

Ứng dụng thuật toán dơi (BA) để xác định độ nhám bề mặt tối ưu khi gia công thép không gỉ SUS304 trên máy tiện CNC

Application of BAT algorithm for determining optimum surface roughness in turning of austenitic stainless steel SUS304 on CNC lathe

Trần Việt Hồi^{1,*}, Phạm Văn Bồng¹, Trần Văn Định²

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

* Email: hoitv@haui.edu.vn

Tel: +84-37655121; Mobile: 0973383303

Tóm tắt

Từ khóa:

Chế độ cắt; Độ nhám bề mặt; Phương pháp đáp ứng bề mặt; Thuật toán Dơi; Tối ưu hóa

Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ: tốc độ cắt (V), lượng tiến dao (f), chiều sâu cắt (t) đến độ nhám bề mặt hoàn thiện khi gia công thép không gỉ SUS304 trên máy tiện CNC từ đó tìm ra chế độ cắt đạt được độ nhám bề mặt tối ưu. Các phương pháp hiện tại chủ yếu lựa chọn thông số công nghệ thông qua thử và sai số, kinh nghiệm của các nghiên cứu trước và sở tay công nghệ của nhà sản xuất. Do đó cần thiết phải phát triển mô hình toán học để dự báo độ nhám bề mặt trên cơ sở kết quả thực nghiệm. Thuật toán lấy cảm hứng từ tự nhiên (thuật toán dơi) được ứng dụng để xác định độ nhám bề mặt tối ưu. Mô hình bài toán tối ưu đề xuất dựa trên thuật toán dơi được kiểm chứng thông qua thực nghiệm và tìm ra độ nhám bề mặt dự báo là hiệu quả so với độ nhám bề mặt thực tế.

Abstract

Keywords:

BAT Algorithms; Cutting parameters; Optimization; Response Surface Methodology; Surface Roughness.

This paper is to study the effect of cutting parameters: cutting speed (V), feed rate (f), cutting depth (t) on surface roughness when turning of austenitic stainless steel SUS304 on CNC Lathe from which to find the cutting parameters to achieve the optimal surface roughness. The current method mainly selects the technological parameters through trial and error, the experience of previous studies and the technical manual of the manufacturer. Therefore, it is necessary to develop a mathematical model to predict surface roughness based on experimental results. Nature-Inspired Optimization Algorithms (bat algorithm) is applied to determine the optimal surface roughness. The proposed optimization algorithm model based on bat algorithm was tested experimentally and found that the surface roughness was predicted to be effective compared to the actual surface roughness.

Ngày nhận bài: 31/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

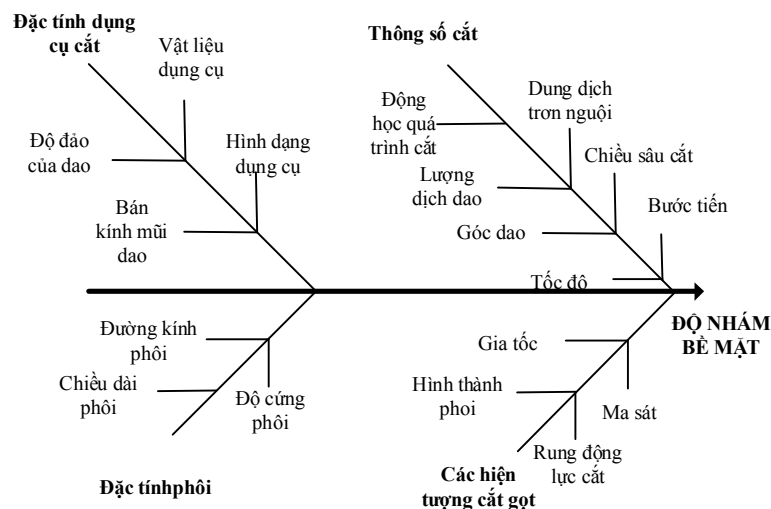
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Chất lượng bề mặt gia công được đặc trưng bởi độ chính xác của các thông số cắt cũng như điều kiện cắt. Quá trình gia công đều thể hiện trên bề mặt gia công và đánh giá bằng độ nhám bề mặt. Nghiên cứu về độ nhám bề mặt là vấn đề cấp thiết mà rất nhiều các nhà khoa học quan tâm vì mỗi điều kiện gia công và vật liệu gia công khác nhau thì độ nhám bề mặt lại có các kết quả khác nhau. Do vậy trong quá trình gia công, việc lựa chọn chế độ cắt tối ưu như số lát cắt, chiều sâu mỗi lát cắt, bước tiến và tốc độ cắt là một vấn đề rất quan trọng. Các phương pháp lựa chọn chế độ cắt tối ưu chủ yếu hiện nay dựa trên kinh nghiệm, tài liệu máy gia công, dụng cụ cắt hoặc sổ tay công nghệ, tuy nhiên các giá trị đó chỉ có ý nghĩa tham khảo chứ chưa phải giá trị tối ưu. Một phương pháp cũng có thể được sử dụng thông qua gia công thử nghiệm, tuy nhiên việc gia công thử nghiệm không có ý nghĩa về mặt công nghệ, tốn nhiều thời gian và chi phí để đưa ra kết quả.

