

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH BỐ CỤC CHO KHUÔN ÉP NHỰA NHIỀU LÒNG KHUÔN

METHOD FOR DETERMINING THE LAYOUT OF FAMILY MOLD

Trần Xuân Hiệp^{1,2}, Đồng Văn Keo^{1,2}, Bành Quốc Nguyên^{1,2*}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Khuôn nhiều lòng khuôn là một phương pháp hiệu quả để sản xuất các sản phẩm nhựa hàng loạt vừa và nhỏ nhằm giảm giá thành gia công. Hai điều kiện được đưa ra trong bài toán cân bằng khuôn là độ mất áp suất dòng nhựa qua các đoạn rẽ nhánh tới các lòng khuôn phải giống nhau. Bên cạnh đó, thời gian điền đầy qua các giai đoạn trên kênh dẫn, cổng phun nhựa và sản phẩm phải giống nhau nhằm tránh các khuyết tật sản phẩm cũng như dễ dàng điều chỉnh chế độ ép nhựa. Nghiên cứu đặt trọng tâm vào việc xây dựng cơ sở toán học nhằm xác định bố cục sơ bộ cho khuôn nhiều lòng khuôn. Phương pháp luận được xây dựng từ tính chất lưu biến của dòng chảy nhựa, sử dụng mô hình nhớt Power law và mối quan hệ giữa độ nhớt và tốc độ cắt. Thiết kế cân bằng cho khuôn hai lòng khuôn được đưa ra cho thấy lợi ích của phương pháp tính đã đề xuất.

Từ khóa: Khuôn nhiều lòng khuôn; Thời gian điền đầy; Độ sụt áp; Power law.

ABSTRACT

Family mold is an effective method for small and medium mass production, reducing outsourcing costs, and is applied in plastic injection molding applications. Two conditions are proposed in the Family mold balancing problem: the pressure drop of the plastic flow through branching sections to different cavities must be the same. Additionally, the filling time through the runner system, gates, and products must be the same to avoid product defects and facilitate easy adjustment of the molding process. The research focuses on establishing a mathematical basis to determine a preliminary layout for the Family mold. The theoretical method is built upon the rheological properties of plastic flow, using the Power law viscosity model and the relationship between viscosity and shear rate. An example of balanced design for a 2-Cavity Family mold demonstrates the benefits of the proposed method in determining the runner system design at the initial stage.

Keywords: Family mold; Filling time; Pressure Drop; Power law.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khuôn nhiều lòng khuôn khác nhau được sử dụng nhiều trong sản xuất sản phẩm nhựa ví dụ như đồ chơi và sản phẩm gia dụng, vì có thể sản xuất hiệu quả và tiết kiệm các sản phẩm nhựa khác nhau [1]. Trong thiết kế khuôn nhiều lòng khuôn (TKKNLK), cách bố trí bố cục lòng khuôn là công việc quan trọng nhất, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất của khuôn và nhiều yếu tố then chốt về thiết kế như: điền đầy nhựa, kênh dẫn, lõi khuôn, khuôn và các yếu tố khác [2]. Khó khăn trong TKKNLK liên quan đến các tổ hợp sắp xếp lòng khuôn, kênh dẫn và độ phức tạp của các sản phẩm [3]. Các phương pháp TKKNLK thủ công phụ thuộc vào con người và sự thiếu hụt các nhà thiết kế khuôn mẫu có kinh nghiệm gây ra thời gian thiết kế dài, thiết kế không tối ưu.

Trong quá trình thiết kế khuôn, việc cân bằng hệ thống kênh dẫn là vô cùng quan trọng khi thiết kế khuôn, các thông số được điều chỉnh như: thể tích kênh dẫn, áp suất ép, hướng kênh dẫn... mục tiêu hướng đến về tối ưu chi phí, cân bằng dòng chảy, thời gian điền đầy... [4], [5]. Hệ thống kênh dẫn phải được thiết kế sao cho mỗi lòng khuôn được lấp đầy ở cùng thời điểm và áp suất. Khi hệ thống kênh dẫn được sử dụng để cân bằng dòng chảy, tổng độ mất áp suất điền đầy của kênh dẫn cộng với độ sụt áp lòng khuôn phải bằng nhau tính từ các nhánh rẽ [6]. Việc thay đổi hệ thống kênh dẫn sẽ làm thay đổi mức giảm áp suất trong lòng khuôn vì tốc độ dòng chảy và hệ số ma sát nhiệt sẽ thay đổi. Sự cân bằng giữa các lòng khuôn khác nhau và bên trong từng lòng khuôn càng đồng đều thì chất lượng sản phẩm càng cao và dễ dàng để sản xuất.

