

# Tối ưu hóa đa mục tiêu khi phay cao tốc bằng dao phay ngón liên khối sử dụng thuật toán PSO

## Multi-objective optimization for high speed milling using PSO algorithm

Hoàng Tiến Dũng<sup>1,\*</sup>, Hoàng Long<sup>2</sup>, Nguyễn Tuấn Linh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: tiendunghau@gmail.com

---

### Tóm tắt

#### Từ khóa:

Tối ưu hóa đa mục tiêu, tối ưu hóa bầy đàn, phay cao tốc, tuổi bền của dao và độ nhám bề mặt.

Bài báo này ứng dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO) cho quá trình gia công phay cao tốc. Thuật toán PSO trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo đã được ứng dụng cải tiến năng suất và chất lượng sản phẩm. Bài báo này dựa trên cơ sở các mô hình hóa phay cao tốc tác giả đề xuất ứng dụng thuật toán PSO cho quá trình tối ưu hóa chế độ cắt với hai mục tiêu đảm bảo độ nhám bề mặt và tuổi bền của dụng cụ cắt. Xây dựng phần mềm tính toán chế độ cắt tối ưu khi phay cao tốc sử dụng thuật toán PSO và đánh giá so sánh kết quả với giải thuật di truyền (GA) có sẵn trong phần mềm Matlab.

---

### Abstract

#### Keywords:

Multi-objective optimization, Particle Swam Optimization (PSO), high-speed milling, tool life and surface ruoghness.

This paper presents the application of Particle Swam Optimization (PSO) for optimizing cutting process in high speed milling. In the field of artificial intelligent, the PSO algorithm has been applied in improving productivity and product quality. In this paper, on the basis of high-speed milling models, the authors proposed to apply PSO in the optimization of cutting parameters with two objectives: to ensure surface roughness and tool life. The programs used to calculate the optimal cutting parameters for high speed milling using PSO algorithm and to assess and compare the results with genetic algorithm (GA) is available in Optimization tool section of Matlab software.

---

Ngày nhận bài: 23/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 10/9/2018

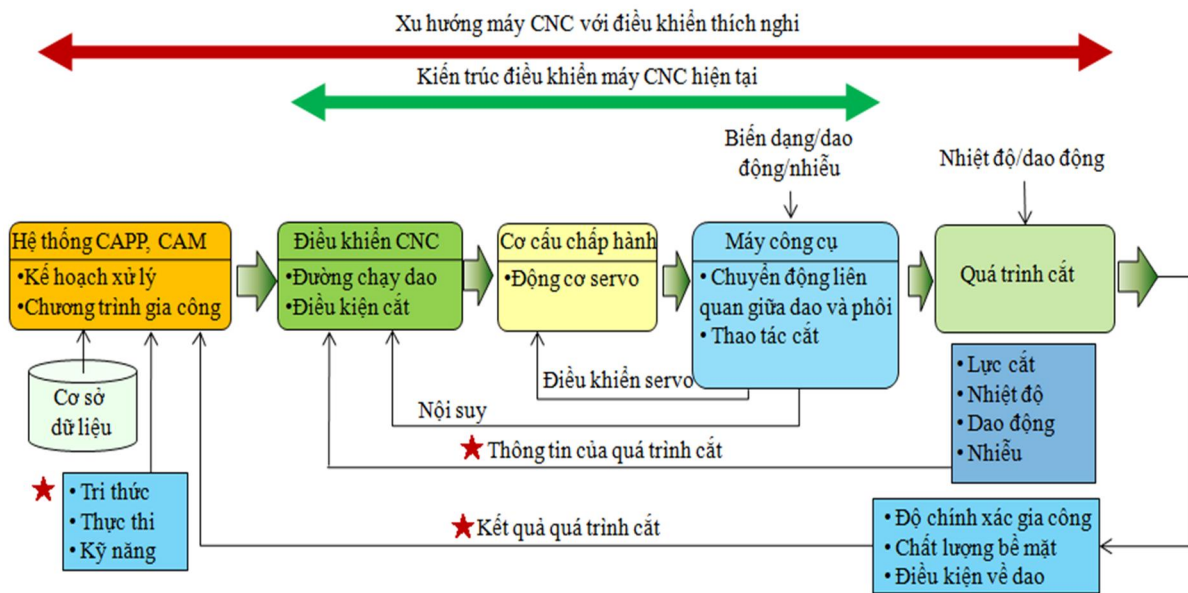
---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các máy công cụ đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống sản xuất. Sự thực hiện của chúng có ảnh hưởng lớn tới chất lượng sản phẩm và năng suất của hệ thống sản xuất. Các cải tiến kỹ thuật về phần cứng và phần mềm của các máy công cụ mang lại hiệu quả thực thi cao. Gia công tự động với năng suất và độ chính xác cao được thực hiện bởi áp dụng các máy công cụ điều khiển số CNC (Computerized Numerical Control). Những khái niệm và mô hình của máy công cụ CNC hiện tại thể hiện các đặc tính tiên bộ như sau [1]:

- Tích hợp của các quá trình: Các máy công cụ có thể thực hiện nhiều nhiệm vụ và nhiều trục trên cùng một máy.