Ngày nay, các máy điều khiển số (CNC) được sử dụng rộng rãi trong sản xuất để giảm thời gian gia công và nâng cao chất lượng sản phẩm. Việc tối ưu hóa các thông số công nghệ giúp giảm thiểu thời gian gia công và nâng cao năng suất cũng như chất lượng sản phẩm cũng đã được các nhà khoa học đặc biệt quan tâm. Nghiên cứu của S. Bharathi Raja & N. Baskar [1] đã sử dụng phương pháp tối ưu hóa bầy đàn PSO (Particle swarm optimization), phương pháp này đơn giản và cho kết quả để tối ưu hóa các thông số gia công. Phương pháp PSO cũng được một số nghiên cứu khác đề cập như [1, 2, 5, 10]. Nghiên cứu của Ramon Quiza Sardinias và nhóm tác giả [9] đã xây dựng mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu dựa trên thuật toán di truyền kết hợp với phương pháp đồ thị Pareto để lựa chọn các thông số cắt phù hợp. Tối ưu hóa các thông số công nghệ dựa trên thuật toán di truyền cũng được lựa chọn và phân tích trong các nghiên cứu [3]. Tối ưu hóa có sự kết hợp của mạng Noron và thuật toán di truyền [7] sử dụng để xác định các thông số cắt tối ưu để độ nhám bề mặt là nhỏ nhất.

Nhìn chung, độ nhám bề mặt ảnh hưởng bởi nhiều thông số như: thông số cắt, các hiện tượng xảy ra trong quá trình cắt, đặc tính dụng cụ cắt và đặc tính phôi được chỉ ra như hình 1.



Hình 1. Thông số công nghệ ảnh hưởng đến R_a [12] .

Nghiên cứu này sử dụng pháp pháp tối ưu dựa vào thuật toán di. Thuật toán lấy cảm hứng từ tự nhiên (thuật toán di) được ứng dụng để xác định độ nhám bề mặt tối ưu. Mô hình bài toán tối ưu đề xuất dựa trên thuật toán di được kiểm chứng thông qua thực nghiệm và tìm ra độ nhám bề mặt ước lượng là hiệu quả so với độ nhám bề mặt thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, kết quả thực nghiệm được dùng trong mô hình sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) [8]. Số liệu thực nghiệm được sử dụng để xây dựng mô hình toán học là hàm mục tiêu và được tối ưu sử dụng thuật toán doi [11] để đạt được chế độ cắt theo yêu cầu của độ nhám bề mặt.

2.1. Phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM)

Phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) là một nhóm kỹ thuật toán học và thống kê dựa trên sự phù hợp của mô hình thực nghiệm để các dữ liệu thực nghiệm thu được liên quan đến thiết kế thí nghiệm. Nhằm mô hình và phân tích ảnh hưởng của từng giá trị đến hàm mục tiêu, thiết kế thực nghiệm cho số tham số đã được phát triển. Phương pháp thiết kế Box-Behnken (BBD) đã được giới thiệu bởi George E. P. Box và Donald Behnken vào năm 1960 [4], yêu cầu 3 mức cho từng nhân tố và tổng số mẫu ít nhất so với phương pháp thiết kế phức hợp trung tâm (CCD) với số mẫu là 15. Theo hướng mục tiêu này, các phương trình đa thức bậc hai hay bậc nhất được sử dụng để mô tả hệ nghiên cứu đó và khảo sát các điều kiện thực nghiệm để tìm ra sự tối ưu. Các phương trình này được tìm ra bằng cách sử dụng phần mềm Minitab. Có 2 loại phương trình đa thức là bậc 1 và 2 lần lượt theo công thức (1) và (2):

$$y = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i x_i \quad (1)$$

$$y = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i x_i + \sum_{i=1}^N c_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j=1; j < i}^N c_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Trong đó: y là hàm phản ứng, c_i , c_{ii} , c_{ij} là các hệ số tuyến tính bậc hai và điều kiện ràng buộc, x_i , x_j là các giá trị độc lập.