Hiện nay, cùng với sự phát triển của công nghệ ép phun, có một số phần mềm CAE

(computer aided engineering) thương mại chẳng hạn như Moldflow [7] được sử dụng rộng rãi và cũng được chấp nhận như một công cụ dành cho nghiên cứu. Tuy nhiên, có một số khó khăn khi sử dụng các phần mềm trên để cân bằng độ sụt áp hay thời gian điền đầy. Các kỹ sư cần phải chuẩn bị các kỹ năng về mô hình hóa 3D và kiến thức mô phỏng [8]. Khi thay đổi tham số thiết kế cần thực hiện lại chu kỳ mô phỏng sẽ tốn nhiều thời gian. Hơn nữa, các phần mềm mô phỏng thương mại như trên khá tốn kém để mua và vận hành, và để truy cập từng mô-đun mô phỏng riêng cần phải mua thêm giấy phép. Để giải quyết vấn đề trên, nhóm tác giả cung cấp một giải pháp sử dụng Microsoft Excel để thu được các tính toán lý thuyết [9], sau đó kết quả được đưa vào mô phỏng Moldflow. Với ý tưởng đó, việc kết hợp tính toán lý thuyết sơ bộ, sau đó sử dụng kết quả vào phần mềm mô phỏng hỗ trợ tốt hơn cho quá trình mô phỏng và tính toán. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp nghiên cứu sẽ tập trung vào cân bằng độ sụt áp và thời gian điền đầy, từ đó đề xuất một bố cục sơ bộ cho khuôn nhiều lòng khuôn khác nhau.

2. MÔ HÌNH TOÁN CHO DÒNG CHẢY NHỰA

2.1. Tính chất lưu biến của dòng chảy nhớt

Quá trình chảy của nhựa nóng chảy được coi là dòng gần như ổn định của của chất lỏng Newton không nén được trong điều kiện không đẳng nhiệt. Một trong những mô hình phổ biến để mô tả hành vi lưu biến của dòng nhựa là mô hình Power law [6]. Độ nhớt η không phải là hằng số mà là một hàm thay đổi với biến là tốc độ biến dạng [10], ứng suất trượt có thể biểu đạt như sau:

$$\tau = \eta(\dot{\gamma})\dot{\gamma} \quad (1)$$

Đối với chất lỏng Newton tổng quát, mối quan hệ giữa độ nhớt η và tốc độ trượt $\dot{\gamma}$ có thể được diễn đạt như sau [8]:

$$\eta = \kappa \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2)$$

Trong đó, κ là hằng số (với đơn vị $\text{P} \cdot \text{s}^{n-1}$) và n là chỉ số Power-law.

2.2. Độ mất áp qua ống tiết diện tròn

Từ phương trình liên tục của dòng chất lỏng trong tọa độ trụ, ta có phương trình rút gọn bên dưới chỉ với thành phần v_z là có giá trị:



Hình 1. Độ sụt qua ống hình trụ

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Với $v_r = v_\theta = 0$, phương trình bảo toàn động lượng trong hệ tọa độ trụ trở thành:

$$0 = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) \quad (4)$$

Tốc độ biến dạng được biểu đạt dưới phương trình:

$$\dot{\gamma} = \left| \frac{\partial v_z}{\partial r} \right| = \left| \frac{dv_z}{dr} \right| = -\frac{dv_z}{dr} \quad (5)$$