- Dòng dữ liệu hai chiều: STEP-NC, một chuẩn dữ liệu mới, được sử dụng cho các máy công cụ để trao đổi dữ liệu giữa các hệ thống CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) và máy công cụ.
- Điều khiển thích nghi: Các thông tin phản hồi bởi sử dụng đo lường trực tiếp trong quá trình gia công cho dao, chi tiết và giám sát điều kiện cắt được sử dụng cho hoàn thiện sự thực thi của máy công cụ. Tuy nhiên tính linh hoạt của các máy CNC khi thay đổi trình tự gia công hoặc các điều kiện cắt bị giới hạn bởi sử dụng các lệnh đã biết trước của chương trình NC. Mặt khác, sự cải thiện về tính linh hoạt và tự tối ưu cho các máy bởi tích hợp kinh nghiệm của con người tới máy còn ít được nghiên cứu. Trong xem xét các hệ thống điều khiển, hệ thống điều khiển của các máy CNC truyền thống với điều khiển servo và lớp nội suy cho điều khiển chuyển động các trục của máy công cụ có thể thu được điều khiển quá trình cắt mong muốn [2]. Nhằm để thu được điều khiển các quá trình phức tạp hơn, hai lớp bổ sung cho kiến trúc điều khiển được yêu cầu cho hệ thống điều khiển CNC trong tương lai: lớp thông tin của quá trình cắt và lớp kết quả quá trình cắt như được thể hiện tại Hình 1.



(★): Vấn đề cốt lõi cho xu hướng kiến trúc điều khiển của máy CNC

Hình 1. Xu hướng kiến trúc điều khiển của máy CNC

Sự thích ứng động của hệ thống là cần thiết cho các quá trình cắt phức tạp. Điều khiển thích nghi đã được đề xuất cho phép giám sát quá trình thông minh, trong giám sát có thể nhận ra điều kiện cắt và trạng thái của các thao tác gia công. Lớp giám sát nhận phản hồi từ các đo lường của chi tiết hoàn thành đã được thêm vào hệ thống điều khiển. Kiến thức, phương pháp và kỹ năng liên quan tới các thao tác gia công đã được sử dụng cho đánh giá quá trình cắt và cải thiện chất lượng của các thao tác gia công [3].

## 2. XÁC ĐỊNH HÀM MỤC TIÊU

Việc tính toán chế độ cắt thông qua liên hệ giữa các hàm mục tiêu về độ nhám bề mặt, năng suất gia công và giá thành gia công. Mục tiêu giá thành gia công và năng suất gia công liên

quan đến năng suất bóc tách vật liệu và tuổi bền dụng cụ cắt (T). Tuy vậy, trong nghiên cứu này giới hạn quá trình tự tính toán chế độ cắt tối ưu với hàm thích nghi hai mục tiêu lượng mòn dao (VB) và độ nhám bề mặt ( $R_a$ ) nhỏ nhất. Giá trị tính toán được cập nhật điều khiển tốc độ cắt và lượng chạy dao tối ưu để đảm bảo độ nhám bề mặt và giảm lượng mòn dao ngay trong quá trình gia công.

Hàm mục tiêu lựa chọn tự tối ưu hóa quá trình gia công phay cao tốc bằng dao phay ngón liền khối là hàm về lượng mòn dao (VB) và độ nhám bề mặt ( $R_a$ ). Xác định chế độ cắt tối ưu để hàm thích nghi nhỏ nhất khi thời gian ( $\tau$ ) trong quá trình gia công thay đổi với điều kiện biên và điều kiện ràng buộc của hệ thống công nghệ.

Trên cơ sở đã xây dựng được mô hình toán học quan hệ lượng mòn dao (VB) với chế độ cắt và thời gian gia công. Và mô hình toán học quan hệ độ nhám bề mặt và chế độ cắt. Hàm mục tiêu mô hình tự tối ưu hóa chế độ cắt tại các thời điểm khác nhau trong quá trình gia công đảm bảo độ hàm thích nghi nhỏ nhất với hai mục tiêu là độ nhám ( $R_a$ ) và lượng mòn dao (VB)

Hàm lượng mòn mặt sau phụ thuộc vào chế độ cắt và thời gian  $\tau$  [4]

$$VB=0,0174.v^{0,6205}.f^{0,2409}.a_r^{0,0823}.\tau^{1,3876} \quad (1)$$

Hàm độ nhám bề mặt chi tiết gia công phụ thuộc vào chế độ cắt [5]

$$R_a=0,1441.v^{-0,3023}.f^{0,3824}.a_r^{0,0572} \quad (2)$$

Vấn đề tối ưu hóa đã được giải quyết bằng nhiều phương pháp khác nhau. Tuy vậy, trong công nghệ chế tạo máy đặt ra khi gia công mức độ yêu cầu đối với từng mục tiêu khác nhau tùy theo điều kiện công nghệ và chi tiết yêu cầu. Đối với gia công cao tốc vấn đề mòn dụng cụ cắt và chất lượng độ nhám bề mặt chi tiết gia công là hai trong nhiều mục tiêu được quan tâm. Trên cơ sở sự cần thiết giải bài toán đa mục tiêu hàm thích nghi nhỏ nhất với hai mục tiêu là độ nhám và lượng mòn dao.

