta \bar{u}_i - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

2.2. Trao đổi nhiệt

Truyền nhiệt là sự trao đổi nhiệt lượng giữa các môi chất ở nhiệt độ khác nhau. Quá trình trao đổi nhiệt diễn ra theo hướng truyền nhiệt năng từ nơi có nhiệt

độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp cho đến khi nhiệt độ được cân bằng thì ngừng lại [3]. Truyền nhiệt được tồn tại dưới ba hình thức: Dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ nhiệt. Ở đây chúng tôi xét đến hai bài toán truyền nhiệt trong chất lỏng và truyền nhiệt trong chất rắn.

Trong Star-CCM+, sự truyền nhiệt trong môi trường được tính toán dựa trên phương trình năng lượng trong chất lỏng. Phương trình năng lượng trong chất lỏng được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho E dV + \oint_A \rho H v \cdot da = - \oint_A \dot{q}'' \cdot da + \oint_A T \cdot v da + \int_V f_b \cdot v dV + \oint_A \sum_i h_i j_i da + \int_V S_u dV \quad (5)$$

Trong đó: E là tổng năng lượng; H là tổng enthalpy; \dot{q}'' là véc tơ thông lượng nhiệt; T là ứng suất căng nhớt; v là véc tơ vận tốc; f_b là véc tơ lực khối; h_i là enthalpy của thành phần; j_i là dòng khuếch tán của thành phần; ρ là khối lượng riêng mỗi chất; V là thể tích; a là diện tích S_u là nguồn nhiệt.

Tổng năng lượng liên quan đến tổng enthalpy H :

$$E = H - p/\rho \quad (6)$$

Trong đó: $H = h + \frac{|v|^2}{2}$ với h là enthalpy tĩnh.

Phương trình năng lượng trong chất rắn:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho C_p T dV + \oint_A \rho C_p T v_s \cdot da = - \oint_A \dot{q}'' \cdot da + \int_V S_u dV \quad (7)$$

Trong đó: ρ là khối lượng riêng của vật chất rắn; C_p là nhiệt dung riêng; T là nhiệt độ; \dot{q}'' là véc tơ thông lượng nhiệt; S_u là nguồn nhiệt.

2.3. Truyền nhiệt kết hợp môi trường lỏng - rắn

Mô hình mô phỏng truyền nhiệt kết hợp môi trường lỏng - rắn giải quyết vấn đề trao đổi nhiệt giữa hai môi trường rắn - lỏng, việc trao đổi dữ liệu nhiệt giữa các môi trường diễn ra trên bề mặt tiếp giáp giữa

hai môi trường này. Dựa trên định luật bảo toàn năng lượng, tổng thông lượng nhiệt được bảo toàn tại bề mặt tiếp xúc giữa hai môi trường. Tại bề mặt này, hai biên được xác định rõ với biên $Biên_0$ thuộc vùng chất lỏng và $Biên_1$ thuộc vùng rắn.

Sự bảo toàn năng lượng đảm bảo:

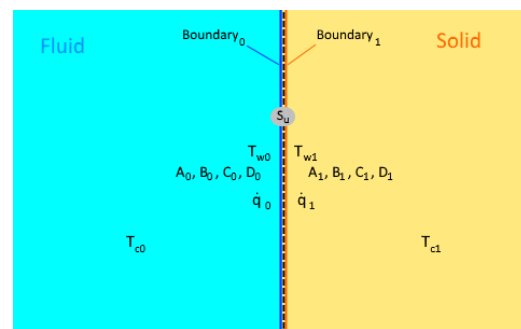
$$\dot{q}_0 + \dot{q}_1 = -S_u \quad (8)$$

Trong đó: \dot{q}_0 là thông lượng nhiệt từ chất lỏng thông qua $Biên_0$; \dot{q}_1 là thông lượng nhiệt từ chất rắn thông qua $Biên_1$; S_u là nguồn nhiệt do người dùng đặt.