Sử dụng phương trình (1) và (2), ta có thể suy ra ứng suất cắt τ_{rz} :

$$\tau_{rz} = -\kappa \left(-\frac{dv_z}{dr} \right)^n \quad (6)$$

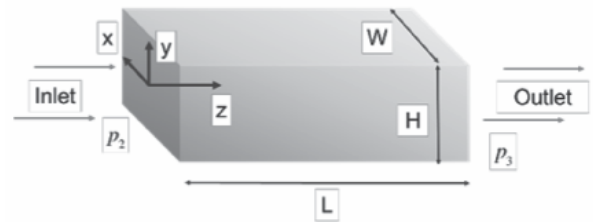
Lưu lượng dòng chảy qua tiết diện tròn là:

$$Q = \int_0^R 2\pi r \cdot v_z dr = \frac{n\pi R^{3+\frac{1}{n}}}{3n+1} \left(-\frac{dp}{dz} \frac{1}{2\kappa} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

Từ (7) có thể suy ra độ giảm áp suất $\Delta P = P_1 - P_2$ giữa hai đầu ống hình trụ chiều dài L .

$$\Delta P = \frac{2\kappa L}{R} \left(\frac{Q(3n+1)}{n\pi R^3} \right)^n \quad (8)$$

2.3. Độ sụt qua ống tiết diện chữ nhật



Hình 2. Độ sụt áp qua ống tiết diện hình chữ nhật

Lưu lượng dòng chảy qua ống tiết diện chữ nhật là:

$$Q = \int_{-H/2}^{H/2} W \cdot v_z dy = \frac{nWH^2}{4(2n+1)} \left(-\frac{dp}{dz} \frac{H}{2\kappa} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

Độ giảm áp suất $\Delta P = P_2 - P_3$ giữa hai đầu ống tiết diện chữ nhật:

$$\Delta P = \frac{2\kappa L}{H} \left(\frac{2Q(2n+1)}{H^2 W n} \right)^n \quad (10)$$

3. ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN

3.1. Đặc tính nhựa đầu vào

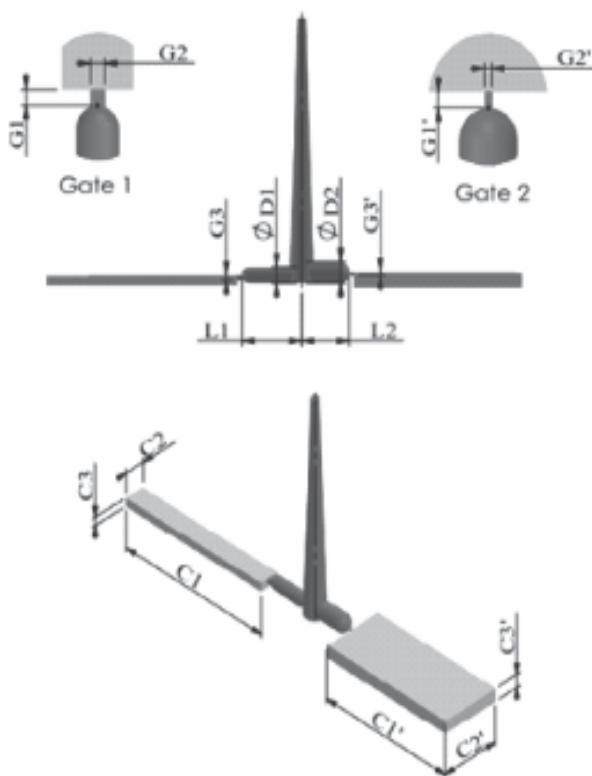
Các đặc tính tan chảy của nhựa PP (polypropylen) trong mô hình nhớt Power law

ở nhiệt độ 200°C là: $\kappa = 7.5 \times 10^3 \text{ (P} \cdot \text{s}^{n-1})$, chỉ số Power-law = 0.38 (được lấy từ cơ sở dữ liệu MoldFlow).

3.2. Tính toán hệ thống kênh dẫn

Cho lưu lượng nhựa đầu vào là $Q = 50$ cc. Các thông số hình học của hệ thống kênh dẫn và sản phẩm được đưa vào Bảng 1. Với điều kiện độ giảm áp qua các đoạn rẽ nhánh tới các Cavities phải bằng nhau, ta có phương trình sau:

$$\Delta P_{r1} + \Delta P_{g1} + \Delta P_{p1} = \Delta P_{r2} + \Delta P_{g2} + \Delta P_{p2} \quad (11)$$