Theo tác giả Abimbola M. Jubril [6] phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp trọng số.

$$\text{Min}_{x \in X} f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]; \text{ s.t. } X = \{x \in R^n : g(x) \leq 0, h(x) = 0\} \quad (3)$$

Trong đó: X: điều kiện ràng buộc và miền giới hạn

- x: Miền giới hạn bài toán
- g(x) hàm ràng buộc bất phương trình
- h(x) hàm ràng buộc phương trình

Hàm thích nghi cho các mục tiêu tối ưu với phương pháp trọng số như sau:

$$\phi(x, w) = \sum_{i=1}^p w_i . f_i(x) \quad (4)$$

Trong đó : - p là số mục tiêu của hàm thích nghi

- $w_i$  là trọng số đánh giá mức độ ảnh hưởng của hàm  $f_i(x)$  trong hàm thích nghi

$$\sum_{i=1}^p w_i = 1 \text{ và } w_i > 0 \text{ } i=1 \dots p. w_i=[0,1]$$

Đặt ra bài toán trong gia công cao tốc luôn mong muốn chất lượng độ nhám bề mặt tốt nhất ( $R_a$  nhỏ nhất) và lượng mòn nhỏ nhất (VB nhỏ nhất). Hàm thích nghi cho bài toán tối ưu hóa là:

$$A = w_1 \frac{R_a}{R_{a_0}} + w_2 \frac{VB}{VB_0} \longrightarrow \text{Nhỏ nhất}$$

Trong đó:  $w_1 + w_2 = 1$ ,  $R_{a_0}$ ,  $VB_0$  là giá trị giới hạn trên độ nhám và lượng mòn dao.

### 3. CÁC HÀM GIỚI HẠN VÀ MIỀN XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ

Điều kiện biên của bài toán công nghệ tạo ra quan hệ giải tích điều kiện gia công và thông số công nghệ cần tối ưu. Các điều kiện biên trong bài toán cực trị còn gọi là miền xác định của bài toán. Đây là điều kiện giới hạn của từng bài toán cụ thể với hệ thống công nghệ cụ thể và điều kiện nghiên cứu cụ thể. Đối với quá trình gia công phay cao tốc hay gia công CNC nói chung thì miền giới hạn về vận tốc cắt và lượng chạy dao rất lớn vì động cơ trong hệ thống được điều khiển vô cấp tốc độ. Đặc biệt trong gia công cao tốc với tốc độ cắt lớn đòi hỏi yêu cầu về thiết bị cao, độ chính xác cao và khả năng điều khiển cần mức độ đáp ứng nhanh.

Trong nghiên cứu này bỏ qua sự ảnh hưởng của nhiệt cắt trong quá trình gia công (do điều kiện nghiên cứu chưa đáp ứng để phân tích và đánh giá nhiệt trong quá trình gia công phay cao tốc).

Khi gia công trên máy phay cao tốc thì điều kiện biên được giới hạn của bài toán như sau để giải bài toán đạt kết quả tốt.

Hệ thống công nghệ được lựa chọn cố định trong suốt quá trình nghiên cứu (Công suất cắt cho phép, tốc độ cắt lớn nhất và nhỏ nhất của máy, lực cắt cho phép, chiều sâu cắt cho phép....)

Rung động trong quá trình gia công phải đảm bảo giới hạn với biên độ rung động cho phép nằm trong vùng ổn định quá trình phay.

#### - Công suất cắt khi phay

Công suất cắt khi gia công không vượt quá công suất cho phép của máy sử dụng.

Giới hạn biên được hiểu là các giới hạn để xác định vùng không gian của các tham số đầu vào trong bài toán tối ưu bao gồm:

$$P_{dc} = \frac{F.v}{60.1000} \leq [P] \quad (5)$$

$$v.F \leq P_{dc} \cdot \eta \cdot 60.1000 = [F_0]$$

Trong đó  $\eta$ : Hiệu suất của động cơ;  $P_{dc}$ : Công suất động cơ trục chính;  $v$ : tốc độ cắt.

#### - Giới hạn về độ mòn của dụng cụ cắt

Quá trình mòn của dao diễn ra rất phức tạp, chế độ cắt và thời gian cắt ảnh hưởng rất lớn đến độ mòn của dao. Việc xác định qui luật mòn đòi hỏi rất nhiều thí nghiệm và chi phí rất lớn. Vì nếu nghiên cứu sâu về độ mòn dao thì điều này chủ yếu cung cấp các thông tin cho các công ty sản xuất chế tạo dao nhiều hơn là người làm công nghệ. Vì vậy trong bài báo này tác giả chỉ nghiên cứu độ mòn dao vật liệu gia công thép C45 với dụng cụ cắt lớp phủ Cooltop (TiAlN - Titan Nhôm Nito). Trong quá trình gia công với những vật liệu cứng hay khó gia công lượng mòn dụng cụ thường là mòn theo mặt sau. Do vậy, trong bài báo này tác giả sử dụng tiêu chuẩn lượng mòn mặt sau được đo bằng chiều cao mòn dao VB.

