

## TỐI ƯU HÓA SƠ ĐỒ CẮT CHI TIẾT KIM LOẠI TỪ PHÔI TẤM BẰNG PHƯƠNG PHÁP DẬP NGUỘI

Trần Trung Anh Dũng, Trần Đăng Bồng, Phạm Ngọc Tuấn

Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 01 tháng 11 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 10 tháng 03 năm 2008)

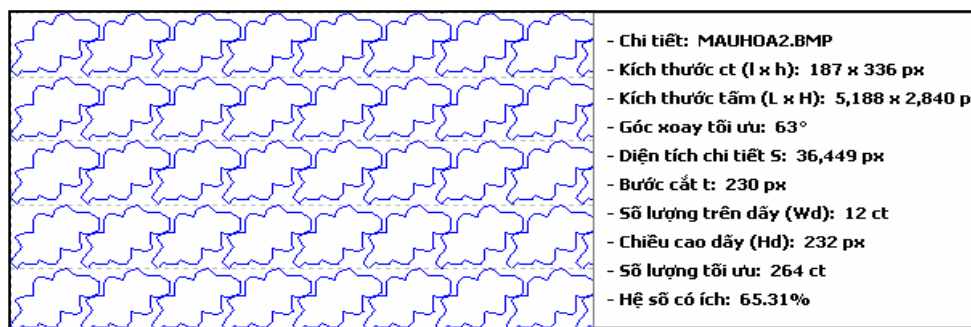
**TÓM TẮT:** Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu về tối ưu hóa sơ đồ sắp xếp các chi tiết cùng loại có hình dạng phức tạp khi cắt từ vật liệu kim loại dạng tấm bằng phương pháp dập nguội, sao cho, sau khi cắt dập, số lượng chi tiết thu được là nhiều nhất, hay nói cách khác là phần vật liệu thừa bỏ đi là ít nhất. Từ việc nghiên cứu mô hình toán học đến việc xây dựng các giải thuật để từ đó viết phần mềm cho máy tính sẽ tự động hóa được công đoạn sắp xếp sơ đồ cắt để gia công chi tiết, tiết kiệm thời gian, tiết kiệm vật liệu, nâng cao năng suất lao động so với việc sắp xếp truyền thống bằng kinh nghiệm trước đây.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong ngành cơ khí chế tạo máy, số lượng chi tiết được gia công bằng phương pháp dập nguội từ vật liệu kim loại dạng tấm là rất lớn. Theo thống kê cho thấy, khoảng 60 đến 75% số lượng chi tiết trong ngành chế tạo ô tô; 30 đến 40% trong ngành chế tạo máy kéo; khoảng 90% trong ngành sản xuất hàng tiêu dùng; 70 đến 75% trong ngành chế tạo dụng cụ; 20 đến 30% trong ngành công nghiệp năng lượng và giao thông vận tải được gia công cắt bằng phương pháp dập nguội từ vật liệu tấm. Do vậy, việc nghiên cứu tối ưu hóa sơ đồ cắt để nâng cao hiệu quả kinh tế trong việc gia công các chi tiết từ vật liệu tấm là vấn đề luôn luôn được các nhà sản xuất quan tâm giải quyết từ trước đến nay.

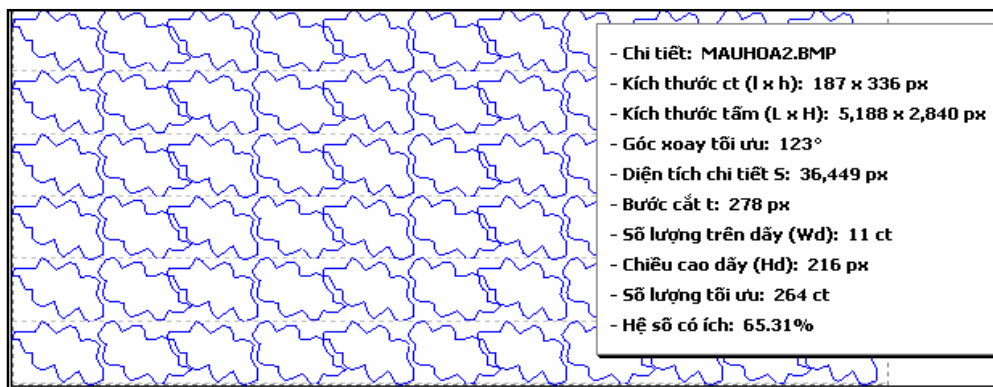
Trước đây, công đoạn sắp xếp sơ đồ cắt được tiến hành theo phương pháp thủ công, chủ yếu là dựa vào kinh nghiệm và tay nghề của người thợ. Do vậy, thời gian chi phí cho công đoạn sắp xếp sơ đồ cắt là rất lớn, hiệu quả sử dụng vật liệu chưa cao, phần vật liệu thừa bỏ đi còn nhiều, chi phí cho sản xuất cao.

