

TÍCH HỢP PHƯƠNG PHÁP ENTROPY VÀ PHƯƠNG PHÁP RAM (PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ GỐC) ĐỂ TỐI ƯU ĐA MỤC TIÊU QUÁ TRÌNH MÀI THÉP SKD11

INTEGRATION OF ENTROPY METHOD AND RAM METHOD (ORIGINAL
ASSESSMENT METHOD) FOR MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF SKD11
STEEL GRINDING PROCESS

Đỗ Thị Kim Liên*, Nguyễn Duy Chiến

Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Việt Hưng

*Email: kimlien.viu@gmail.com

TÓM TẮT

Mài là một phương pháp thường được dùng để gia công những sản phẩm yêu cầu độ chính xác cao trong ngành gia công cơ khí. Nghiên cứu này thực hiện việc tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép SKD11 trên máy mài phẳng. Một quá trình thí nghiệm với tổng số 9 thí nghiệm được thiết kế bằng phương pháp Taguchi đã được thực hiện. Tại mỗi thí nghiệm giá trị ba thông số cắt đã được thay đổi gồm vận tốc chi tiết, lượng chạy dao và chiều sâu cắt. Cũng tại mỗi thí nghiệm đã tiến hành đo lường bốn mục tiêu còn gọi là bốn tiêu chí gồm nhám bề mặt (R_a), thành phần lực cắt theo phương x (F_x), thành phần lực cắt theo phương y (F_y), và thành phần lực cắt theo phương z (F_z). Phương pháp ENTROPY đã được sử dụng để tính trọng số cho các tiêu chí, trong khi đó phương pháp RAM đã được sử dụng để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu. Kết quả đã nhận được giá trị tối ưu của vận tốc chi tiết, lượng chạy dao và chiều sâu cắt tương ứng bằng 10 (m/min), 4 (mm/hành trình) và 0.01 (mm). Ứng với những giá trị tối ưu của các thông số cắt đã nhận được giá trị của các mục tiêu R_a , F_x , F_y và F_z tương ứng bằng 0.49 (μm), 18.4 (N), 15.2 (N), và 28.4 (N).

Từ khóa: Mài phẳng; Thép SKD11; Tối ưu đa mục tiêu; Phương pháp MEREC; Phương pháp RAM.

ABSTRACT

Grinding is commonly used in mechanical processing to process products requiring high precision. This study performed multi-objective optimization of the grinding process of SKD11 steel on a flat grinding machine. An experimental process with a total of 9 experiments designed using the Taguchi method was carried out. In each experiment, the values of three cutting parameters were changed, including workpiece speed, feed rate, and depth of cut. Also in each experiment, four objectives, also known as four criteria, were measured, including surface roughness (R_a), cutting force component in the x direction (F_x), cutting force component in the y direction (F_y), and cutting force component in the z direction (F_z). The ENTROPY method was used to calculate the weights for the criteria, while the RAM method was used to solve the multi-objective optimization problem. The

results obtained the optimal values of the workpiece speed, feed rate, and cutting depth, respectively equal to 10 (m/min), 4 (mm/stroke), and 0.01 (mm). Corresponding to the optimal values of the cutting parameters, the values of the targets R_a , F_x , F_y , and F_z , respectively, are equal to 0.49 (m), 18.4 (N), 15.2 (N), and 28.4 (N).

Keywords: Flat grinding; SKD11 steel; Multi-objective optimization; MEREC method; RAM method.

1. GIỚI THIỆU

Mài là một phương pháp gia công rất phổ biến trong sản xuất cơ khí [1]. Phương pháp này thường dùng để gia công những sản phẩm yêu cầu cao về độ chính xác [2]. Để tận dụng tối đa những ưu điểm của phương pháp mài, việc nghiên cứu tối ưu quá trình mài là cần thiết phải được thực hiện [3]. Rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài nhằm đảm bảo đồng thời nhiều thông số của quá trình mài đạt được giá trị mong muốn. Trong các nghiên cứu đã công bố cũng cho thấy các nhà khoa học đã áp dụng nhiều thuật toán khác nhau để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu cũng như đã áp dụng nhiều phương pháp khác nhau để tính trọng số cho các mục tiêu. Trong phạm vi của bài viết này không thể tóm tắt hết các nghiên cứu đã công bố mà chỉ xem xét đến một số nghiên cứu thuộc chủ đề này được công bố trong thời gian gần đây.