Tuy nhiên trong các nghiên cứu trước đây cho thấy phương trình đa thức bậc hai thường được sử dụng cho phương pháp RSM với thiết kế Box-Behnken cho kết quả tốt hơn cả [6].

2.2. Vật liệu, thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Thực nghiệm được tiến hành trên máy tiện CNC MORISEIKI-SL253, công suất 4,5KW, số vòng quay trục chính tối đa là 4500 vòng/phút, dụng cụ cắt hãng Sanvik DCMT 11 T3 04 - MF 2220 phủ CVD Ti (C, N) + Al₂O₃ + TiN, phôi gia công SUS304 kích thước 50x200mm, độ nhám bề mặt được đo trên máy SV-2100 của hãng Mitutoyo như hình 2.



a)



b)

Hình 2. Thiết bị thực nghiệm.

a) Vận hành gia công thực tế.

b) Thiết bị đo độ nhám

Thực nghiệm xác định độ nhám R_a khi tiện thép không gỉ SUS304 trên máy tiện CNC với ba thông số chế độ cắt (V, f, t) và 3 cấp độ được cho trên bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của chế độ cắt.

Ký hiệu	Yếu tố	Đơn vị	Cấp độ		
			1	2	3
A	Tốc độ cắt (V)	(m/phút)	230	260	290
B	Lượng tiến dao (f)	(mm/vòng)	0,08	0,14	0,20
C	Chiều sâu cắt (t)	(mm)	0,10	0,25	0,50

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác định hàm quan hệ của R_a với các thông số cắt

Thực nghiệm được tiến hành theo phương pháp Box-Behnken bao gồm 15 thí nghiệm, số thực nghiệm ít nhất để xây dựng phương trình đa thức bậc 2. Kết quả thực nghiệm đo độ nhám bề mặt thép không gỉ SUS304 khi tiện trên máy CNC cho trên bảng 2

Bảng 2. Bảng thực nghiệm và kết quả đo độ nhám bề mặt

TT	V (m/phút)	f (mm/vòng)	t (mm)	R_a (μm)
1	290	0,2	0,25	1,58
2	260	0,14	0,25	0,73
3	260	0,14	0,25	0,73
4	230	0,2	0,5	1,72
5	230	0,14	0,1	0,93
6	260	0,08	0,5	0,45
7	260	0,2	0,1	1,55
8	260	0,14	0,25	0,73
9	260	0,08	0,1	0,44
10	230	0,2	0,25	1,66
11	290	0,14	0,1	0,87
12	290	0,08	0,25	0,48
13	230	0,14	0,5	0,85
14	230	0,08	0,25	0,64
15	290	0,14	0,5	1,02

Nghiên cứu sử dụng phần mềm Minitab 18, phân tích các thông số cắt đến R_a theo phương pháp Box-Behnken như trên Bảng 3. Phân tích số liệu các hệ số ảnh hưởng của độ nhám bề mặt chi tiết gia công với các thông số công nghệ (V, f, t) được cho trong phương trình (3):

$$R_a = 12,11 - 0,0818 V - 11,57 f - 3,69 t + 0,000149 V^2 + 64,68 f^2 + 1,460 t^2 + 0,0079 V*f + 0,01002 V*t + 2,27 f*t \quad (3)$$

Bảng 3. Phân tích hồi quy theo Box-Behnken

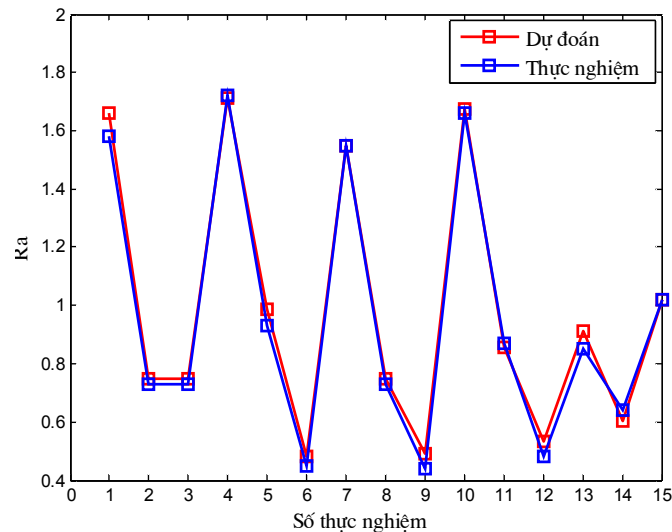
TT	V	f	t	V^2	f^2	t^2	$V*f$	$V*t$	$f*t$	R_a
1	290	0,2	0,25	84100	0,04	0,0625	58	72,5	0,05	1,58
2	260	0,14	0,25	67600	0,0196	0,0625	36,4	65	0,035	0,73