Mục đích của việc nghiên cứu là xây dựng mô hình toán học cho bài toán sắp xếp sơ đồ cắt các chi tiết cùng loại trên vật liệu kim loại dạng tấm khi cắt bằng phương pháp dập nguội để từ đó xây dựng các giải thuật tiến tới viết phần mềm kết nối với các loại máy cắt dập tự động CNC để gia công chi tiết đạt hiệu quả kinh tế cao nhất: số lượng chi tiết thu được là nhiều nhất, vật liệu tiết kiệm được cũng là nhiều nhất.

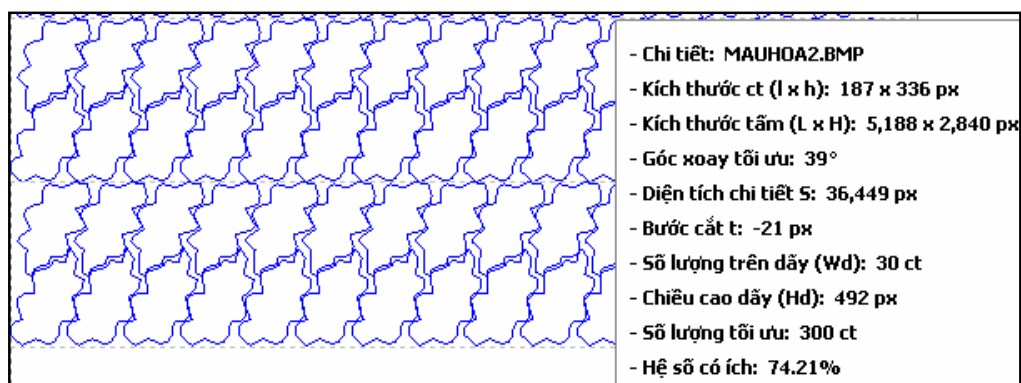


Hình 1. Sắp xếp chi tiết theo 1 hàng một hướng

Sơ đồ sắp xếp thường dùng trong gia công chi tiết bằng phương pháp dập nguội bao gồm các dạng: sắp xếp theo hàng đơn và sắp xếp theo hàng đôi. Theo cách sắp xếp theo hàng đơn theo một hàng một hướng trên dải cắt, các chi tiết được sắp xếp theo một chiều một hướng (hình 1) và sắp xếp hai chiều, một hướng (hình 2 – sắp xếp đảo đầu). Ngoài ra trong thực tế sản xuất còn phổ biến sơ đồ sắp xếp theo kiểu hàng đôi, cắt dập hai hàng (hình 3), trong đó các chi tiết được sắp xếp trên dải cắt theo hai hàng, hàng thứ nhất dịch chuyển tương ứng so với hàng thứ hai một đại lượng  $\omega$ .



Hình 2. Sắp xếp chi tiết theo một hàng hai hướng



Hình 3. Sắp xếp chi tiết theo hai hàng hai hướng

## 2. MÔ TẢ BÀI TOÁN SẮP XẾP TỐI ƯU

Bài toán sắp xếp tối ưu một loại chi tiết có kích thước và hình dạng phức tạp trên vật liệu tấm khi cắt bằng phương pháp dập nguội bằng khuôn có thể tóm tắt như sau:

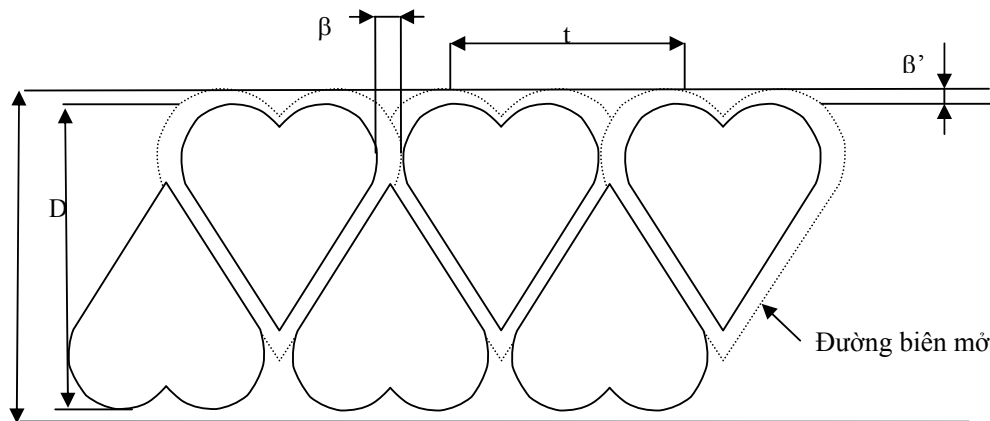
Cho trước các khổ vật liệu dạng tấm có hình dạng hình chữ nhật với các thông số kích thước chiều rộng chuẩn là  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_i, \dots, H_m$  và chiều dài tương ứng của các tấm vật liệu là  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_i, \dots, L_m$ ; làm thế nào để dập được nhiều nhất số lượng chi tiết cùng loại S, hay có thể nói là lượng vật liệu bỏ đi sau khi cắt phải là nhỏ nhất.

Chi tiêu để đánh giá tính kinh tế cho phương án sắp xếp là hệ số sử dụng vật liệu  $\eta$ :

$$\eta = \frac{F_0}{F_p} \cdot 100\% \quad (1)$$

Trong đó:  $F_0$  – diện tích của  $n$  chi tiết;  $F_p$  – diện tích của tấm vật liệu.

Khi gia công cắt chi tiết bằng phương pháp dập nguội trên vật liệu tấm, các chi tiết được sắp xếp song song theo hàng trên dải cắt. Trước tiên, vật liệu tấm phải được cắt thành các dải, nghĩa là, tấm vật liệu được cắt thành các phần nhỏ mà trên đó các chi tiết cắt dập được sắp xếp thành hàng theo chiều song song với nhau. Do vậy, phương án được chọn để giải bài toán là xác định được chiều rộng tối ưu của dải cắt. Khi đó dải cắt có thể được cắt theo chiều rộng hoặc theo chiều dài của tấm vật liệu sao cho đạt được mục tiêu tối ưu là số lượng chi tiết thu được là nhiều nhất. Khi chọn chiều của dải cắt, đôi khi còn phải xét đến chiều chịu tải trọng của chi tiết được cắt, nghĩa là phải sắp xếp các chi tiết có chiều chịu tải trọng theo chiều thớ sợi của tấm vật liệu.



**Hình 4.** Sắp xếp các chi tiết trên dải cắt.

Trong các phương án sắp xếp có hệ số sử dụng vật liệu là như nhau, phương án được chọn là phương án có chiều rộng của dải cắt lớn hơn vì như vậy bước cắt dập sẽ ngắn hơn và thời gian cắt cũng được tiết kiệm hơn. Để xác định đúng chiều rộng của dải cắt phải xét thêm khoảng cách chừa  $\beta$  giữa các đường biên của chi tiết với chi tiết (các mạch nối) và khoảng chừa  $\beta'$  giữa đường biên của chi tiết với đường biên của tấm vật liệu (mép thừa). Do vậy chiều rộng của dải cắt phải được bổ sung thêm khoảng cách  $2\beta'$ . Khi sắp xếp chi tiết trên dải cắt, đường biên của chúng phải được mở rộng so với đường biên thực của chi tiết một khoảng  $\beta/2$ .

Khi nghiên cứu bằng các kết quả thực nghiệm, khoảng cách chừa  $\beta$  phụ thuộc vào chiều dày vật liệu, loại vật liệu, kích thước và hình dạng của chi tiết cắt.

### 3. CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA BÀI TOÁN SẮP XẾP

Sơ đồ cắt sắp xếp tối ưu là sơ đồ sắp xếp các chi tiết theo hệ thống hình bình hành. Theo đó, các chi tiết được sắp xếp theo hàng song song với nhau và các chi tiết liền kề có đường biên mở rộng được tiếp xúc nhau. Sơ đồ sắp xếp theo hình bình hành dễ dàng gia công dập cắt và giảm thiểu được phần vật liệu thừa giữa các chi tiết.