Thông lượng nhiệt trên mỗi mặt của bề mặt tiếp giáp được biểu diễn dưới dạng hệ số thông lượng nhiệt tuyến tính:

$$\dot{q}_i = A_i + B_i T_{c_i} + C_i T_{w_i} + D_i T_{w_i}^4 \quad (9)$$

Trong đó: i là chỉ số môi trường, bằng 0 đối với môi trường lỏng và 1 đối với môi trường rắn; A, B, C, D là các hệ số thông lượng nhiệt tuyến tính; T_c là nhiệt độ ô lưới bên cạnh mặt biên; T_w là nhiệt độ của môi trường tại vị trí mặt tiếp giáp.

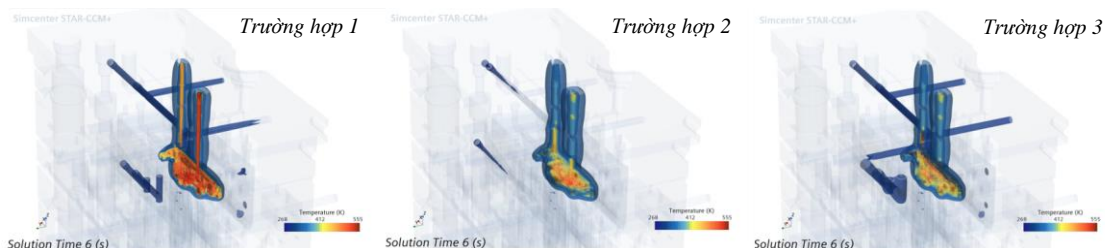


Hình 5. Mô tả phương thức hoạt động của mô hình truyền nhiệt kết hợp

3. Kết quả và đánh giá

3.1. Khảo sát với việc thay đổi vận tốc, nhiệt độ dòng nước làm mát

Tổng thời gian mô phỏng được chia làm các chu kỳ nhiệt. Mỗi chu kỳ kéo dài 22s tương đương với một quá trình điền đầy nhựa vào khuôn và thành sản phẩm.

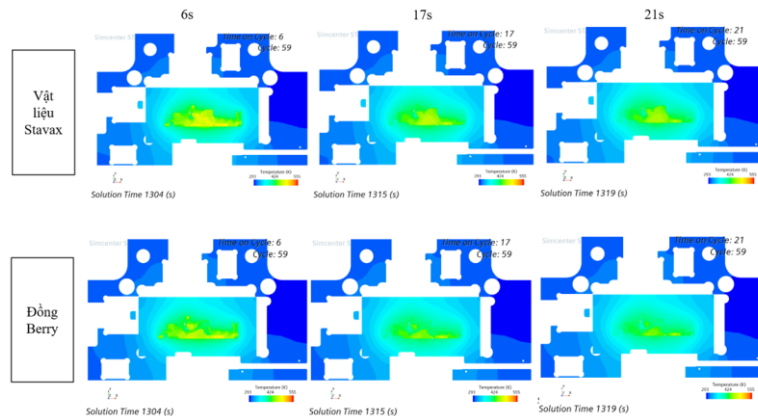


Hình 6. Phân bố nhiệt dưới dạng 3D

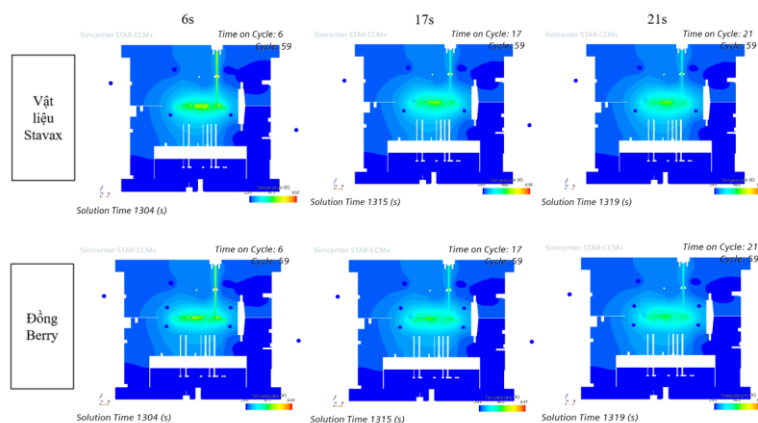
Kết quả được lấy tại mốc thời gian giây thứ 6 của chu kỳ thứ 59 là thời điểm đã hoàn tất việc phun nhựa và tiến hành làm nguội nhựa tại chu kỳ 59.