3	260	0,14	0,25	67600	0,0196	0,0625	36,4	65	0,035	0,73
4	230	0,2	0,5	52900	0,04	0,25	46	115	0,1	1,72
5	230	0,14	0,1	52900	0,0196	0,01	32,2	23	0,014	0,93
6	260	0,08	0,5	67600	0,0064	0,25	20,8	130	0,04	0,45
7	260	0,2	0,1	67600	0,04	0,01	52	26	0,02	1,55
8	260	0,14	0,25	67600	0,0196	0,0625	36,4	65	0,035	0,73
9	260	0,08	0,1	67600	0,0064	0,01	20,8	26	0,008	0,44
10	230	0,2	0,25	52900	0,04	0,0625	46	57,5	0,05	1,66
11	290	0,14	0,1	84100	0,0196	0,01	40,6	29	0,014	0,87
12	290	0,08	0,25	84100	0,0064	0,0625	23,2	72,5	0,02	0,48
13	230	0,14	0,5	52900	0,0196	0,25	32,2	115	0,07	0,85
14	230	0,08	0,25	52900	0,0064	0,0625	18,4	57,5	0,02	0,64
15	290	0,14	0,5	84100	0,0196	0,25	40,6	145	0,07	1,02

Kết quả phân tích Box-Behnken

Hệ số	V	f	t	V^2	f^2	t^2	$V*f$	$V*t$	$f*t$	Hằng số
	-0,0818	-11,57	-3,69	0,000149	64,68	1,46	0,0079	0,01002	2,27	12,11

Từ kết quả phân tích hồi quy của R_a đến (V, f, t), phân tích này cho thấy giá trị R Square là 99,49%. Mặt khác giá trị dự đoán từ mô hình thích hợp với giá trị thực nghiệm và được thể hiện trên hình 3. Trên hình 3 cho thấy sự tương đồng giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán của mô hình do vậy cho thấy mô hình tìm ra là hoàn toàn phù hợp.


Hình 3. Giá trị R_a dự đoán và thực nghiệm

Hiệu quả của mô hình hồi quy được đánh giá thông qua sai số dự đoán bình phương trung bình (MSE) theo công thức (4):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - y_i)^2 \quad (4)$$

Trong đó: n là số mẫu, T_i là kết quả đo, y_i là kết quả dự đoán, phân tích cho ra kết quả của $MSE = 0,05372$ nghĩa là mô hình dự đoán độ nhám bề mặt R_a là tốt.

3.2. Ứng dụng bằng thuật toán dơi để tối ưu hóa

Thuật toán dơi (BA: Bat Algorithm) là thuật toán mới về tối ưu trí tuệ bầy đàn được đề xuất bởi Xin-She Yang năm 2010 [11]. Thuật toán này dựa trên đặc tính tự nhiên của con dơi: cảm nhận khoảng cách bằng việc định vị bằng tiếng vọng (echolocation) và chúng cũng “biết” phân biệt giữa thức ăn và chướng ngại vật; các con dơi bay ngẫu nhiên với tốc độ v_i tại vị trí w_i với tần số cố định $f_{\min}$, chúng có thể tự động điều chỉnh tần số xung phát ra và tốc độ phát xung $r \in [0,1]$ tùy thuộc vào việc gần tới mục tiêu; cường độ giảm dần từ A_0 đến $A_{\min}$.

Trong thuật toán BA mỗi con dơi ảo trong không gian tìm kiếm d chiều được định nghĩa bằng các tham số: vị trí x_i , tốc độ v_i . Các tham số tần số, vận tốc, vị trí sau các bước lặp k được cập nhật như sau:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (5)$$

$$v_i^k = v_i^{k-1} + (x_i^{k-1} - x_*)f_i \quad (6)$$

$$w_i^k = w_i^{k-1} + v_i^k \quad (7)$$

Trong đó: $\beta \in [0,1]$ là một véc tơ ngẫu nhiên phân bố đều, w_* là vị trí toàn cục tốt nhất (nghiệm) tại thời điểm hiện tại trong quần thể dơi, khoảng tần số $[f_{\min}, f_{\max}]$ phụ thuộc vào kích thước miền của lĩnh vực xem xét, ban đầu mỗi con dơi sẽ lấy ngẫu nhiên một tần số trong khoảng tần số đang xét.