$$VB=f(v,f,a_r,\tau)\leq[VB] \quad (6)$$

#### - Giới hạn về rung động

Trong quá trình gia công xảy ra hiện tượng mất ổn định sẽ ảnh hưởng tới chất lượng bề mặt và độ chính xác của chi tiết gia công. Trong quá trình gia công rung động phát sinh, phát triển gây mất ổn định trong quá trình gia công và ảnh hưởng tới độ chính xác, chất lượng bề mặt và tuổi thọ của dụng cụ cắt. Hiện tượng tự rung là rung động sinh ra trong quá trình cắt, do năng

lượng của quá trình cắt sinh ra. Vì vậy khi không cắt gọt thì hiện tượng tự rung biên mất. Trong điều kiện nhất định thì hiện tượng tự rung gây mất ổn định trong quá trình gia công, ảnh hưởng tới độ chính xác gia công. Hiện tượng tự rung gây bất ổn định trong quá trình gia công thường xảy ra do hiện tượng cộng hưởng tần số của hiện tượng tự rung gần với tần số riêng của hệ gia công dẫn đến biên độ tần số tăng.

$$A=f(v,f,a_r)\leq[A_0] \quad (7)$$

**- Điều kiện giới hạn về khả năng gia công của thiết bị**

+ Tốc độ cắt nằm trong phạm vi cho phép đối với gia công cao tốc

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max} \quad (8)$$

+ Lượng chạy dao và chiều sâu cắt theo phương hướng kính ( $a_r$ ) nằm trong phạm vi cho phép

$$f_{\min} \leq f = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \cdot N \cdot f_z \leq f_{\max} \quad (9)$$

$$a_{r\min} \leq a_r \leq a_{r\max} \quad (10)$$

**- Giới hạn về biến dạng trực dao phay**

Lực cắt gây ra biến dạng trực dao phay F làm trực dao phay biến dạng và bị võng làm ảnh hưởng đến độ chính xác và chất lượng bề mặt chi tiết gia công.

Độ võng đảm bảo nhỏ hơn độ võng cho phép [y]. Theo sức bền vật liệu đối với trực công xon ta có thể xác định được độ võng tại phần đầu của dụng cụ cắt:

$$y_{\max} \leq [y_0] \quad (11)$$

Bài toán xác định bộ thông số chế độ cắt tối ưu v, f,  $a_r$ . Tuy vậy, giá trị chế độ cắt không phải là giá trị bất kỳ mà không có yêu cầu ràng buộc mà nó phải phụ thuộc vào từng điều kiện hệ thống công nghệ trong quá trình gia công. Với mỗi hệ thống công nghệ gia công lại có giá trị giới hạn cho các điều kiện biên và miền giới hạn khác nhau.

$$v \cdot F_c \leq P_{dc} \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1000 = G_1 \quad (12)$$

Theo phần thực nghiệm cho thấy lực cắt theo phương Y ảnh hưởng lớn nhất tới quá trình cắt gọt.

$$v \cdot F_c = 2163 \cdot v^{0,4721} \cdot f^{0,2678} \cdot a_r^{0,5260} \leq P_{dc} \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1000 = G_1 \quad (13)$$

Miền giới hạn của phạm vi điều chỉnh tốc độ cắt:

$$G_2 = v_{\min} \leq v \leq v_{\max} = G_3 \quad (14)$$

Miền giới hạn của phạm vi điều chỉnh lượng chạy dao

$$G_4 = f_{\min} \leq f = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \cdot N \cdot f_z \leq f_{\max} = G_5 \quad (15)$$

Miền giới hạn của phạm vi điều chỉnh chiều sâu cắt

$$G_6 = a_{r\min} \leq a_r \leq a_{r\max} = G_7 \quad (16)$$

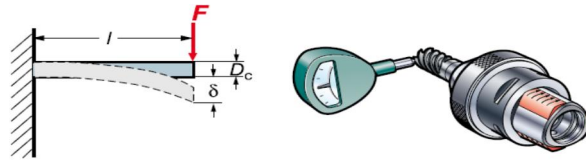
Giới hạn về rung động trong quá trình gia công để đảm bảo độ ổn định của rung động.

$$A_{xy} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \leq [A_0] = G_8 \quad (17)$$

Trong đó:  $A_{xy} = 1,653.v^{-0,0766}.f^{0,0911}.a_r^{0,3542}$  [10]

Độ võng của dụng cụ cắt đảm bảo nhỏ hơn độ võng cho phép  $[y]$ . Theo sức bền vật liệu đối với trục công xôn ta có thể xác định được độ võng tại phần đầu của dụng cụ cắt[9]:

$$y_{max} = C \cdot \frac{F}{E} \left[ \frac{L_1^3}{D_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{D_2^4} \right]^m \leq [\delta] = G_9 \quad (18)$$



**Hình 2.** Thực nghiệm xác định độ võng dụng cụ cắt của hãng Sandvik

Đối với dụng cụ cắt thí nghiệm  $D_1=D_2=D_c=20\text{mm}$ ;  $L_1$  chiều dài phần lưỡi cắt (theo hãng dụng cụ cắt Sandvik chế tạo  $L_1=15\text{mm}$ );  $L_2$  chiều dài phần gá công xôn dụng cụ cắt (Thực nghiệm gá giá trị  $L_2=25\text{mm}$ ); E: Mô đun đàn hồi của vật liệu dụng cụ cắt (Mpa); C, m: hệ số phụ thuộc vào đặc tính hình học dao phay ngón sử dụng thực nghiệm (Đối với dao phay ngón liền khối có 4 lưỡi cắt, 3 lưỡi cắt và 2 lưỡi cắt thì tương ứng hệ số C là 9,05, 8,30 và 7,93; hệ số m tương ứng là 0,950, 0,965 và 0,974) [8]. Vậy khi đó ta có dụng cụ cắt sử dụng thực nghiệm có 4 lưỡi cắt vì quá trình thực nghiệm gia công tinh. Khi đó ta có hệ số  $C=9,05$ ; hệ số  $m=0,95$  thay vào phương trình ta có

$$y_{max} = 9,05 \cdot \frac{F}{E} \left[ \frac{15^3}{20^4} + \frac{25^3 - 15^3}{20^4} \right]^{0,95} = 0,993 \cdot \frac{F}{E} \leq [\delta] \quad (19)$$

