

# PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ CAD/CAE TỐI ƯU ĐƯỜNG KÍNH KÊNH DẪN NHỰA CHO KHUÔN ÉP PHUN NHIỀU KHOANG TẠO HÌNH BỐ TRÍ KHÔNG CÂN BẰNG TỰ NHIÊN

Đoàn Thị Minh Trinh, Đoàn Lê Ngọc Phi Lân, Lê Quang Bình

Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 24 tháng 11 năm 2004, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 12 tháng 01 năm 2005)

**TÓM TẮT:** Việc xác định đường kính kênh dẫn nhựa đảm bảo cân bằng dòng theo kinh nghiệm thường tốn nhiều thời gian và công sức do phải ép thử và sửa khuôn nhiều lần, thậm chí không đạt được cân bằng dòng. Bài báo trình bày phương pháp thiết kế CAD/CAE tối ưu đường kính kênh dẫn nhựa (runners) đảm bảo cân bằng dòng đồng thời cực tiểu đường kính cho khuôn ép phun nhiều khoang tạo hình (cavities); và kết quả triển khai cho khuôn ép phun chi tiết khâu ren ngoài phụ tùng ống nhựa uPVC theo đặt hàng nghiên cứu của Công ty Cổ phần Nhựa Bình Minh.

## 1. GIỚI THIỆU

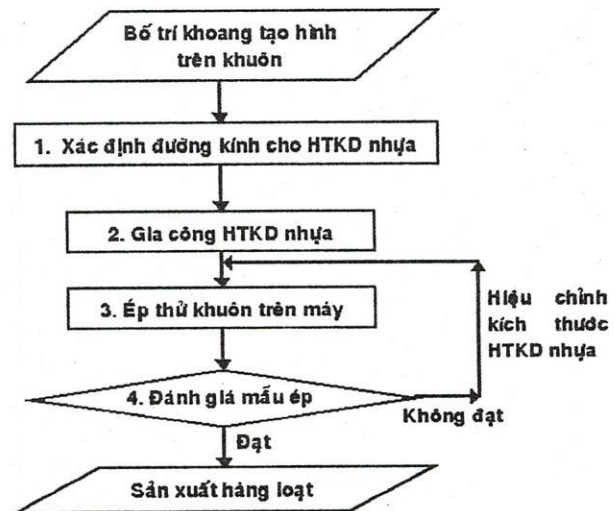
Đối với khuôn nhiều khoang tạo hình (KTH) bố trí không cân bằng tự nhiên, việc thiết kế hệ thống kênh dẫn nhựa theo phương pháp truyền thống (hình 1), tức là không sử dụng công cụ phân tích CAE gặp nhiều trở ngại do việc xác định đường kính kênh dẫn nhựa phụ thuộc hoàn toàn vào kinh nghiệm của người thiết kế và việc đánh giá cân bằng dòng chỉ được thực hiện theo phương pháp quan sát trực quan trên kết quả ép thử sản phẩm. Do đó thường phải điều chỉnh kích thước kênh dẫn nhiều lần, làm kéo dài thời gian thiết kế – chế tạo, tăng chi phí sản xuất. Hơn nữa, rất khó đạt được điều kiện cân bằng dòng và cực tiểu đường kính kênh dẫn nhựa.

Hiện nay trên thế giới có một số phần

mềm CAE phân tích ép phun nhựa có chức năng cân bằng, hay tối ưu đường kính kênh dẫn. Thí dụ chức năng Runners Balance của phần mềm Moldflow thực hiện phân tích cân bằng dòng dựa trên thông số ép phun của máy ép; chế độ ép phun sơ bộ; đường kính sơ bộ và giới hạn đường kính kênh dẫn nhựa; số vòng lặp và sai số tính toán cân bằng. Thực tế áp dụng công cụ phân tích cân bằng dòng cho thấy, nếu giá trị đường kính sơ bộ được chọn xa vùng giá trị đường kính cân bằng, có thể xảy ra 2 trường hợp: (i) nếu số vòng lặp được cài đặt lớn, việc phân tích cân bằng đạt kết quả nhưng thời gian tính toán thường rất lớn; (ii) nếu hạn chế số vòng lặp, việc tính toán cân bằng không đạt kết quả do việc điều chỉnh đường kính chưa đủ để đạt được sự cân bằng dòng trên các nhánh kênh dẫn.

