NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐA YẾU TỐ ĐẾN CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT VÀ NĂNG SUẤT GIA CÔNG KHI MÀI PHẲNG HỢP KIM TI-6AL-4V BẰNG ĐÁ MÀI CBN

THE EFFECT OF MULTI-PARAMETER ON SURFACE QUALITY AND MACHINING CAPACITY IN THE SURFACE GRINDING OF TI-6AL-4V ALLOY USING CBN WHEEL

ThS. **Phí Trọng Hùng**[1,2], TS. **Nguyễn Kiên Trung**[2], PGS, TS. **Trương Hoành Sơn**[2]
[1]Trường Đại học Điện lực
[2]Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Khi mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V (Ti64) bằng đá mài cBN, việc đánh giá được ảnh hưởng của chế độ công nghệ tới chất lượng gia công, xây dựng được một bộ thông số công nghệ phù hợp để đạt được chất lượng bề mặt và năng suất gia công theo yêu cầu là rất cần thiết. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization) để thành lập bài toán tối ưu với hàm mục tiêu là năng suất gia công và ba hàm điều kiện biên, bao gồm hai hàm giới hạn thông số chế độ công nghệ (lượng tiến dao, chiều sâu cắt) và một hàm giới hạn về độ nhám bề mặt của chi tiết. Nghiên cứu tối ưu hóa đa mục tiêu bằng thuật toán bầy đàn PSO thu được bộ thông số chế độ cắt tối ưu tương ứng ở F = 10000 mm/ph; t = 0,0063 mm. Sai số trung bình của giá trị độ nhám Ra và năng suất gia công Q giữa kết quả thực nghiệm và PSO tương ứng là 5,39% và 6,82%. Điều đó chứng tỏ kết quả của hàm PSO tương đối phù hợp với thực nghiệm và có thể sử dụng để xác định các tham số gia công cho quá trình mài này.

Từ khóa: *Hợp kim Titan; Đá mài cBN; Tối ưu hóa bầy đàn PSO; Mài phẳng.*

ABSTRACT

In the surface grinding of Ti-6Al-4V (Ti64) alloy with cBN wheel, it is nescessary to evaluate the effect of cutting condition on machining performance to establish a set of cutting parameters to achieve the desired surface quality and machining capacity. In this study, an optimum problem is solved with using Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, including objective function of machining capacity and three boundary functions including two functions of cutting parameter limitation (workpiece speed, depth of cut) and one function of surface roughness limitation. The multi-optimization with PSO shows that the achieved optimum cutting parameter set is at F = 10000 mm/min, t = 0,0063 mm. The average deviation of surface roughness Ra and capacity Q between experimental and prediction results 5,39% and 6,82%, respectively. Therefore, the predicted outcomes with PSO are relatively adequate to experimental ones, which could be used for determination of cutting condition for given surface roughness Ra and capacity Q.

Keywords: *Titanium alloy, cBN wheel, Particle Swarm Optimization, Surface grinding.*