Với F là lực cắt khi phay

$$F_{xy} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (20)$$

Trong đó hàm tổng hợp lực cắt với thành phần X, Y ( $F_{xy}$ ) được xác định là [9]:

$$F_{xy} = 2735,2.v^{-0,5345}.f^{0,2608}.a_r^{0,5277} \quad (21)$$

Giải các bài toán tối ưu trong công nghệ gia công cơ khí là lớp các bài toán thực nghiệm ứng với từng điều kiện công nghệ cụ thể. Vì vậy, giải quyết vấn đề triệt để nên các hàm mục tiêu và giới hạn biên phải tiếp cận đến các hàm thực nghiệm. Cách tiếp cận như vậy mới đáp ứng được yêu cầu công nghệ ngày càng chính xác và khắc khe hiện tại và trong thời gian tới. Trên thực tế với sự phát triển nhanh của khoa học công nghệ vấn đề các hệ thống mới ra đời đòi hỏi chi phí máy móc, trang thiết bị dụng cụ ngày càng lớn. Vấn đề tối ưu hóa trong công nghệ để đem lại chất lượng và hiệu quả kinh tế là vấn đề quan trọng và cần thiết.

Giá trị giới hạn về độ nhám tùy theo yêu cầu của từng sản phẩm  $R_a \leq [R_a]$ . Lượng mòn dao mặt sau cho phép nhỏ hơn hoặc bằng  $500\mu\text{m}$  để đảm bảo khả năng gia công của dụng cụ cắt[12].

#### 4. GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ CẮT KHI PHAY CAO TỐC

Trên cơ sở bài toán trong gia công cao tốc luôn mong muốn chất lượng độ nhám bề mặt tốt nhất ( $R_a$  nhỏ nhất) và lượng mòn nhỏ nhất (VB nhỏ nhất). Hàm thích nghi cho bài toán tối ưu hóa là:

$$A = w_1 \frac{R_a}{R_{a0}} + w_2 \frac{VB}{VB_0} \quad (22)$$

Trong đó:  $w_1 + w_2 = 1$ ,  $R_{a0}$ ,  $VB_0$  là giá trị giới hạn trên độ nhám và lượng mòn dao.  
Điều kiện ràng buộc và miền giới hạn của bài toán

$$\left\{ \begin{array}{l} v.F_c = 2163.v^{0,4721}.f^{0,2678}.a_r^{0,5260} \leq P_d.\eta.60.1000 = G_1 = 1400(N.m/ph) \\ v \geq v_{\min} = G_2 = 360(m/ph) \\ v \leq v_{\max} = G_3 = 600(m/ph) \\ f \geq f_{\min} = G_4 = 2000(mm/ph) \\ f \leq f_{\max} = G_5 = 4000(mm/ph) \\ a_r \geq a_{r\min} = G_6 = 0,1(mm) \\ a_r \leq a_{r\max} = G_7 = 1(mm) \\ A_y = 1,653.v^{-0,0766}.f^{0,0911}.a_r^{0,3542} \leq [A_y] = G_8 = 2(\mu m) \\ y_{\max} = 0,993 \cdot \frac{2735,2.v^{-0,5345}.f^{0,2608}.a_r^{0,5277}}{E} \leq [\delta] = G_9 = 0,02(mm) \\ Ra = 0,1441.v^{-0,3023}.f^{0,3824}.a_r^{0,0572} \leq [R_v] = G_{10} = 0,38(\mu m) \\ VB = 0,0174.v^{0,6205}.f^{0,2409}.a_r^{0,0823}.r^{1,3876} \leq [R_v] = G_{11} = 500(\mu m) \end{array} \right.$$

Nếu mức độ ưu tiên của các biến không giống nhau, trọng số của biến nào lớn hơn sẽ cho thấy biến đó quan trọng hơn. Tùy vào mục đích của bài toán, có thể yêu cầu đạt mức độ khác nhau tùy theo từng yêu cầu của bài toán công nghệ trọng số  $w_1$  và  $w_2$  có thể được chọn khác nhau. Trong trường hợp cần ưu tiên độ nhám bề mặt cao thì chọn trọng số độ nhám lớn hơn trọng số lượng mòn (VB). Theo phương trình thích nghi chúng ta biết rằng nếu trọng số  $w_1$  tăng thì giá trị của  $R_a$  giảm và giá trị của VB tăng. Giá trị của  $R_a$  giảm một đơn vị và VB sẽ tăng bao nhiêu vấn đề này cần phải phân tích trọng số của hàm thích nghi để tìm ra mức độ ảnh hưởng của từng mục tiêu đơn. Theo tác giả Hua Zuo và Guoli Zhang [7] đưa ra phương pháp phân tích và đánh giá trọng số bằng giải pháp tối ưu hóa Pareto. Giả sử  $w_1$  có giá trị  $w^*$  và  $x^*$  là nghiệm tối ưu cho hàm thích nghi ứng với giá trị trọng số  $w^*$ . Rồi sau đó tăng  $w_1$  đến  $w^{**}$  ( $w^* < w^{**}$ ) khi đó giải bài toán tối ưu hóa hàm thích nghi với trọng số  $w^{**}$  có nghiệm là  $x^{**}$ . Khi đó  $x^*$  và  $x^{**}$  là các giá trị cho giải pháp tối ưu hóa Pareto  $\frac{\Delta R_a}{\Delta VB} = \frac{R_a(x^{**}) - R_a(x^*)}{VB(x^{**}) - VB(x^*)}$  được gọi là phương pháp cân bằng