Do đó để việc sử dụng các công cụ phân tích CAE thực sự hiệu quả về chất lượng và thời gian thiết kế, nghiên cứu phương pháp thiết kế tối ưu đường kính kênh dẫn, trong đó xác lập được nguyên tắc xác định đường kính sơ bộ và chỉ tiêu phân tích cân bằng để rút ngắn thời gian tính toán và có cơ sở để đánh giá giải pháp cân bằng dòng là hết sức cần thiết.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng quy trình thiết kế CAD/CAE tối ưu đường kính kênh dẫn nhựa cho khuôn ép phun nhiều KTH, bao gồm các nội dung như sau: (i) Chỉ tiêu cân bằng dòng; (ii) Quan hệ giữa đường kính sơ bộ và đường kính cân bằng; (iii) Nguyên tắc xác định đường



Hình 1: Quy trình thiết kế truyền thống

kính sơ bộ cho kênh dẫn nhựa; (iv) Qui trình thiết kế CAD/CAE tối ưu đường kính kênh dẫn; (v) Kết quả triển khai qui trình thiết kế cho khuôn ép phun khâu ren ngoài phụ tùng ống nhựa uPVC.

**2. CHỈ TIÊU CÂN BẰNG DÒNG**

Để xem xét chỉ tiêu cân bằng dòng, chúng ta chọn mô hình khuôn 16 KTH bố trí theo dạng xương cá (hình 2). Do các KTH được bố trí đối xứng, nên chỉ cần xem xét 1 nhánh kênh dẫn chính. Dòng chảy ép phun trong khuôn nhiều KTH được gọi là cân bằng khi [1]:

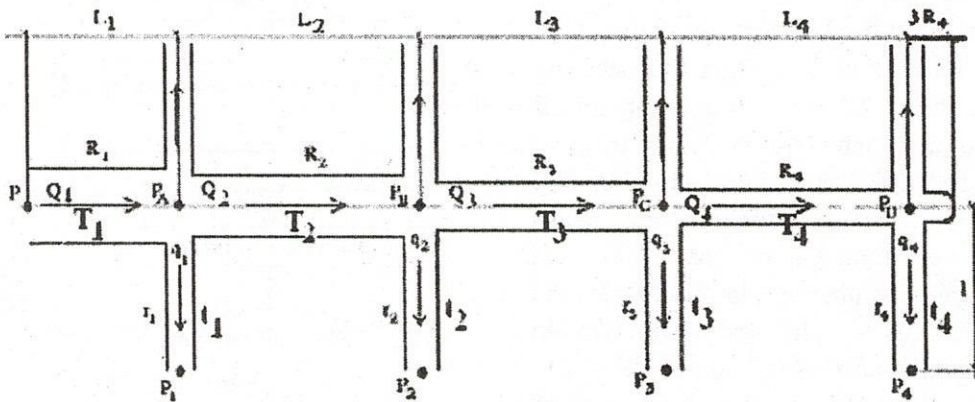
$$\Delta P_1 = \dots = \Delta P_j = \dots = \Delta P_n \quad (1); \quad T_{11} = \dots = T_{1j} = \dots = T_{1n} \quad (2)$$

Trong đó:  $\Delta P_j$  - độ chênh áp trên nhánh kênh dẫn thứ i (giữa vị trí chân cuống phun và vị trí trước miệng phun):

$$\Delta P_i = \frac{2}{\pi^n} \cdot \left( \frac{3n+1}{n} \right)^n \cdot q^n \left\{ \sum_{j=1}^{j=i-\frac{N}{2}} m_{R_j} \cdot [N-2(j-1)]^n \cdot \frac{L_j}{R_j^{3n+1}} + m_{r_i} \cdot \frac{l}{r_i^{3n+1}} \right\} \quad (3)$$

$T_{1i}$  - thời gian dòng nhựa chảy trong nhánh kênh dẫn tương ứng:

$$T_{1i} = \sum_{j=1}^{j=i-\frac{N}{2}} \frac{\pi \cdot L_j \cdot R_j^2}{q[N-2(j-1)]} + \frac{\pi \cdot l \cdot r_i^2}{q} \quad (4) \quad N - 1/2 \text{ tổng số KTH của khuôn}$$



Hình 2: Mô hình phân tích cân bằng dòng cho khuôn nhiều KTH [1]

$P$  - áp suất tại chân bạc cuống phun;  $P_i$  - áp suất tại vị trí miệng phun;  $Q, q$  - lưu lượng dòng trên kênh dẫn chính, kênh dẫn nhánh;  $R, r$  - bán kính kênh dẫn chính, kênh dẫn nhánh;  $L, l$  - chiều dài kênh dẫn chính, kênh dẫn nhánh;  $T_i (t_i)$  - thời gian dòng nhựa chảy qua các kênh dẫn chính (kênh dẫn nhánh) tới miệng phun.