1. GIỚI THIỆU

Mài là một trong các nguyên công quan trọng trong công nghiệp, máy mài điều khiển số bằng máy tính từ lâu đã được sử dụng trong các hệ thống gia công linh hoạt. Tối ưu hóa quá trình mài chủ yếu dựa trên việc tối thiểu hóa chi phí gia công, tối đa hóa năng suất và đạt được chất lượng bề mặt cao nhất có thể. Do độ phức tạp và tính phi tuyến cao của nguyên công mài mà các phương pháp truyền thống dựa trên kinh nghiệm hoặc sổ tay đều có điểm hạn chế riêng. Kể từ năm 2000, các thuật toán tối ưu hóa thông minh như thuật toán di truyền (GA), thuật toán bầy kiến (ACO), tìm kiếm phân tán (SS), tiến hóa vi phân (DE), tối ưu hóa bầy đàn (PSO), ... đã được sử dụng rộng rãi để tìm ra các thông số tối ưu của quá trình mài như vận tốc cắt, bước tiến dao, chiều sâu cắt,... thông qua mô hình hàm đa mục tiêu có trọng số. Trong đó, PSO là một thuật toán tính toán tiến hóa hiệu quả do Kennedy và Eberhart [1] đề xuất vào năm 1995. PSO có thể đưa ra các lời giải có độ chính xác cao trong thời gian ngắn và khả năng hội tụ tốt. Trong nghiên cứu của Zhang et al [2], thuật toán tối ưu hóa bầy đàn hỗn hợp (HPSO) kết hợp với tối ưu hóa bầy đàn lân cận động lực (DN-PSO) đã được tác giả sử dụng để giải bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình mài phẳng. Các thông số đầu vào là vận tốc cắt, bước tiến dao và chiều sâu sửa đá, còn các hàm mục tiêu là chi phí gia công, năng suất gia công và độ nhám bề mặt. Hiệu quả của thuật toán này đã được thể hiện rõ khi so sánh với các phương pháp tối ưu hóa khác. Tiếp theo, Mondal et al [3] đã ứng dụng tối ưu hóa bầy đàn để xác định bộ thông số tối ưu với hàm mục tiêu là độ nhám bề mặt nhỏ nhất khi mài vô tâm chốt móc cần cẩu bằng vật liệu thép C40. Bộ thông số tối ưu thu được là tốc độ quay của đá mài 12 vg/ph, độ mở của van làm mát 1/3 và chiều sâu cắt 20 µm. Cuối cùng, Lee et al [4] đã sử dụng tối ưu hóa PSO với hàm mục tiêu là hệ số bóc gọt vật liệu (MRR) lớn nhất và các hàm điều kiện biên là chất lượng và khuyết tật bề mặt để tối ưu hóa quá trình mài vật liệu SiC. Phân tích thống kê về các giá trị độ nhám bề mặt và số lượng vết nứt cho thấy phương pháp PSO cho kết quả tốt hơn thuật toán tiến hóa (GA).

Trong nghiên cứu này, sử dụng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn PSO để xác định các thông số chế độ cắt tối ưu trong quá trình mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài cBN, với hàm mục tiêu là năng suất gia công và ba hàm điều kiện biên, bao gồm hai hàm giới hạn thông số chế độ công nghệ (lượng tiến dao, chiều sâu cắt) và một hàm giới hạn về độ nhám bề mặt của chi tiết.

2. XÂY DỰNG BÀI TOÁN TỐI ƯU

2.1. Thành lập bài toán tối ưu đa mục tiêu

Nội dung của bài toán tối ưu khi mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài cBN cụ thể như sau: Tìm trong không gian thông số chế độ mài $x = [F, t]^T$ bộ thông số công nghệ hợp lý để: $Q(x) = 9{,}188.F^{0{,}6664}.t^{1{,}096}$ (mm^3/ph) đạt giá trị lớn nhất, với các điều kiện biên:

$$\begin{cases} R_a = F^{0{,}2101}.t^{0{,}4262} \le 0{,}8 \\ 3000 \le F \le 10000 \\ 0{,}005 \le t \le 0{,}015 \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó, hàm hồi quy thực nghiệm năng suất Q và độ nhám R_a thu được từ kết quả thực nghiệm sau khi áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bình phương nhỏ nhất.

2.2. Giải bài toán tối ưu

Các điều kiện biên của bài toán tối ưu như sau: g_1: $R_a = F^{0{,}2101}.t^{0{,}4262} \le 0{,}8$; g_2: $3000 \le F$; ☞

g_3: $F \leq 10000$; g_4: $0,005 \leq t$; g_5: $t \leq 0,015$.