trọng số từ  $w^*$  đến  $w^{**}$ . Với sự thay đổi trọng số cho ra kết quả của chuỗi  $\frac{\Delta R_a}{\Delta VB}$  khi đó có thể xây dựng được đồ thị quan hệ giữa trọng số  $w_1$  và kết quả  $\frac{\Delta R_a}{\Delta VB}$ . Khi đó đánh giá mức độ một hàm mục tiêu đơn tăng thì hàm mục tiêu khác giảm tương ứng với từng giá trị trọng số. Từ đồ thị giúp cho người kỹ thuật nhìn nhận, đánh giá và lựa chọn sự cải tiến mức độ ảnh hưởng của hàm mục tiêu đơn tương ứng với trọng số của từng mục tiêu đơn. Thường thì giá trị trọng số  $w_1$  thay đổi từ  $0,05 \div 0,95$ .

Trong trường hợp này giả sử xét bài toán mức độ trọng số cần thiết của độ nhám và lượng mòn như nhau khi đó bài toán tự tối ưu có trọng số  $w_1 = w_2$ .

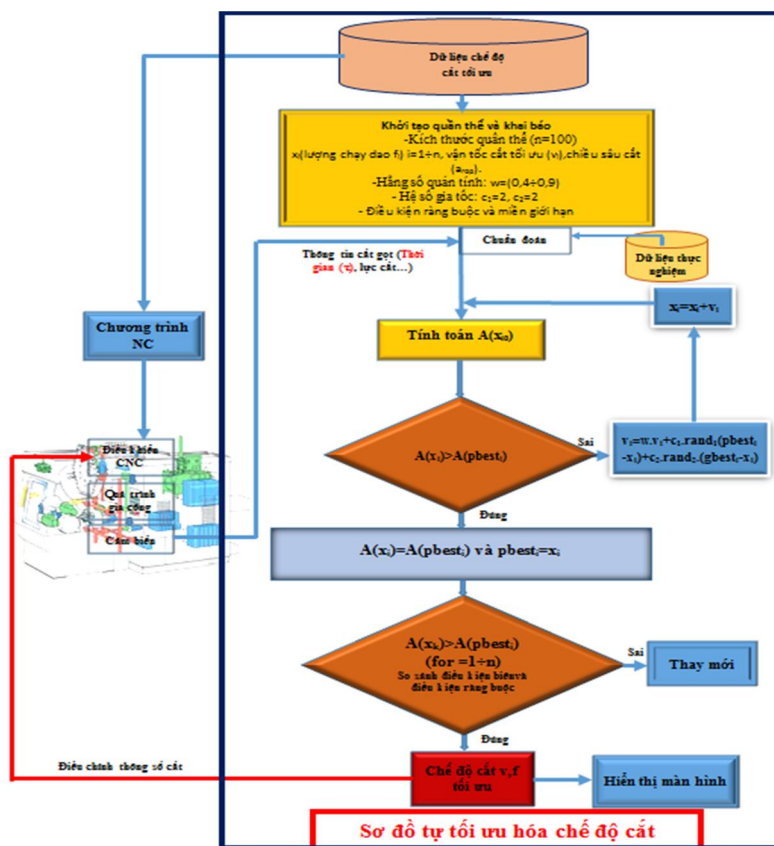
Khi đó ta có phương trình hàm thích nghi nhỏ nhất để tự tối ưu hóa chế độ cắt theo sự thay thời gian trong quá trình gia công là:

$$A = 0,5 \frac{R_a}{R_{a_0}} + 0,5 \frac{VB}{VB_0} \quad (23)$$

Thuật toán PSO dữ liệu chế độ cắt ban đầu lựa chọn của thuật toán là chế độ cắt tối ưu tính và là giá trị khởi tạo quần thể (giá trị đầu vào chế độ cắt) để tìm kiếm trong quá trình gia công. Chế độ cắt tối ưu này được khai báo trong chương trình NC để gia công.

Trong quá trình gia công dụng cụ cắt mòn và độ nhám bề mặt tăng theo thời gian gia công. Thông tin chế độ cắt luôn được cập nhật thông qua cảm biến (thời gian, lực cắt...) và so sánh với dữ liệu thực nghiệm để đưa ra dự đoán, xác định thông số chế độ cắt mới phù hợp với điều kiện lượng mòn dao nhỏ nhất, độ nhám bề mặt nhỏ nhất tại các thời điểm gia công khác nhau với mức độ trọng số ( $w_1, w_2$ ) phụ thuộc vào yêu cầu cụ thể từng yêu cầu công nghệ và các điều kiện ràng buộc, miền giới hạn của hệ thống công nghệ. Nếu điều kiện này thỏa mãn thì phần mềm đưa ra thông số chế độ cắt tối ưu mới để điều khiển máy.