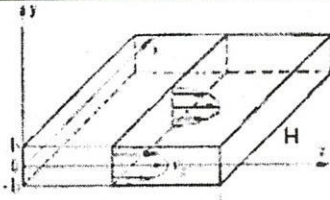
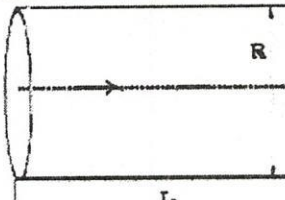
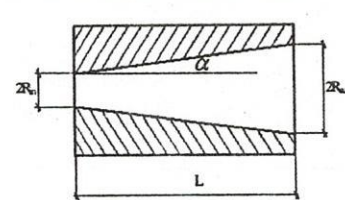
Để đạt điều kiện cực tiểu đường kính thì độ chênh áp ( $\Delta P_j$ ) trên mỗi nhánh kênh dẫn phải đạt độ chênh áp cực đại  $\Delta P_{max}$  cho phép (giá trị này phụ thuộc vào áp suất ép phun tối đa của máy, đường kính sơ bộ và giới hạn đường kính kênh dẫn):

$$\Delta P_i = \Delta P_{max} = P_{max} - (\Delta P_{SP} + \Delta P_G + \Delta P_C) \quad (5)$$

Trong đó:  $P_{max}$  - áp suất tối đa của máy ép;  $\Delta P_{SP}, \Delta P_G, \Delta P_C$  - độ chênh áp trên bạc cuống phun (sprue), miệng phun (gate), trong KTH (cavity).

Có thể coi dòng chảy trong KTH như dòng chảy giữa 2 tấm mỏng song song; dòng chảy qua kênh dẫn, miệng phun như dòng chảy qua ống tròn; dòng chảy qua bạc cuống phun như dòng chảy trong ống tròn có đường kính thay đổi. Theo [1], có thể tính độ chênh áp và tốc độ trượt của dòng chảy như trình bày tóm tắt trong bảng 1. Tuy nhiên để tính được độ chênh áp, cần biết chỉ số đậm đặc (n) và hệ số nhớt tỷ lệ (m). Các thông số này được cung cấp trực tiếp hoặc gián tiếp theo đồ thị thực nghiệm Tốc độ trượt - Độ nhớt, bởi nhà sản xuất vật liệu nhựa.

Bảng 1 : Mô hình phân tích dòng chảy ép phun nhựa [1]

	Khoang tạo hình (Khe hẹp giữa hai tấm song song)	Kênh dẫn, Miệng phun (Ống trụ tròn)	Bạc cuống phun (Ống trụ côn)
Mô hình dòng chảy			
Độ chênh áp	$\Delta P_C = 2mL \left( \frac{1+2n}{2n} \right)^n \left( \frac{4Q}{WH^n} \right)^n$ (6)	$\Delta P_G = 2mL \left( \frac{Q}{\pi R^n} \frac{3n+1}{n} \right)^n$ (7)	$\Delta P_{SP} = 2mL \frac{Q}{\pi^n (Ltg\alpha + R_m)^{3n+1}} \left( \frac{3n+1}{n} \right)^n$ (8)
Tốc độ trượt max	$\gamma_{max} = \left( \frac{1+2n}{2n} \right) \frac{4Q}{WH^2}$ (9)	$\gamma = \gamma_{max} = \left( -\frac{Q}{\pi R^3} \right) \left( \frac{1+3n}{n} \right)$ (10)	$\gamma_{max} = \left( \frac{Q}{\pi (Ltg\alpha + R_m)^3} \right) \left( \frac{1+3n}{n} \right)$ (11)

Như vậy, kết hợp các điều kiện (1), (2), (5), chỉ tiêu cân bằng dòng đối với khuôn nhiều KTH là:

$$\Delta P_i = P_{max} - (\Delta P_{SP} + \Delta P_G + \Delta P_C) \quad (12); \quad T_{li} = const \quad (13)$$