Kết quả ở Hình 6 hiển thị dưới dạng 3D của trường nhiệt độ, được biểu thị bằng dải màu với dải giá trị nhiệt tương ứng chạy trong khoảng [268,0; 555,0] K.

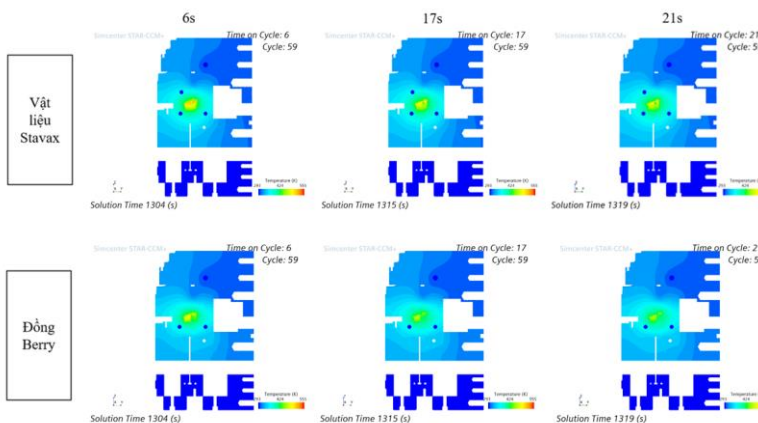
Kết quả hiển thị phân bố nhiệt khu vực quanh vùng lõi khuôn là vùng nhựa nóng chảy ở nhiệt độ cao cho thấy trường hợp có thể tích vùng nhiệt độ cao hơn được xếp theo thứ tự giảm dần là: Trường hợp 1 > trường hợp 2 > trường hợp 3. Do đó có thể đánh giá việc giảm nhiệt độ của nước làm mát cho khả năng làm mát tốt hơn việc tăng vận tốc nước làm mát.



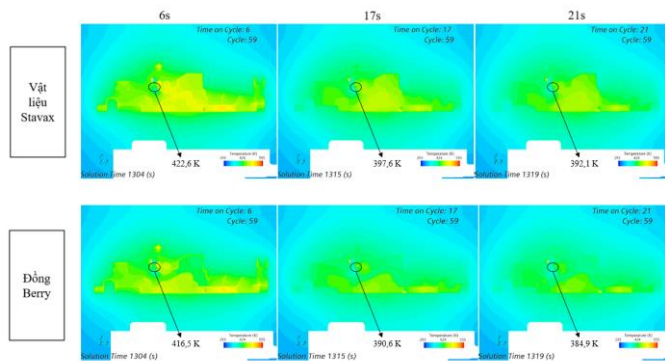
Hình 7. Hiển thị trường nhiệt độ tại mặt cắt Oxy đi qua vị trí đặt chi tiết chốt đẩy



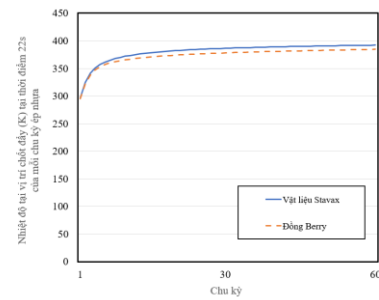
Hình 8. Hiển thị trường nhiệt độ tại mặt cắt Oxz