Giải thuật để xác định phương án sắp xếp tốt nhất trong công nghệ dập nguội được chọn trong các phương án sắp xếp các chi tiết theo dải một hàng và theo dải hai hàng tùy theo loại

vật liệu tấm và yêu cầu của chi tiết được cắt. Sắp xếp theo dài một hàng có thể sắp xếp các chi tiết bố trí xen kẽ lệch nhau  $180^0$  (chi tiết xen kẽ xoay  $180^0$ )

Ý tưởng chủ đạo của giải thuật là xét đến tất cả các phương án sắp xếp chi tiết trên tấm vật liệu và chọn phương án tốt nhất. Mỗi phương án sắp xếp xác định được số lượng chi tiết (ký hiệu là  $n$ ). Các phương án được xét theo trình tự: chi tiết vừa dịch chuyển vừa xoay trên mặt phẳng tấm vật liệu.

Hàm sắp xếp các chi tiết theo một hàng trên dải cắt phụ thuộc vào góc  $\varphi$ , góc tạo bởi trục của chi tiết với trục cố định của tấm vật liệu. Trong trường hợp sắp xếp chi tiết theo hàng hai, hàm sắp xếp còn phụ thuộc vào giá trị dịch chuyển  $\omega$  tương ứng giữa các hàng. Do vậy, số lượng chi tiết sắp xếp trên tấm vật liệu là một hàm của 2 thông số:

$$n = f(\varphi, \omega) \quad (2)$$

Góc xoay  $\varphi$  được xác định trong khoảng  $0 \leq \varphi \leq 180^0$ . tại vị trí ban đầu  $\varphi$  được xét  $\varphi = 0$ . Thông số  $\omega$  – bước dịch chuyển tương ứng giữa các hàng nằm trong khoảng:  $-\Omega(\varphi) \leq \omega \leq +\Omega(\varphi)$ . Trong đó,  $\Omega(\varphi)$  là kích thước của chi tiết tương ứng tại giá trị góc xoay  $\varphi$ .

Các đại lượng  $\varphi$  và  $\omega$  thay đổi theo các bước được ấn định không đổi  $\Delta\varphi$  và  $\Delta\omega$ . Do vậy, giá trị số lượng chi tiết  $n$  tìm được là một giá trị tương đối. Độ chính xác để xác định  $n$  phụ thuộc vào các giá trị  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\omega$ . Do đó, giải thuật phải tìm được sự sắp xếp tối ưu bằng cách cho chi tiết xoay và cho chi tiết dịch chuyển trên mặt phẳng theo các bước  $\Delta\varphi$  và  $\Delta\omega$  cho trước và giải các phép toán hình học phức tạp khác nhau; chọn lựa và tính toán được chiều rộng của giải cắt.

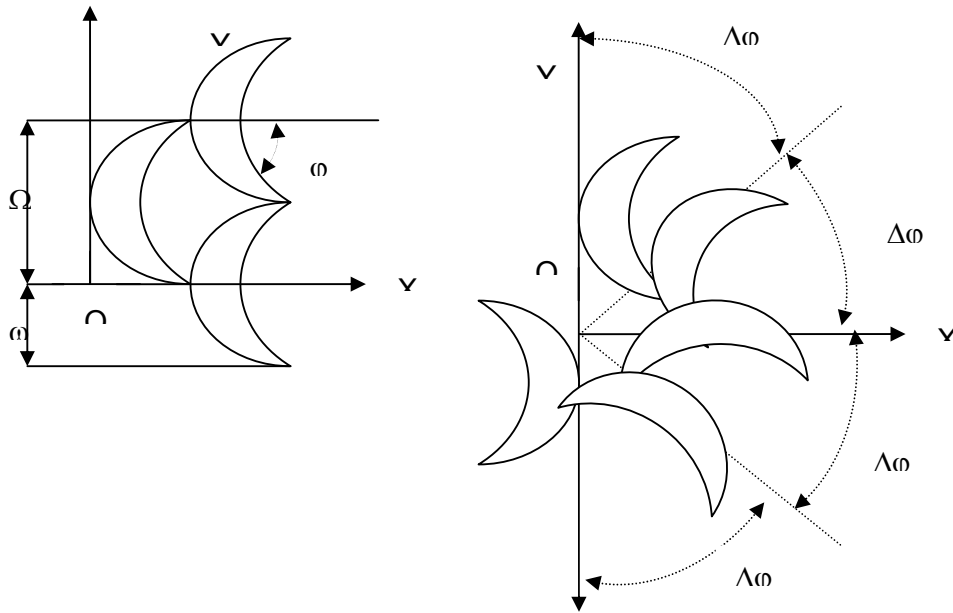
Cách tìm kiểu sắp xếp hợp lý của 3 chi tiết đầu tiên được trình bày như sau:

- Định vị chi tiết thứ nhất, chia đều khoảng cách từ điểm cao nhất đến điểm thấp nhất phía bên phải đường biên thành các bước  $\Delta\omega$ .