### 3. QUAN HỆ ĐƯỜNG KÍNH SƠ BỘ - ĐƯỜNG KÍNH CÂN BẰNG

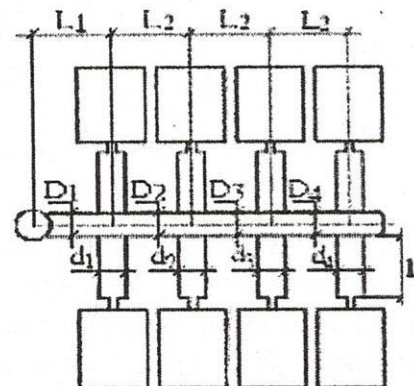
Để giải quyết bài toán cân bằng dòng cho hệ thống kênh dẫn nhựa (HTKD) không cân bằng tự nhiên, việc đầu tiên cần thực hiện là xác lập đường kính sơ bộ cho các kênh dẫn, sau đó thực hiện việc cân bằng dựa trên các kích thước sơ bộ này. Bản chất của quá trình tính toán cân bằng kênh dẫn là thực hiện vòng lặp tăng hoặc giảm đường kính theo gia số thay đổi đường kính hoặc bán kính (x) cho đến khi đạt điều kiện cân bằng trên mỗi dòng chảy (hình 5) [1].

Theo sơ đồ thuật toán, nếu giá trị bán kính kênh dẫn thỏa điều kiện cân bằng dòng, giá trị này được coi là bán kính cân bằng. Ngược lại, cần lặp lại qui trình tính toán. Cần chú ý rằng, chính bán kính kênh dẫn nhánh ( $r_i$ ) và bán kính kênh dẫn chính ( $R_i$ ) ảnh hưởng trực tiếp tới độ chênh áp ( $\Delta P_i$ ) trên mỗi nhánh kênh dẫn, do đó ảnh hưởng tới số vòng lặp tính toán cân bằng. Như vậy nhu cầu đặt ra là cần có giải pháp xác định đường kính sơ bộ cho kênh dẫn nhằm giảm thiểu thời gian tính toán phân tích.

### 4. NGUYÊN TẮC XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG KÍNH SƠ BỘ CHO KÊNH DẪN NHỰA

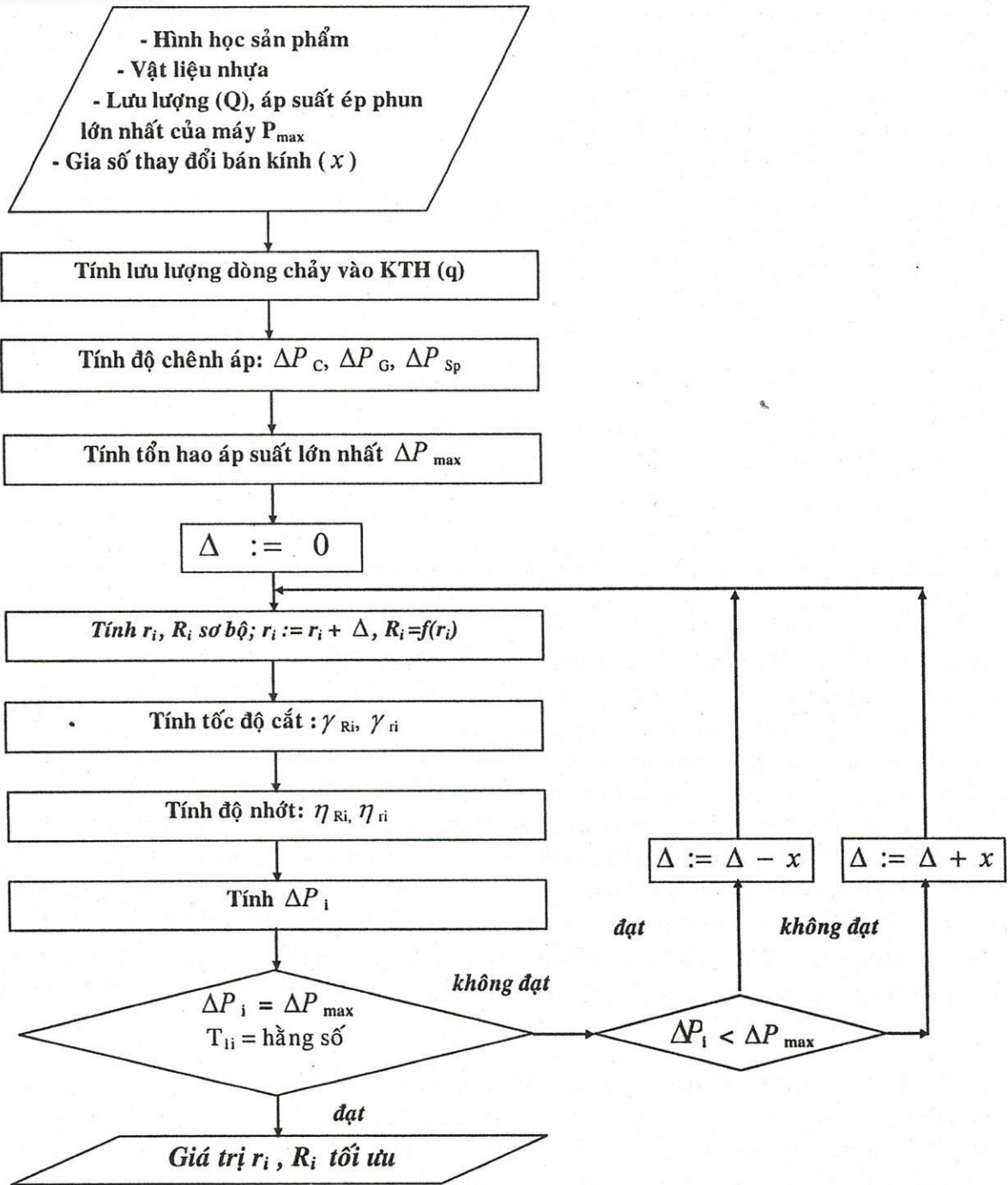
Có nhiều phương pháp xác định đường kính kênh dẫn nhựa, như phương pháp Bryse; phương pháp đồ thị thực nghiệm; phương pháp Polyplas-Corporation; phương pháp GLS-Corporation; và phương pháp Stevence [1]. Trong đó, phương pháp Stevence có ưu điểm là thiết lập được quan hệ toán học giữa đường kính kênh dẫn với khối lượng sản phẩm; chiều dài dòng chảy; và số nhánh kênh dẫn, do đó rất thuận tiện cho lập trình tính toán đối với HTKD nhựa phân nhánh nhiều cấp. Theo phương pháp Stevence, đường kính kênh dẫn nhánh ( $d_i$ ) và kênh dẫn chính ( $D_i$ ) được tính như sau (hình 6) [1]:

$$d_i = \frac{W^{\frac{1}{2}} \cdot L^{\frac{1}{4}}}{3,7} \quad (14); \quad D_i = d_i \times \sqrt[3]{N_i} \quad (15)$$



Hình 6

Trong đó :  $i = (1, n)$ ,  $n$  là  $\frac{1}{2}$  số KTH trên 1 nhánh kênh dẫn chính;  $W$  - khối lượng sản phẩm;  $L$  - chiều dài dòng chảy từ chân cuống phun tới miệng phun tương ứng;  $N_i$  - số kênh dẫn nhánh liên thuộc với kênh dẫn chính.



Hình 5: Giải thuật cân bằng kênh dẫn cho khuôn nhiều KTH [1]

Vì mỗi loại vật liệu nhựa có đặc tính chảy khác nhau và phương pháp Stevence không tổng quát cho tất cả các loại vật liệu nhựa, nên có thể xảy ra trường hợp đường kính kênh dẫn nhánh nhỏ nhất ( $d_1$ ) tính theo công thức Stevence nhỏ hơn giới hạn đường kính thực nghiệm nhỏ nhất ( $d_{min}$ ) do nhà sản xuất vật liệu nhựa cung cấp. Trong trường hợp này chúng ta phải chọn đường kính kênh dẫn nhánh nhỏ nhất bằng giá trị đường kính thực nghiệm ( $d_1 \leftarrow d_{min}$ ) rồi từ đó tính đường kính kênh dẫn nhánh khác theo hệ số hiệu chỉnh chiều dài dòng chảy ( $\alpha_i$ ) được đề nghị như sau [2]:

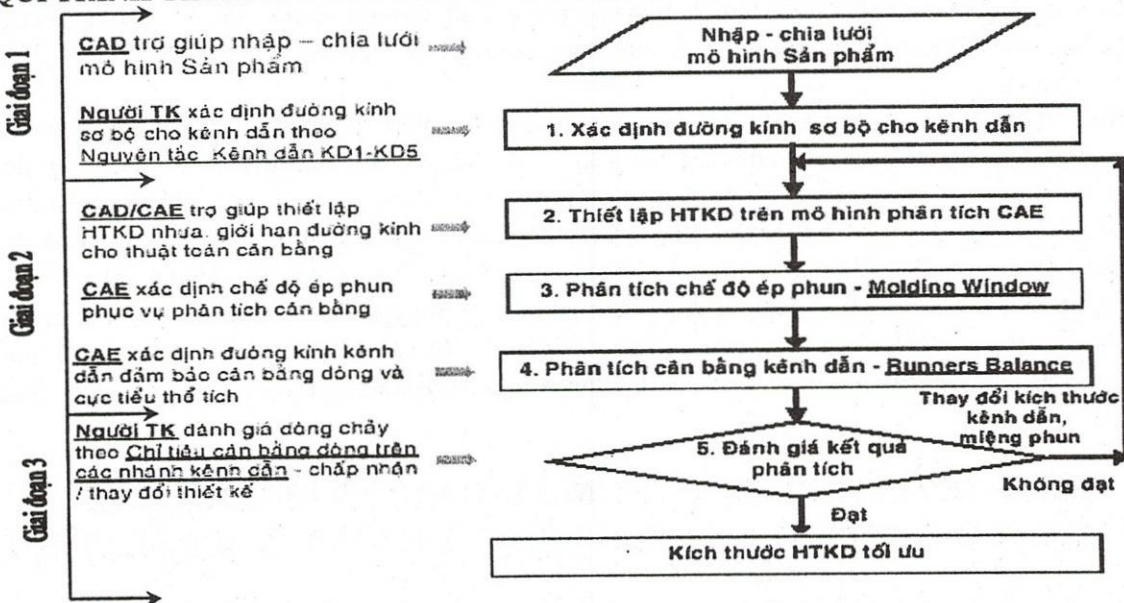
$$d_i = d_1 \cdot \alpha_i = d_{\min} \cdot \alpha_i \quad (16) \quad \alpha_i = \left[ 1 + \frac{(i-1)L_2}{L_1 + l} \right]^{1/4} \quad (17)$$

Do đó giải pháp được đề xuất ở đây là **hiệu chỉnh công thức Stevence theo hệ số hiệu chỉnh chiều dài dòng chảy (16)** để có thể áp dụng cho tất cả loại vật liệu nhựa, bao gồm cả loại vật liệu khó gia công, yêu cầu đường kính kênh dẫn lớn hơn giá trị xác định theo công thức Stevence. Áp dụng công thức Stevence hiệu chỉnh (16), **nguyên tắc xác định đường kính sơ bộ cho kênh dẫn nhựa của khuôn nhiều KTH** được đề nghị như trình bày tóm tắt trong bảng 2.

Bảng 2: Nguyên tắc xác định đường kính sơ bộ kênh dẫn nhựa khuôn nhiều KTH [2]

TT	Nội dung
KD1	Xác định số liệu cơ sở : khối lượng sản phẩm (W); chiều dài dòng chảy; loại VL nhựa; đường kính thực nghiệm nhỏ nhất ( $d_{\min}$ ), nếu được nhà sản xuất vật liệu nhựa cung cấp.
KD2	Tính đường kính kênh dẫn nhánh nhỏ nhất ( $d_1$ ) theo công thức Stevence (14) : $d_1 = \left[ W^{1/3} (L_1 + l) \right]^{1/4} \frac{1}{3,7}$
KD3	Tính đường kính kênh dẫn nhánh ( $d_i$ ) : Nếu $d_1 \geq d_{\min}$ , tính $d_i$ theo công thức Stevence (14) : $d_i = \left\{ W^{1/3} [L_1 + (i-1)L_2 + l]^{1/4} \right\} \frac{1}{3,7}$ Nếu $d_1 < d_{\min}$ , tính $d_i$ theo đường kính thực nghiệm tối thiểu $d_{\min}$ và hệ số hiệu chỉnh chiều dài dòng chảy : $d_i = d_{\min} \left[ 1 + \frac{(i-1)L_2}{L_1 + l} \right]^{1/4}$ $i = (1, n)$ , n là 1/2 số KTH trên 1 nhánh kênh dẫn chính
KD4	Tính đường kính kênh dẫn chính ( $D_i$ ) theo công thức Stevence (15) : $D_i = d_i * \sqrt[3]{2 + 2(n-i)}$
KD5	Xác định kích thước giếng nguội và cổng phun theo kênh dẫn nhánh và kênh dẫn chính

### 5. QUI TRÌNH THIẾT KẾ CAD/CAE TỐI ƯU ĐƯỜNG KÍNH KÊNH DẪN



Hình 7 : Qui trình thiết kế CAD/CAE tối ưu đường kính kênh dẫn [2]

Sử dụng chức năng phân tích cân bằng kênh dẫn – Runners Balance của phần mềm Moldflow đồng thời áp dụng 5 Nguyên tắc xác định đường kính sơ bộ (KD1-KD5); Chỉ tiêu cân bằng dòng (12), (13), qui trình thiết kế CAD/CAE tối ưu đường kính kênh dẫn được đề nghị gồm 3 giai đoạn (hình 7) : Giai đoạn 1- xác định đường kính sơ bộ cho kênh dẫn; Giai đoạn 2 - phân tích cân bằng kênh dẫn; Giai đoạn 3 - đánh giá kết quả phân tích [2].