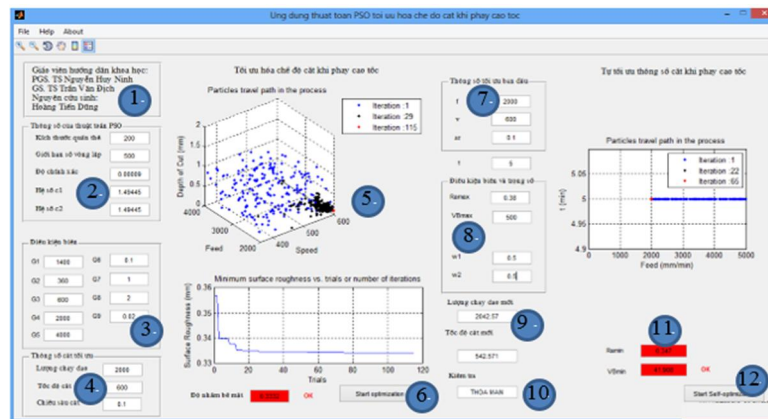
Nếu điều kiện không thỏa mãn thì thông báo thay dao mới sơ đồ thuật giải tự tối ưu hóa chế độ cắt hình 3.



Hình 3. Sơ đồ thuật toán điều khiển tự tối ưu chế độ cắt trong trường hợp xét đến mòn dao

Để đảm bảo độ nhám bề mặt nhỏ nhất và lượng mòn dao nhỏ nhất theo trọng số như nhau, lập trình phần mềm sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để tính chế độ cắt tối ưu đáp ứng hàm mục tiêu với thời gian ( $\tau$ ) thay đổi trong quá trình gia công. Tác giả chỉ mới dừng lại ở mức độ mô phỏng vì vấn đề kết nối với máy CNC là vấn đề khó và điều kiện trang thiết bị chưa đủ. Để chứng minh tính năng và giá trị tối ưu thông số cắt phần mềm tự tối ưu hóa chế độ cắt.





**Hình 4.** Giao diện phần mềm tối ưu hóa và tự tối ưu hóa chế độ cắt khí phay cao tốc

Phần mềm ứng dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO) tối ưu hóa và tự tối ưu hóa chế độ cắt trong quá trình gia công đảm bảo lượng mòn dao nhỏ nhất và độ nhám bề mặt yêu cầu đồng thời thỏa mãn điều kiện biên giới hạn theo hệ thống công nghệ. Giao diện phần mềm gồm các vùng: Vùng 1 thông tin về tác giả; vùng 2 khai báo hệ số, kích thước quần thể và giới hạn số vòng lặp; Vùng 3 khai báo điều kiện biên của bài toán; Vùng 4 hiển thị chế độ cắt tối ưu; Vùng 5 mô tả không gian tìm kiếm và điểm hội tụ của bài toán; Vùng 6 nút chạy chương trình tối ưu hóa và hiển thị giá trị độ nhám bề mặt; Vùng 7 hiển thị giá trị thông số đầu vào bài toán tự tối ưu hóa chế độ cắt trong quá trình gia công; Vùng 8 điều kiện biên bài toán tự tối ưu hóa chế độ cắt (Lượng mòn dao cho phép, độ nhám bề mặt giới hạn) và trọng số hàm thích nghi; Vùng 9 hiển thị giá trị tối ưu tính toán trong quá trình gia công; Vùng 10 hiển thị thỏa mãn điều kiện bài toán hay không hoặc thay dao mới; Vùng 11 hiển thị giá trị lượng mòn dao và độ nhám bề mặt nhỏ nhất tương ứng với hàm thích nghi; Vùng 12 nút chạy chương trình. Nhập điều kiện biên bài toán và trọng số trên giao diện phần mềm kết quả tính toán của phần mềm tại thời điểm 5, 8, 15 phút như sau:

+Thời gian  $\tau = 5$  phút

**Bảng 1.** Giá trị  $R_a$  và VB tại thời gian  $\tau = 5$  phút

TT	v(m/phút)	f(mm/phút)	$a_r$ (mm)	$R_a(\mu m)$	VB( $\mu m$ )
Lần 1	546,962	2063,69	0,1	0,348	42,222
Lần 2	548,938	2027,17	0,1	0,345	42,135
Lần 3	529,674	2013,99	0,1	0,348	41,147
<b>Trung bình</b>				<b>0,347</b>	<b>41,835</b>

+ Thời gian  $\tau = 8$  phút

**Bảng 2.** Giá trị  $R_a$  và VB tại thời gian  $\tau = 8$  phút

TT	v(m/phút)	f(mm/phút)	$a_r$ (mm)	$R_a(\mu m)$	VB( $\mu m$ )
Lần 1	548,190	2013,546	0,1	0,346	79,771
Lần 2	539,268	2028,476	0,1	0,348	79,736
Lần 3	537,708	2089,987	0,1	0,354	79,327
<b>Trung bình</b>				<b>0,348</b>	<b>80,382</b>

+ Thời gian  $\tau = 15$  phút

**Bảng 3.** Giá trị  $R_a$  và VB tại thời gian  $\tau = 15$  phút

TT	v(m/phút)	f(mm/phút)	$a_r$ (mm)	$R_a(\mu\text{m})$	VB( $\mu\text{m}$ )
Lần 1	480,868	2000,000	0,1	0,362	172,951
Lần 2	497,892	2139,357	0,1	0,367	179,779
Lần 3	498,237	2062,061	0,1	0,359	181,982
<b>Trung bình</b>				<b>0,361</b>	<b>182,198</b>

Ứng dụng giải thuật di truyền (GA) có sẵn trong Optimization tool của phần mềm Matlab để tối ưu hóa hàm mục tiêu thích nghi cho kết quả đánh giá bảng 4.