Trong quá trình tìm kiếm cục bộ, khi một giải pháp được lựa chọn giữa các giải pháp tốt nhất hiện thời, vị trí của dơi mới có thể được tạo ra sử dụng bước ngẫu nhiên như sau:

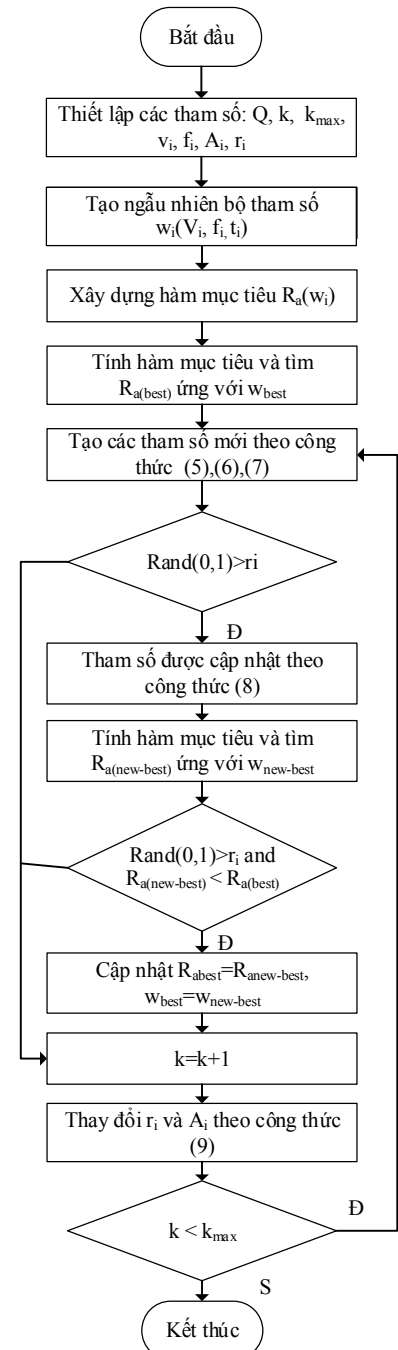
$$w_{\text{new}} = w_{\text{old}} + \varepsilon A^k \quad (8)$$

Với ε là một số ngẫu nhiên trong khoảng $[-1,1]$, A^k là giá trị trung bình của các A_i^k đến thời điểm hiện tại. Cường độ A_i^k và tốc độ xung r_i^k được cập nhật sau mỗi lần lặp theo công thức:

$$A_i^{k+1} = \alpha A_i^k, \quad r_i^{k+1} = r_i^0 (1 - \exp(-\tau k)) \quad (9)$$

Trong đó, $0 < \alpha < 1$, τ là một hằng số dương

Xác định bộ thông số V, f, t bằng thuật toán dơi được thực hiện như lưu đồ ở hình 4. Mục tiêu của nghiên cứu này xác định giá trị của bộ thông số cắt để đạt được giá trị Ra nhỏ nhất có thể.

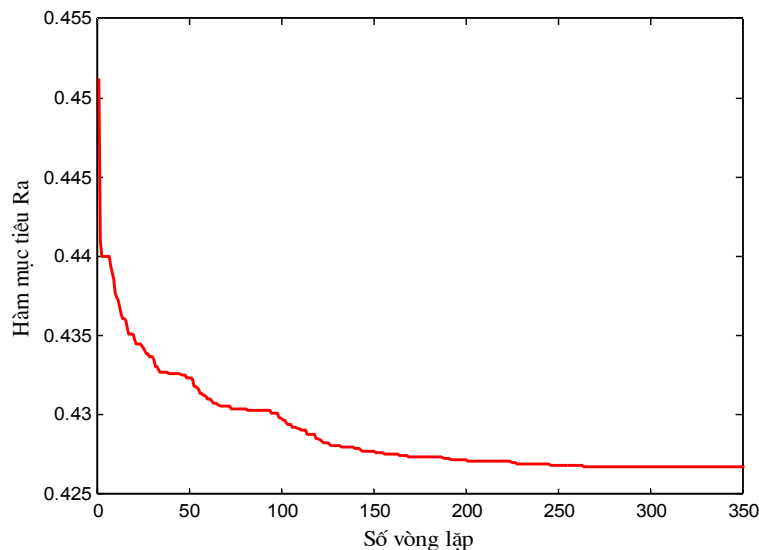


Hình 4. Lưu đồ tối ưu sử dụng thuật toán dơi

$$\text{Min } R_a = 12,11 - 0,0818 V - 11,57 f - 3,69 t + 0,000149 V^2 + 64,68 f^2 + 1,460 t^2 + 0,0079 V*f + 0,01002 V*t + 2,27 f*t$$