## 6. KẾT QUẢ TRIỂN KHAI [2]

Triển khai qui trình thiết kế nêu trên cho khuôn ép phun chi tiết khâu ren ngoài phụ tùng ống nhựa uPVC gồm 8 KTH bố trí không cân bằng tự nhiên, kết quả đạt được như sau :

### a. Đường kính sơ bộ cho HTKD (hình 8a):

- Miệng phun  $\phi 4 / \phi 4,7$
- Kênh dẫn nhánh  $d_1 = 6 ; d_2 = 7,35$
- Kênh dẫn chính  $D_1 = 9,52; D_2 = 9,26$
- Cuống phun :  $\phi 6 - \phi 12$
- Giếng nguội :  $\phi 12$

### b. Chế độ ép phun sơ bộ:

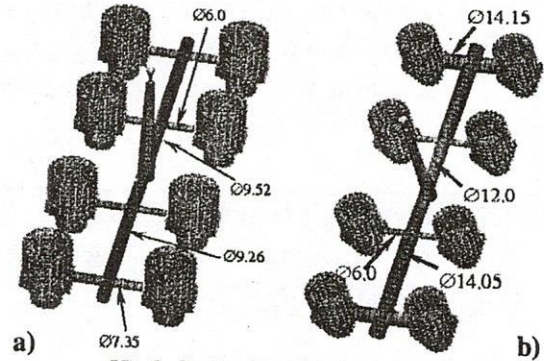
- Áp suất ép phun : 40,00 Mpa
- Nhiệt độ khuôn : 40,00 °C
- Nhiệt độ ép phun : 170,67 °C

### c. Đường kính cân bằng (hình 8b):

- Miệng phun  $\phi 4 / \phi 4,7$
- Kênh dẫn nhánh  $d_1 = 6 ; d_2 = 14,15$
- Kênh dẫn chính  $D_1 = 12 ; D_2 = 14,05$

### d. Thời gian điền đầy (hình 9).

### e. Phân bố áp suất (hình 10).



Hình 8: Đường kính sơ bộ và đường kính cân bằng

## 7. KẾT LUẬN

Việc xác định đường kính kênh dẫn nhựa đảm bảo cân bằng dòng theo kinh nghiệm thường tốn nhiều thời gian và công sức do phải ép thử và sửa khuôn nhiều lần, thậm chí không đạt được cân bằng dòng. Phương pháp thiết kế CAD/CAE đảm bảo cân bằng dòng đồng thời cực tiểu khối lượng vật liệu nhựa tiêu hao trên HTKD nhựa, phù hợp với chế độ ép phun đã xác lập do đó hạn chế tối đa số lần ép thử và sửa khuôn.

Với đề nghị dùng công thức Stevence hiệu chỉnh, phương pháp xác định đường kính sơ bộ có thể áp dụng cho tất cả các loại vật liệu nhựa. Đường kính sơ bộ được xác định một cách hệ thống, do đó đảm bảo kênh dẫn đã tương đối cân bằng, nên rút ngắn được đáng kể thời gian phân tích cân bằng kênh dẫn. Chỉ tiêu phân tích CAE được đề nghị cho phép đánh giá toàn diện ảnh hưởng của hệ thống cấp nhựa (miệng phun, HTKD nhựa); và chế độ ép phun tới quá trình điền đầy. Căn cứ chỉ tiêu phân tích CAE, người thiết kế có thể ra quyết định chấp nhận hoặc thay đổi kích thước miệng phun, đường kính kênh dẫn nhựa đảm bảo chỉ tiêu yêu cầu. Qui trình thiết kế tối ưu đường kính kênh dẫn có thể áp dụng cho tất cả các loại khuôn nhiều KTH, bao gồm cả loại khuôn nhiều họ sản phẩm (family molds).