Hình 9. Hiển thị trường nhiệt độ tại mặt cắt Oyz



Hình 10. Hiển thị trường nhiệt độ vị trí chốt đẩy trên mặt cắt Oxy



Hình 11. Đồ thị nhiệt độ tại vị trí chốt đẩy chi tiết chốt đẩy (K)

3.2. Khảo sát với việc thay đổi vật liệu chi tiết chốt đẩy

Từ kết quả của khảo sát thay đổi đặc tính của nước làm mát, khảo sát tiếp theo sử dụng trường hợp giảm nhiệt độ nước làm mát để tiếp tục nghiên cứu tính ảnh hưởng của vật liệu làm khuôn. Bài toán khảo sát trong điều kiện khuôn làm việc liên tục trong thời gian dài, được quy đổi thành các chu kỳ nhiệt với thời gian mỗi chu kỳ là 22s. Kết quả hiển thị các mặt cắt tại vị trí chốt đẩy tại chu kỳ làm việc thứ 59 theo Hình 7, 8 và 9 lần lượt là các mặt cắt theo các phương qua trọng tâm khuôn và Hình 10 là mặt cắt qua chi tiết chốt đẩy nhằm khảo sát nhiệt độ tại vùng này sau một khoảng thời gian làm việc.

Tại cùng thời điểm tương ứng, vật liệu đồng berry cho dải màu trường nhiệt độ có sắc độ thấp hơn, có nghĩa là có các vùng giá trị nhiệt thấp hơn so với trường hợp sử dụng vật liệu Stavax cho vị trí chốt đẩy. Do đó có thể đánh giá được khả năng tản nhiệt của khuôn tốt hơn khi thay đổi vật liệu thành đồng Berry.

Thông qua biểu diễn trường nhiệt độ tại vị trí chốt đẩy cùng với giá trị cụ thể (Hình 11), kết quả cho thấy so với vật liệu Stavax, nhiệt độ có giá trị thấp hơn khi sử dụng vật liệu đồng Berry với các mốc thời gian tương ứng.

Đồ thị biểu diễn nhiệt độ tại vị trí chốt đẩy, tại thời điểm cuối mỗi chu kỳ (giây thứ 22) cho thấy khuôn hoạt động càng lâu, hiệu quả làm mát bằng việc thay đổi vật liệu càng ổn định.

4. Kết luận

Qua mô phỏng, kết quả của việc khảo sát trường nhiệt độ khuôn ép nhựa dựa trên phương pháp thay đổi nhiệt độ, vận tốc dòng nước làm mát và thay đổi vật liệu của chi tiết chốt đẩy giữa vật liệu Stavax và đồng berry cho thấy: Việc giảm nhiệt độ dòng nước làm mát hiệu quả hơn so với việc tăng vận tốc dòng nước và việc sử dụng vật liệu đồng berry cho hiệu quả

tản nhiệt tốt hơn so với vật liệu Stavax. Kết quả của bài báo có thể là cơ sở giúp nghiên cứu các phương pháp tản nhiệt tối ưu cho khuôn ép nhựa.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, đề tài mã số **T2021-PC-040**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Arora, A. et al. (2022), *Design and analysis of multi cavity injection mould using solidworks*, Materials Today: Proceedings, Vol.56, pp.3648-3650. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.343>.
- [2] Bogaerts, L. et al. (2020), *Influence of thermo-mechanical loads on the lifetime of plastic inserts for injection moulds produced via additive manufacturing*, Procedia CIRP, Vol.96, pp.109-114. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.061>.
- [3] Siegel, R., and Howell, J.R. (1992), *Thermal Radiation Heat Transfer*, Third Edition, Hemisphere Publishing Co..

Ngày nhận bài:	28/7/2022
Ngày nhận bản sửa:	08/8/2022
Ngày duyệt đăng:	18/8/2022