- Tìm vị trí của chi tiết thứ hai so với chi tiết thứ nhất bằng cách dịch chuyển chi tiết thứ nhất đến vị trí sao cho chúng không còn giao nhau và sao cho điểm cao nhất bên trái của đường biên chi tiết thứ hai trùng với một trong số các điểm của đường biên bên phải của chi tiết thứ nhất. Tìm vị trí của chi tiết thứ 3 bằng cách dịch chuyển chi tiết thứ hai dọc theo trục OX về phía bên phải đến khi nào chúng không còn giao nhau.

Xem xét tất cả các phương án sắp xếp của 3 chi tiết đầu tiên theo các điểm được phân chia trên đường biên theo khoảng cách  $\Delta\omega$  và chọn phương án tối ưu, nghĩa là, tại đó, số lượng chi tiết thu được là nhiều nhất. Sau đó, từ vị trí đầu tiên cho chi tiết thứ nhất xoay một góc  $\Delta\varphi$ . Quy trình tiếp tục được lặp lại cho đến khi góc xoay vượt quá giá trị  $\Pi$ .

Việc tính toán và chọn lựa chiều rộng phù hợp của dải cắt được xác định như sau: theo mỗi phương án sắp xếp, hiệu của tọa độ lớn nhất và nhỏ nhất của chi tiết được xác định là chiều rộng của dải cắt. Từ đó có thể tìm được số lượng của dải cắt được cắt ra từ tấm vật liệu trong từng phương án sắp xếp.



Hình 5. Dịch chuyển chi tiết đi khoảng cách  $\omega$  và xoay chi tiết đi một góc  $\Delta\phi$

Để xây dựng phương án sắp xếp các chi tiết để cắt dập theo hàng một đạt hiệu quả tối ưu, giải thuật được trình bày như sau:

1. Xác định các hoành độ  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$  của các điểm ngoài cùng bên trái và bên phải của chi tiết thứ nhất (chi tiết  $G_1$ ) và các tung độ  $Y_{\min}$ ,  $Y_{\max}$  của các điểm thấp nhất và cao nhất của chi tiết  $G_1$ .

2. Dựng trong dải cắt  $Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}$  chi tiết thứ hai (chi tiết  $G_2$ ) thỏa mãn công thức:

$$X_i^{G_2} = -X_i^{G_1} + 2X_{\max}; \quad Y_i^{G_2} = -Y_i^{G_1} + Y_{\max} + Y_{\min} \quad (3)$$

Trong trường hợp này, chi tiết  $G_2$  đã xoay đi một góc  $180^\circ$  so với chi tiết  $G_1$  và vị trí của chi tiết trên dải cắt được xác định  $Y_{\max}^{G_2} = Y_{\min}$ ; và rõ ràng tại vị trí này, hai chi tiết  $G_1$  và  $G_2$  là không giao nhau. Đây là điều kiện để kiểm tra sự không giao nhau của hai chi tiết.

3. Từ các điểm tựa Mi của các chi tiết  $G_1$  và  $G_2$  dựng các đường thẳng song song với trục OX. Xác định khoảng cách nhỏ nhất di và khoảng cách lớn nhất Di của hai chi tiết này.

Bước cắt dập từ chi tiết  $G_1$  đến  $G_2$  sẽ là:  $t = D - d$  (4)

Trong đó  $d = \min\{di\}$ ;  $D = \{Di\}$ . Chi tiết  $G_2$  dịch chuyển về bên trái theo trục OX đến chi tiết  $G_1$  với khoảng cách d.

4. Xác định kích thước  $\Omega_x$  và  $\Omega_y$  của các chi tiết  $G_1$  và  $G_2$ :

$$\Omega_x = X_{\max} - X_{\min}; \quad \Omega_y = Y_{\max} - Y_{\min} \quad (5)$$

5. Xác định chiều rộng của dải cắt (ký hiệu là Hd) và số lượng dải cắt trên tấm vật liệu (ký hiệu là m):

$$Hd = \Omega_y + 2B; \quad m = \left\lceil \frac{H}{Hd} \right\rceil \quad (6)$$

Trong đó,  $\left\lceil \frac{H}{Hd} \right\rceil$  là phần nguyên của  $\frac{H}{Hd}$