Thuật toán giải bài toán tối ưu năng suất gia công Q có các bước thực hiện quy trình tìm kiếm như sau:

- Bước 1: Khởi tạo quần thể.

a) Thiết lập các hằng số: $k_{max} = 300$, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$ (trong đó k_{max} là số vòng lặp tối đa).

b) Khởi tạo quần thể nghiệm ngẫu nhiên ban đầu gồm n = 100 vector nghiệm: $x^0 = [x_1^0, x_2^0, \ldots, x_j^0, \ldots, x_n^0]$, Vector $x_j^0 = [F_j^0, t_j^0]$, trong đó: $F_j^0 = 3000 + (10000 - 3000)\, r_{Fj}$, $t_j^0 = 0,005 + (0,015 - 0,005)\, r_{tj}$. r_{Fj}, r_{tj} là những số được tạo ngẫu nhiên trong khoảng [0, 1]. Sau đó kiểm tra g_1: $R_a \leq 0,8$.

c) Khởi tạo ngẫu nhiên vận tốc nghiệm ngẫu nhiên: $-v^0_{max} \leq v_j^0 \leq v^0_{max}$ với j = 1,..., n.

d) Đặt k = 1.

- Bước 2: Tạo nghiệm mới bằng cách cập nhật các thế hệ.

Nghiệm mới x_j^{k+1} được tạo ra bằng cách cập nhật thế hệ dựa trên cơ sở nghiệm cũ x_j^k là:

$$x_j^{k+1} = x_j^k + v_j^{k+1}$$

Với

$$v_j^{k+1} = w.v_j^k + c_1.rand_1().(P_{bestj} - x_j^k) + c_2.rand_2().(G_{best} - x_j^k)$$

Sau đó phải kiểm tra điều kiện giới hạn của biến. Sau khi kiểm tra các điều kiện biên về giới hạn không gian biến phải kiểm tra điều kiện biên về giới hạn hàm g1: $R_a \leq 0,8$. Nếu điều kiện biên về giới hạn hàm không được thỏa mãn thì phải tạo lại ngẫu nhiên vận tốc nghiệm v_j^k rồi tính lại v_j^{k+1} và x_j^{k+1} theo công thức trên cho đến khi điều kiện g1 thỏa mãn thì thôi.

- Bước 3: Tối ưu hóa.

a) Kiểm tra nghiệm mới x_j^{k+1} có tốt hơn nghiệm cũ x_j^k hay không. Tính giá trị hàm mục tiêu Q tại giá trị nghiệm mới và nghiệm cũ để so sánh. Nếu $Q(x_j^{k+1}) \geq Q(x_j^k)$ thì lấy nghiệm mới x_j^{k+1} bỏ nghiệm cũ x_j^k, ngược lại thì giữ nguyên nghiệm x_j^k. Vị trí x_j^{k+1} (hoặc x_j^k) có giá trị Q lớn hơn chính là P_{bestj}. Vị trí x_j^{k+1} (với j = [1,n]) có giá trị Q lớn nhất chính là G_{best}.

b) Nếu thỏa mãn tiêu chuẩn hội tụ thì dừng lại rồi thực hiện bước 4.

c) Cập nhật tất cả các vận tốc v_j^k và vị trí x_j^k. Sau bước tạo nghiệm này sẽ tạo ra quần thể có các nghiệm mới tốt hơn quần thể nghiệm cũ.

d) Tăng j. Nếu j > n thì đặt j = 1, tăng k.

e) Quay trở lại từ bước 2 [5].

- Bước 4: Kết thúc.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để tối ưu hóa chế độ công nghệ bằng phương pháp PSO với mục tiêu là hàm năng suất gia công Q lớn nhất, trong khi độ nhám Ra ≤ 0,8 μm, ở nghiên cứu này thực hiện lập trình trực tiếp trên phần mềm Matlab. Kết quả tiến hành chạy chương trình, sau một số lần chạy thu được các giá trị như trong Bảng 1.