Trong đó: $230 \leq V \leq 290$; $0,08 \leq f \leq 0,20$; $0,10 \leq t \leq 0,50$.

Các tham số V, f, t được mã hóa bằng vị trí một con dơi ảo, giá trị tối ưu của hàm mục tiêu R_a được xác định thông qua thuật toán dơi có giá trị là 0,42673 ứng với giá trị tham số (V, f, t) tương ứng (262,22; 0,08; 0,30), tốc độ hội tụ của hàm mục tiêu R_a được thể hiện như hình 5.



Hình 5. Tốc độ hội tụ hàm mục tiêu R_a

Kết quả tối ưu dự đoán sử dụng thuật toán dơi so sánh với phương pháp RSM được thể hiện qua bảng 4.

Bảng 4. So sánh giá trị kết quả R_a tối ưu

Phương pháp	V (m/phút)	f (mm/vòng)	t (mm)	R_a dự đoán nhỏ nhất (μm)
RSM (Box-Behnken)	260	0,08	0,1	0,44
BA	262,22	0,08	0,30	0,42673

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) đã được sử dụng để xây dựng mô hình cho bài toán tối ưu. Mô hình hồi quy tìm được sử dụng phương pháp RSM cho kết quả dự đoán tốt với MSE là 0,05372. Phân tích ANOVA cũng cho thấy lượng tiến dao (f) ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt (R_a) so với vận tốc cắt (V) và chiều sâu cắt (t). Việc ứng dụng thuật toán dơi đã tìm được giá trị tối ưu cho độ nhám bề mặt (0,42673), giá trị này thấp hơn so với phương pháp RSM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bharathi Raja S, Baskar N (2011) *Particle swarm optimization technique for determining optimal machining parameters of different work piece materials in turning operation*. Int J Adv Manuf Technol, 54, 445–463.

- [2]. Bharathi Raja S, Baskar N (2012) *Application of Particle Swarm Optimization technique for achieving desired milled surface roughness in minimum machining time*. Expert Syst Appl, 39, 5982–5989.
- [3]. Kilickap E, Huseyinoglu M, Yardimeden A (2011) *Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI 1045 using response surface methodology and genetic algorithm*. Int J Adv Manuf Technol, 52, 79–88.
- [4]. Montgomery DC (2012) *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*. Wiley. doi: 10.1198/tech.2006.s372
- [5]. Natarajan U, Periasamy VM, Saravanan R (2007) *Application of particle swarm optimisation in artificial neural network for the prediction of tool life*. Int J Adv Manuf Technol, 31, 871–876.
- [6]. Nooraziah A, Tiagrajah VJ (2014) *A Study on Regression Model Using Response Surface Methodology*. Appl Mech Mater, 666, 235–239.
- [7]. Oktem H, Erzurumlu T, Erzincanli F (2006) *Prediction of minimum surface roughness in end milling mold parts using neural network and genetic algorithm*. Mater Des, 27, 735–744.
- [8]. Pasma S, Daik R, Maskat M (2013) *Application of Box-Behnken design in optimization of glucose production from oil palm empty fruit bunch cellulose*. Int. J. 2013:
- [9]. Quiza Sardiñas R, Rivas Santana M, Alfonso Brindis E (2006) *Genetic algorithm-based multi-objective optimization of cutting parameters in turning processes*. Eng Appl Artif Intell, 19, 127–133.
- [10]. Xi J, Liao G (2009) *Cutting parameter optimization based on particle swarm optimization*. Intell Comput Technol Autom 2009 ICICTA'09 Second Int Conf, 1, 255–258.
- [11]. Ye Y (2014) *Optimization Algorithms*. Elsevier
- [12]. Zain AM, Haron H, Sharif S (2010) *Application of GA to optimize cutting conditions for minimizing surface roughness in end milling machining process*. Expert Syst Appl, 37, 4650–4659.