6. Để xác định số lượng chi tiết W được sắp xếp trên dải cắt, trước tiên xác định số lượng hỗ trợ W':

$$\omega' = \frac{L - 2\beta - (2\Omega x - d)}{t} + 1 \quad (7)$$

Đại lượng  $W'$  là số lượng liên kết giữa các chi tiết  $G_1$  và  $G_2$  trên dải cắt. Nếu  $W't + \Omega x \leq L - 2\beta + \beta'$  thì số lượng chi tiết trên một dải cắt là:  $W = W' + 1$ ; Nếu,  $W't + \Omega x \geq L - 2\beta + \beta'$  thì  $W = 2W'$

7. Xác định số lượng chi tiết được sắp xếp trên tấm vật liệu và hệ số sử dụng vật liệu:

$$n = m \cdot W; \quad \eta = \frac{nS}{HL} \times 100 \quad (8)$$

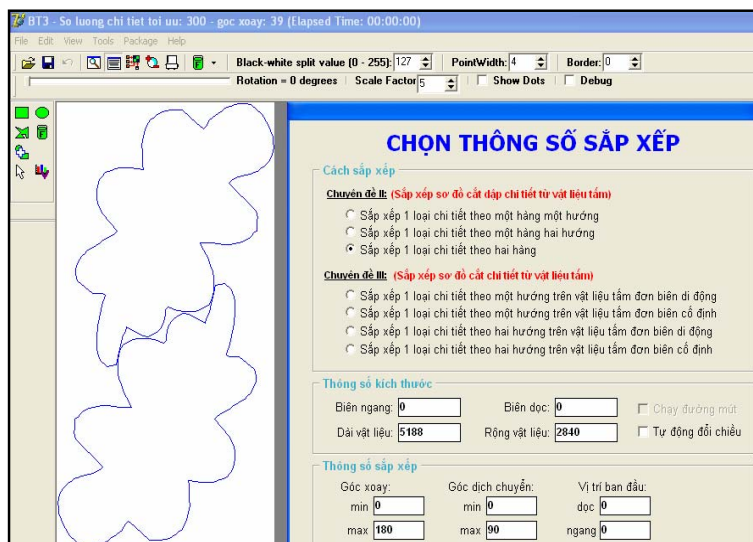
8. Xoay chi tiết  $G_1$  trên mặt phẳng vật liệu tấm đi một góc  $\Delta\varphi$  và quy trình lại lập lại theo trình tự như trên. Quá trình tính toán được tiếp tục đến khi góc xoay  $\varphi$  vượt quá giá trị  $\Pi$ . Phương án được chọn là phương án có hệ số sử dụng vật liệu là cao nhất hoặc số lượng chi tiết thu được là lớn nhất.

#### 4. GIỚI THIỆU PHẦN MỀM TỐI ƯU SƠ ĐỒ CẮT

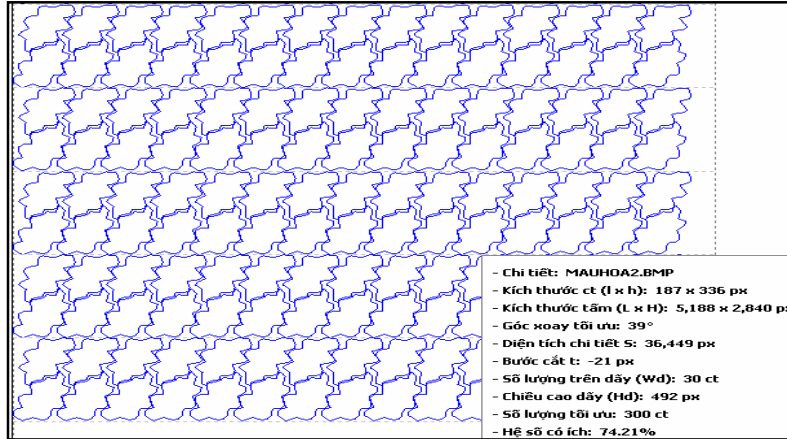
Phần mềm được viết theo giải thuật trên bằng ngôn ngữ lập trình Delphi.

Chức năng của phần mềm bao gồm mô tả đường biên chi tiết mẫu dưới dạng số hóa đường biên chi tiết vào máy tính từ ảnh của nó thu nhận được từ máy quét hình hoặc nhập dữ liệu đường biên chi tiết từ các phần mềm mô tả khác.