ISSN 2615 - 9910
TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM, Số 1+2 năm 2021
http://cokhivietnam.vn

Bảng 1. Kết quả chạy chương trình xác định chế độ công nghệ tối ưu bằng PSO:

	F (mm/ph)	t (mm)	Ra (μm)	Q (mm^3/ph)
Lần chạy 1	10000	0,00632020	0,799965902	16,53567649
Lần chạy 2	10000	0,00631990	0,799949719	16,53481624
Lần chạy 3	10000	0,00632070	0,799992875	16,53711024
Trung bình	10000	0,006320267	0,799969499	16,53586766

Việc kiểm tra bằng thực nghiệm với các thông số đầu vào như trên thông qua tiến hành mài thực nghiệm với chế độ công nghệ: v_c = 30 m/s; F = 10000 mm/ph; t = 0,0063 mm. Sau khi thí nghiệm, các giá trị so sánh giữa kết quả thực nghiệm với kết quả mô phỏng bằng PSO được thể hiện trong Bảng 2. Bảng 2 cho thấy sai số trung bình của giá trị độ nhám bề mặt Ra và năng suất gia công Q giữa kết quả mô phỏng PSO và thực nghiệm tương ứng là 5,39% và 6,82% (nhỏ hơn 10%). Nguyên nhân gây ra sai số trên là do ở đây vẫn tồn tại sai số đo và sai số ngẫu nhiên. Ngoài ra, việc thiết lập các phương trình hồi quy thực nghiệm theo phương pháp bình phương nhỏ nhất luôn có sai số giữa giá trị tính toán và giá trị thực nghiệm.

Bảng 2. Sai số của Ra và Q giữa phương pháp PSO và phương pháp thực nghiệm khi sử dụng chế độ mài tối ưu:

Biến số	Sai số của Ra giữa PSO và thực nghiệm (%)	Sai số của Q giữa PSO và thực nghiệm (%)
Lần chạy 1	2,43	5,87
Lần chạy 2	7,99	7,87
Lần chạy 3	5,75	6,71
Trung bình	5,39	6,82

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn PSO để xác định các thông số chế độ cắt tối ưu của quá trình mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài cBN. Từ đó có thể rút ra các kết luận sau:

- Sau khi tối ưu hóa đa mục tiêu bằng thuật toán bầy đàn PSO, nghiên cứu thu được bộ thông số chế độ cắt tối ưu là: F = 10000 mm/ph; t = 0,0063 mm.

- Sai số trung bình của giá trị độ nhám bề mặt Ra và năng suất gia công Q giữa kết quả mô phỏng PSO và thực nghiệm tương ứng là 5,39% và 6,82% (nhỏ hơn 10%). Điều đó chứng tỏ kết quả mô phỏng PSO tương đối phù hợp với thực nghiệm và có thể dùng để xác định các thông số của quá trình mài.❖

Ngày nhận bài: **05/01/2021**
Ngày phản biện: **15/01/2021**

Tài liệu tham khảo:

[1]. J. Kennedy, R. Eberhart (1995), Particle swarm optimization, Proceedings of the IEEE international conference on neural networks, IEEE, vol 4, 1942–1948.

[2]. G. Zhang, M. Liu, J. Li, W. Y. Ming, X. Y. Shao, Y. Huang (2014), Multi-objective optimization for surface grinding process using a hybrid particle swarm optimization algorithm, Int J Adv Manuf Technol, 71, 1861–1872.

[3]. S. C. Mondal, P. Mandal (2015), An Application of Particle Swarm Optimization Technique for Optimization of Surface Roughness in Centerless Grinding Operation, ICoRD'15 – Research into Design Across Boundaries Volume 2, Smart Innovation, Systems and Technologies 35. DOI 10.1007/978-81-322-2229-3_59.

[4]. T. S. Lee, T. O. Ting, Y. J. Lin, Than Htay (2007), A particle swarm approach for grinding process optimization analysis, Int J Adv Manuf Technol, 33, 1128–1135.

[5]. Ngoc-Hien Tran, Tien-Dung Hoang, Xuan-Phuong Dang (2019), Optimization of high-speed milling process parameters using statistical and soft computing methods, Maejo Int. J. Sci. Technol., 13(02), 121-138.