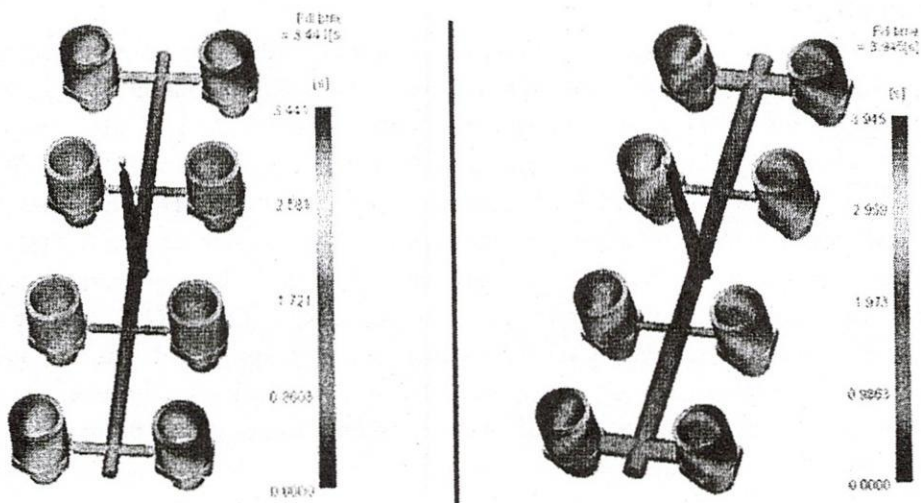
## CAD/CAE METHOD FOR OPTIMIZING RUNNERS DIAMETER OF MULTI-CAVITY MOLDS WITH UNBALANCED RUNNERS LAYOUT

Doan Thi Minh Trinh, Doan Le Ngoc Phi Lan, Le Quang Binh  
University of Technology – VNU-HCM

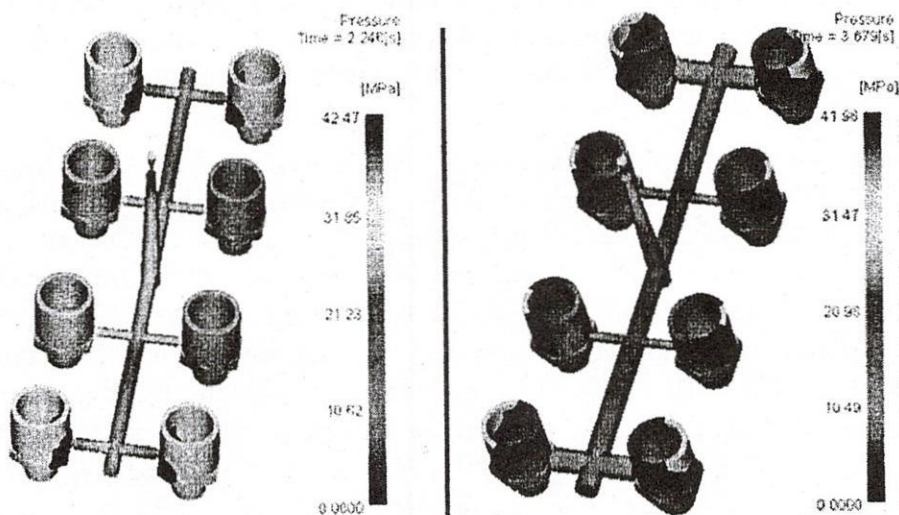
**ABSTRACT:** This paper presents the CAD/CAE Method for optimizing runners diameter of multi-cavity molds with unbalanced runners layout. In the proposed method, the Modified Stevencs Formula is utilized for preliminary runners diameter determination; the function Runner Balance of Moldflow software package is utilized for runners balance calculation; and proposed Flow Analysis Variables are utilized for gates and runners evaluation. Also, the results of implementing the CAD/CAE method for the injection mold of screwed sockets are presented.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đoàn Lê Ngọc Phi Lâm, *Nghiên cứu giải quyết vấn đề cân bằng dòng chảy trong khuôn ép phun nhiều sản phẩm*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa-ĐHQG-HCM, 12/2003 (Nội dung luận văn thuộc Đề tài NCKH-CN, 2003-2004, Ứng dụng công nghệ CAD/CAE/CAM xác định thông số miệng phun, vùng dẫn nén khí – kích thước kênh dẫn nhựa – hệ thống giải nhiệt hợp lý cho khuôn ép phun nhựa do Sở Khoa học-Công nghệ TP.HCM quản lý).
- [2] Đoàn Thị Minh Trinh và các tác giả, *Ứng dụng công nghệ CAD/CAE/CAM xác định thông số miệng phun, vùng dẫn nén khí – kích thước kênh dẫn nhựa – hệ thống giải nhiệt hợp lý cho khuôn ép phun nhựa*, Báo cáo nghiệm thu đề tài NCKH-CN, 2003-2004, Sở Khoa học-Công nghệ TP.HCM, 8/2004.



Hình 9: Thời gian điền đầy trước và sau cân bằng



Hình 10: Phân bố áp suất trước và sau cân bằng