Chức năng sắp xếp gồm 3 dạng :sắp xếp theo một hàng một hướng ; sắp xếp theo một hàng hai hướng ; sắp xếp theo hai hàng hai hướng. Các dữ liệu thu được từ phần mềm sắp xếp 1 chi tiết mẫu cắt dập trên hình 6 cho thấy : sắp xếp theo hai hàng hai hướng có hệ số sử dụng vật liệu tối ưu là 74,21% tại góc xoay  $\varphi$  tối ưu là 39 độ so với dạng sắp xếp 1 hàng 1 hướng chi đạt hệ số sử dụng vật liệu tối ưu là 65,31% tại góc xoay  $\varphi$  tối ưu là 123 độ.

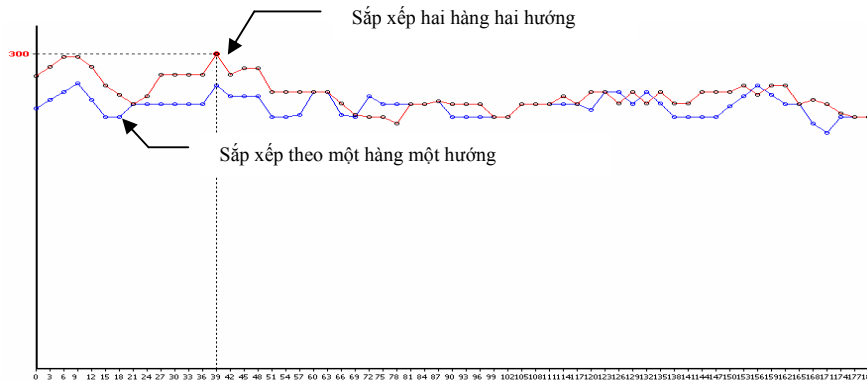


Hình 6. Chức năng sắp xếp bằng phần mềm



**Hình 7.** Sơ đồ sắp xếp bằng phần mềm

Biểu đồ thể hiện tương quan giữa số lượng chi tiết thu được trên sơ đồ sắp xếp so với từng vị trí góc xoay của chi tiết ở hai dạng sắp xếp được thể hiện trên hình 8.



**Hình 8.** Biểu đồ số lượng chi tiết thu được theo góc xoay  $\phi$  của chi tiết

Kết quả thử nghiệm của phần mềm được tiến hành tại Công ty Cơ khí Kim Nguyên Lộc ngày 20 tháng 09 năm 2005, cụ thể các thông số đạt được như sau:

- Tên chi tiết: Bông mai.
- Diện tích phôi: 1727,37 mm<sup>2</sup>.
- Số lượng chi tiết dự kiến cắt để so sánh: 1000 phôi.
- Loại vật liệu: Tôn cuộn dày 2 mm, khổ 1m.

Qua kết quả thử nghiệm cho thấy việc sắp xếp bằng phần mềm hiệu quả hơn so với sắp xếp thủ công như sau:

- Hệ số sử dụng vật liệu tăng: 15,6%.
- Chi phí trên một đơn vị sản phẩm (đồng/sản phẩm) giảm 16,59%.

## 5. KẾT LUẬN

Từ việc nghiên cứu các cơ sở toán học đến việc xây dựng mô hình, giải thuật của bài toán tối ưu sắp xếp sơ đồ cắt chi tiết từ vật liệu tấm kim loại, phần mềm ứng dụng đã được xây dựng để giải quyết bài toán thay thế cho việc sắp xếp bằng thủ công tiết kiệm nguyên vật liệu, giảm giá thành sản phẩm và nâng cao năng suất lao động. Ngoài ra, từ các dữ liệu sơ đồ cắt mà phần mềm tạo ra sẽ được giao tiếp với các máy dập cắt CNC để tự động hóa quá trình gia công dập cắt chi tiết từ phôi tấm kim loại trong một số ngành công nghiệp.