Hình 3. Mô tả kích thước hệ thống dẫn nhựa

Bảng 1. Các tham số thiết kế cho hệ thống dẫn nhựa

Kênh dẫn	Kích thước
L_1	$L_1 = 15 \text{ mm}$
D_1	R_1 (biến thiết kế)
L_2	$L_2 = 15 \text{ mm}$
D_2	R_2 (biến thiết kế)
G_1	2 mm
G_2	2 mm
G_3	2 mm
$G_{1'}$	1 mm
$G_{2'}$	1 mm
$G_{3'}$	2 mm
C_1	10 mm
C_2	4 mm
C_3	80 mm
$C_{1'}$	30 mm
$C_{2'}$	6 mm
$C_{3'}$	70 mm

Để thời gian qua các giai đoạn bằng nhau, ta có phương trình sau:

$$\frac{L_{i1} A_{i1}}{Q_{i1}} = \frac{L_{i2} A_{i2}}{Q_{i2}} \quad (12)$$

Trong đó, $i =$ (kênh dẫn, công, chi tiết) là các đoạn mà dòng nhựa chảy qua.

Từ các phương trình (11) và (12), ta sẽ tìm được giá trị $R_1 = 2.293 \text{ mm}$, $R_2 = 4.551 \text{ mm}$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp tính toán sơ bộ để cân bằng hệ thống kênh dẫn trong khuôn ép nhựa. Phương pháp này đảm bảo độ giảm áp và thời gian điền đầy cho các nhánh rẽ là bằng nhau. Mục đích của phương pháp là hỗ trợ kỹ sư thiết kế bố cục sơ bộ hệ thống kênh

dẫn, sau đó có thể sử dụng phần mềm thương mại để tinh chỉnh thêm. Phương pháp này giúp rút ngắn thời gian thiết kế giai đoạn đầu.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh (VNU-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2024-20-07. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 19/4/2024

Ngày phản biện: 27/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. Rees and B. Catoen, “*Selecting Injection Molds*”. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2006.
- [2]. I. W. M. Chan, M. Pinfold, C. K. Kwong, and W. H. Szeto, “*Automation and optimisation of Family Mould Cavity and Runner Layout Design (FMCRLD) using genetic algorithms and mould layout design grammars*”. Computer-Aided Design, vol. 47, pp. 118-133, Feb. 2014.
- [3]. H.-H. Tsai, S.-J. Wu, J.-W. Liu, S.-H. Chen, and J.-J. Lin, “*Filling-Balance-Oriented Parameters for Multi-Cavity Molds in Polyvinyl Chloride Injection Molding*”. Polymers (Basel), vol. 14, no. 17, p. 3483, Aug. 2022.
- [4]. K. Wilczyński and P. Narowski, “*Experimental and theoretical study on filling imbalance in geometrically balanced injection molds*”. Polym Eng Sci, vol. 59, no. 2, pp. 233-245, Feb. 2019.
- [5]. M. D. Azaman, S. M. Sapuan, S. Sulaiman, E. S. Zainudin, and A. Khalina, “*Numerical simulation analysis of the in-cavity residual stress distribution of lignocellulosic (wood) polymer composites used in shallow thin-walled parts formed by the injection moulding process*”. Mater Des, vol. 55, pp. 381-386, Mar. 2014.
- [6]. C.-C. Lin, T.-C. Wu, Y.-S. Chen, and B.-Y. Yang, “*A Semi-Analytical Method for Designing a Runner System of a Multi-Cavity Mold for Injection Molding*”. Polymers (Basel), vol. 14, no. 24, p. 5442, Dec. 2022.
- [7]. H. Wang and C. Sun, “*Optimization Analysis of Correction Tape Box Compounding Cavity Runner Balance Based on Moldflow*”. World Journal of Engineering and Technology, vol. 08, no. 01, pp. 42-49, 2020.
- [8]. J. S. Jung and S. K. Kim, “*Rapid Numerical Estimation of Pressure Drop in Hot Runner System*”. Micromachines (Basel), vol. 12, no. 2, p. 207, Feb. 2021.
- [9]. C. Budiyanoro and H. Sosiati, “*Optimization of Runner Balance for a Family Product of Injection Molding Process*”. J Phys Conf Ser, vol. 2739, no. 1, p. 012034, Apr. 2024.
- [10]. James O. Wilkes, “*Fluid Mechanics for Chemical Engineers Third Edition with Microfluidics, CFD, and COMSOL Multiphysics 5*”.