**Bảng 4.** So sánh kết quả giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (PSO) và giải thuật di truyền (GA)[11]

TT	Thời gian (phút)	Độ nhám bề mặt ( $R_a(\mu\text{m})$ )		Sai lệch (%)	Lượng mòn dao (VB ( $\mu\text{m}$ ))		Sai lệch (%)
		GA	PSO		GA	PSO	
1	5	0,347	0,343	1,254	41,835	42,819	2,35
2	8	0,349	0,348	0,426	80,062	80,382	0,40
3	15	0,363	0,361	0,622	180,122	182,198	1,15

Qua kết quả tính toán trong các lần chạy tối ưu hóa đối với hai giải thuật sai số không nhiều khoảng dưới 3%. Qua kết quả cho thấy thuật toán PSO cho kết quả độ nhám  $R_a$  nhỏ hơn thuật toán GA nhưng lượng mòn dao ngược lại. Tuy vậy, với kết quả này cho thấy phần mềm sử dụng thuật toán PSO có kết quả đáng tin cậy.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày mô hình định hướng tự tối ưu cho các hệ thống gia công thông minh trong tối ưu hóa đa mục tiêu và ứng dụng thuật toán PSO để giải bài toán đa mục tiêu. Chức năng dự đoán tuổi bền của dao và độ nhám bề mặt trong quá trình gia công đã được lập và thực nghiệm. Trong quá trình gia công hệ thống tự tối ưu luôn dự đoán quá trình mòn dao và độ nhám thay đổi chế độ cắt đáp ứng hàm thích nghi nhỏ nhất. Để đáp ứng các tiêu chí kỹ thuật về độ nhám bề mặt và tuổi bền dao được dự đoán và xác định trong quá trình gia công giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (PSO) được áp dụng tối ưu hóa đa mục tiêu. Sau khi tác giả xây dựng phần mềm tối ưu hóa theo thuật toán PSO qua kết quả đánh giá cho thấy phần mềm có độ tin cậy và độ hội tụ. Nghiên cứu này là cơ sở để làm chủ, tiếp cận giám sát và điều khiển trực tuyến trong quá trình gia công đây là định hướng của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 trong tương lai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S. Mekid, P. Pruschek and J. Hernandez, Beyond intelligent manufacturing: a new generation of flexible intelligent NC machines, Mechanism and Machine Theory, Vol.44/466-476, 2009.

[2]. Tạ Duy Liêm, Hệ thống điều khiển số cho máy công cụ, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, 2001.

[3]. K. Shirase and S. Fujii, Machine tool automation, Handbook of Automation, Springer, 837-857, 2009.

[4]. Hoàng Tiến Dũng (2016), Ảnh hưởng của chế độ cắt và thời gian cắt đến mòn dao khi phay cao tốc bằng dao phay ngón liền khối, Tạp Chí Khoa học và Công nghệ-Trường ĐH Công Nghiệp Hà Nội, số 6.

[5]. Hoang Tien Dung, Nguyen Huy Ninh, Tran Van Dich, Tran Ngoc Hien, Nguyen Thanh Binh (2014), *Optimizing cutting conditions in high speed milling using evolution algorithms*, The 7th AUN/SEED-Net Regional conference in mechanical and manufacturing engineering, trang 146-150

[6]. Abimbola M Jubril (2012), A nonlinear weights selection in weighted sum for convex multiobjective optimization, Facta Universitatis ser. Math. Inform. Vol. 27 No 3, 357-372.

[7]. Hua Zuo and Guoli Zhang (2013), Weights Analysis of Multi-objective Programming Problem, Information Processing and Control Institute, North China Electric Power University, Baoding 071003, China.

[8]. Nguyễn Trọng Bình (2003), Tối ưu hóa quá trình gia công cắt gọt, Nxb Giáo dục.

[9]. B. Denkena, H. Henning, Lorenzen LE (2010), Genetics and intelligence: new approaches in production engineering, Prod Engi Res Dev, Vol. 4, pp. 65-73.

[10]. Hoàng Tiến Dũng, Trần Văn Dịch, Nguyễn Huy Ninh, Phạm Thị Thiều Thoa (2014), Ảnh hưởng của chế độ cắt đến rung động khi phay cao tốc bằng dao phay ngón liền khối, Tạp chí Cơ Khí Việt Nam số 9, trang 94-101.

[11]. Hoàng Tiến Dũng, Nguyễn Hoài Sơn (2018), Tối ưu hóa chế độ cắt khi phay cao tốc vật liệu thép C45 sử dụng dao phay ngón liền khối, Tạp chí Cơ khí Việt Nam số 8.

[12]. ISO 8688-1-1989: *Tool life testing in milling*.