## OPTIMAL STRIP LAYOUT OF IRREGULAR SHAPES BY DIE STAMPING THEM FROM METAL SHEET

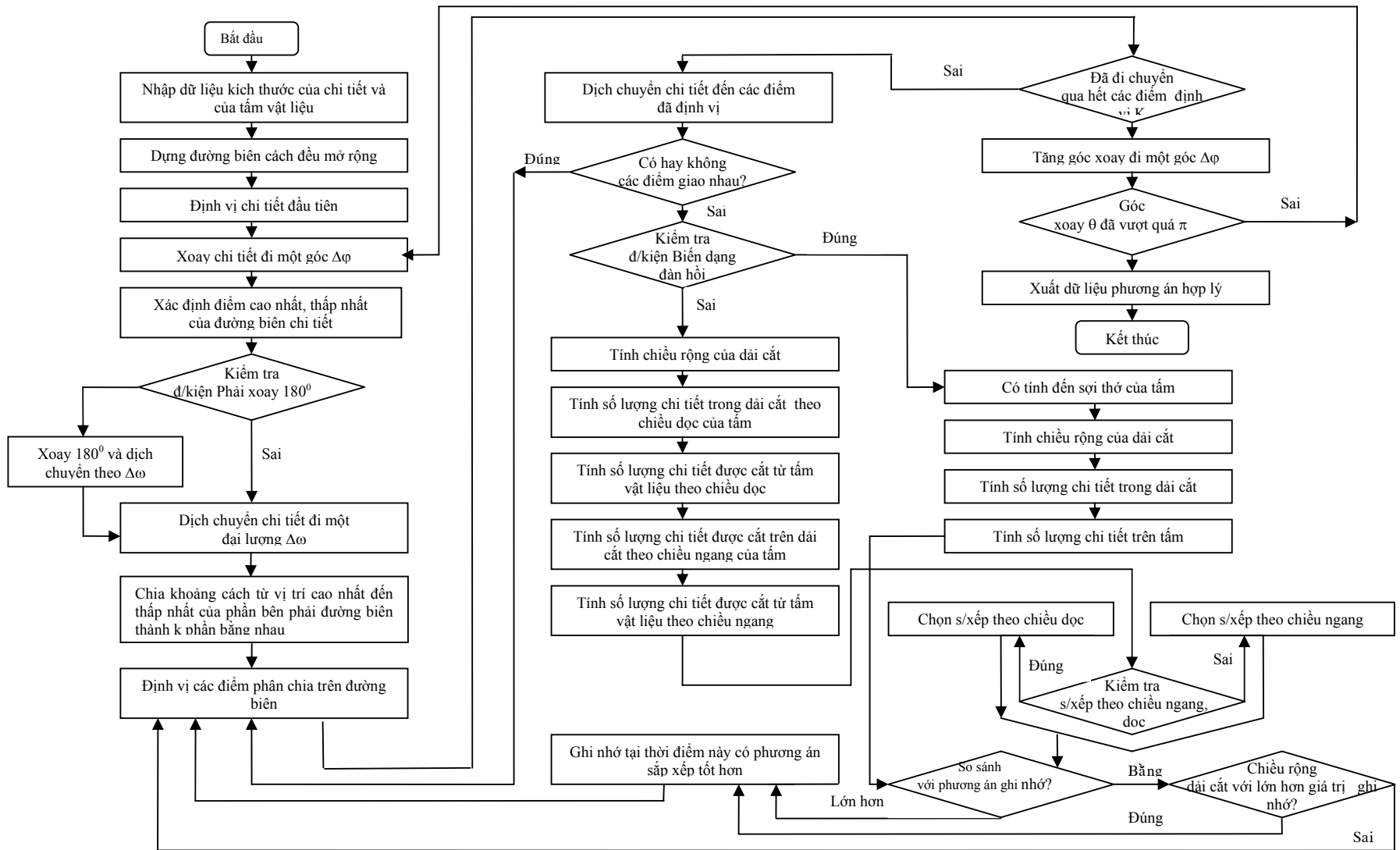
**Tran Trung Anh Dung, Tran Dang Bong, Pham Ngoc Tuan**  
University of Technology, VNU-HCM

**ABSTRACT:** *This article deals with optimal nesting problem when irregular shapes are cut from strip metal sheet by using die stamping method. The objective of the research is minimizing the waste of material or maximizing the number of shapes cutting from metal sheet. By generating some mathematical models and building up their algorithms, the software for solving problem dedicates to a number of industries for saving the time and minimizing the waste of material, and of course, increasing the productivity of manufacturing*

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Timothy J. Nye, *Stamping Strip Layout for Optimal Raw Material Utilization*, Journal of Manufacturing Systems Vol.19/No.4, (2000).
- [2]. Timothy J. Nye, *Stamping Die Strip Optimization for Paired Parts* – McMaster University, (2000).
- [3]. Jeffrey W. Herrmann, David R. Delalio, *Algorithms for Sheet Metal Nesting*, IEEE Transaction on Robotics & Automation, (2001).





Hình 9. Giải thuật sắp xếp chi tiết trên vật liệu tấm khi cắt bằng phương pháp dập khuôn