Thuật toán Nead-Mean được tích hợp trong phần mềm DESIGN EXPERT V7.1.3 đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép EN-8 nhằm đảm bảo đồng thời nhám bề mặt nhỏ nhất và năng suất loại bỏ vật liệu lớn nhất, ở đây trọng số của hai tiêu chí nhám bề mặt và năng suất loại bỏ vật liệu đã được chọn bằng nhau, tức là bằng 0.5 [4]. Trong [5], thuật toán DEAR cũng đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép SAE420, ở đây mục tiêu cần tối ưu là nhằm đảm bảo đồng thời nhám bề mặt và rung động của trục

chính máy mài theo ba phương x, y, z cùng có giá trị nhỏ nhất, trong nghiên cứu này trọng số của các mục tiêu cũng đã được tính bằng chính thuật toán DEAR. Hai thuật toán MOORA và COPRAS đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép SKD11 nhằm đảm bảo đồng thời nhám bề mặt có giá trị nhỏ nhất và năng suất loại bỏ vật liệu có giá trị lớn nhất, ở đây trọng số của hai tiêu chí này đã được tính bằng phương pháp Entropy [6]. Thuật toán GA đã được sử dụng để tối ưu quá trình mài vật liệu pinus sylvestris nhằm đảm bảo nhám bề mặt có giá trị nhỏ nhất [7]. Thuật toán GA cũng đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép SKD11, ở đây trọng số của ba mục tiêu gồm nhám bề mặt, thời gian mài và độ lệch giữa độ sâu mài thực tế và độ sâu mài mong muốn đã được chọn bằng nhau, tức là bằng 1/3 [8]. Thuật toán DEAR đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép AISI 4140 nhằm đảm bảo đồng thời nhám bề mặt có giá trị nhỏ và năng suất loại bỏ vật liệu có giá trị lớn, ở đây trọng số của các mục tiêu đã được tính bằng chính thuật toán DEAR [9]. Thuật toán TOPSIS đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép DIN 1.2379 nhằm đảm bảo đồng thời nhám bề mặt, rung động của trục chính máy mài theo ba phương x, y, z có giá trị nhỏ nhất và năng suất loại bỏ vật liệu có giá trị lớn nhất, ở đây trọng số của các mục tiêu cũng đã được chọn bằng nhau, tức là bằng 0.2 [10]. Trong [11], thuật toán Nead-Mean cũng đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép Hardox 500 nhằm đảm bảo đồng thời



nhám bề mặt có giá trị nhỏ nhất và năng suất loại bỏ vật liệu có giá trị lớn nhất, ở đây trọng số của hai tiêu chí này cũng đã được chọn bằng nhau. Thuật toán PSO đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép dụng cụ D2 nhằm đảm bảo đồng thời năng suất loại bỏ vật liệu lớn nhất và sai số kích thước nhỏ nhất, ở đây trọng số của hai thông số này không được định nghĩa rõ ràng [12].

Việc tóm tắt ngắn gọn một số nghiên cứu ở trên cho thấy có nhiều thuật toán và các phương pháp tính trọng số khác nhau đã được sử dụng để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài. Tuy nhiên, dường như chưa có tài liệu nào tích hợp việc tính trọng số cho các tiêu chí bằng phương pháp ENTROPY và thuật toán RAM để tối ưu đa mục tiêu quá trình mài. Khoảng trống này đã thúc đẩy nghiên cứu này được thực hiện.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Hệ thống thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm được làm từ thép SKD11 có các kích thước dài, rộng, cao tương ứng là 40 mm, 25 mm và 8 mm. Thành phần hóa học một số nguyên tố chính của loại thép này được tổng hợp trong bảng 1. Máy mài phẳng có ký hiệu APSG-820/8A do Đài Loan sản xuất đã được sử dụng để thực hiện các thí nghiệm. Nhám bề mặt đã được đo bằng máy đo độ nhám có ký hiệu SJ-201 do Nhật Bản sản xuất. Các thành phần lực đã được đo bằng lực kế của hãng KISTLER do Đức sản xuất. Để giảm ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên đến kết quả của các phép đo, tại mỗi thí nghiệm đã tiến hành đo các thông số phản ứng (nhám bề mặt và các thành phần lực cắt) ít nhất 3 lần, giá trị các phản ứng tại mỗi thí nghiệm là giá trị trung bình của các lần đo liên tiếp.

Bảng 1. Các thành phần hoá học của thép SKD11

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
1.03	0.23	0.31	0.022	0.022	11.71	0.18	0.92

2.2. Ma trận thí nghiệm

Trong quá trình thí nghiệm, tại mỗi thí nghiệm đã được thay đổi ba thông số gồm vận tốc chi tiết, lượng dư dao, và chiều sâu cắt. Đây là ba thông số sẽ dễ dàng được điều chỉnh bởi người thợ vận hành máy [13]. Trong quá trình thí nghiệm, mỗi thông số cắt sẽ thay đổi 3 mức giá trị tương ứng với các mức mã hóa 1, 2 và 3, như trong bảng 2. Các giá trị trong bảng 2

được chọn trên cơ sở tham khảo các tài liệu liên quan và dựa vào khả năng công nghệ của máy thí nghiệm được sử dụng [13].

Ma trận thí nghiệm đã được xây dựng theo dạng Taguchi gồm 9 thí nghiệm như trong bảng 3. Đây là dạng thí nghiệm được sử dụng phổ biến khi tiến hành thí nghiệm tối ưu hóa và đã được sử dụng nhiều trong lĩnh vực cơ khí ở thời gian gần đây [13].

Bảng 2. Các thông số đầu vào

Thông số	Đơn vị	Ký hiệu	Giá trị tại các mức		
			1	2	3
Vận tốc phôi	m/min	v	5	10	15
Lượng chạy dao	mm/hành trình	f	4	6	8
Chiều sâu cắt	mm	t	0.005	0.01	0.015

Bảng 3. Ma trận thí nghiệm

Thí nghiệm	Giá trị mã hóa			Giá trị thật		
	v	f	t	v (m/min)	f (mm/hành trình)	t (mm)
#1	1	1	1	5	4	0.005
#2	1	2	2	5	6	0.01
#3	1	3	3	5	8	0.015
#4	2	1	2	10	4	0.01
#5	2	2	3	10	6	0.015
#6	2	3	1	10	8	0.005
#7	3	1	3	15	4	0.015
#8	3	2	1	15	6	0.005
#9	3	3	2	15	8	0.01

2.3. Kết quả thí nghiệm

Thực hiện các thí nghiệm theo thứ tự của chúng trong bảng 3, các đại lượng Ra, Fx, Fy và Fz đã được đo trong mỗi thí nghiệm. Trong bảng 4 đã tổng hợp kết quả của các thí nghiệm đã thực hiện.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm

Exp.	Thông số đầu vào				Đầu ra		
	v (m/min)	f (mm/stroke)	t (mm)	Ra (μm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
#1	5	4	0.005	0.82	21.7	11.3	27.1
#2	5	6	0.01	0.62	34.5	20.5	24.3
#3	5	8	0.015	0.75	39.4	16.4	26.2
#4	10	4	0.01	0.49	18.4	15.2	28.4
#5	10	6	0.015	0.51	22.5	20.6	30.4
#6	10	8	0.005	0.41	29.6	19.8	31.2
#7	15	4	0.015	0.94	31.7	22.7	22.8
#8	15	6	0.005	0.82	32.7	28.6	30.6
#9	15	8	0.01	0.73	28.1	18.4	31.5



Từ số liệu trong bảng 4 cho thấy Ra có giá trị nhỏ nhất bằng 0.41 (μm) tại thí nghiệm #6, Fx nhỏ nhất bằng 18.4 (N) tại thí nghiệm #4, Fy nhỏ nhất bằng 11.3 (N) tại thí nghiệm #1, còn Fz có giá trị nhỏ nhất bằng 22.8 (N) tại thí nghiệm #7. Như vậy rõ ràng không tồn tại bất kỳ một phương án (thí nghiệm) nào mà đảm bảo đồng thời cả Ra, Fx, Fy và Fz cùng đạt giá trị nhỏ nhất. Thay vào đó, ta chỉ có thể xác định được một phương án mà cả bốn tiêu chí này đều được coi là “nhỏ nhất”. Dĩ nhiên, việc làm đó cũng không thể thực hiện được nếu chỉ dừng lại ở việc quan sát số liệu trong bảng 4 mà phải thực hiện xếp hạng các phương án để chọn được phương án tốt nhất. Vì lý do này, thuật toán RAM sẽ được sử dụng để xếp hạng các phương án trong nghiên cứu này, nhưng trước hết cần tính trọng số cho các tiêu chí bằng phương pháp ENTROPY.

2.4. Phương pháp Entropy

Giả sử có m thí nghiệm đã thực hiện, tại mỗi thí nghiệm đã đo lường n thông số đầu ra, gọi x_{ij} là giá trị của thông số đầu ra thứ j tại thí nghiệm thứ i, với j bằng 1 đến n và i bằng 1 đến m, việc tính trọng số cho các thông số j bằng phương pháp Entropy được thực hiện theo trình tự sau [14].

Bước 1: Xác định giá trị chuẩn hóa cho các tiêu chí theo công thức (1).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{m + \sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad (1)$$

Bước 2: Tính giá trị của độ đo Entropy cho mỗi thông số j theo công thức (2).

$$e_j = \sum_{i=1}^m [n_{ij} \times \ln(n_{ij})] - \left(1 - \sum_{i=1}^m n_{ij}\right) \times \ln\left(1 - \sum_{i=1}^m n_{ij}\right) \quad (2)$$

Bước 3: Tính trọng số cho mỗi thông số theo công thức (3).

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (3)$$

2.5. Thuật toán RAM

Các bước để sử dụng phương pháp RAM để xếp hạng các phương án như sau RAM [15]:

Bước 1: Tương tự bước 1 của phương pháp ENTROPY.

Bước 2: Chuẩn hóa số liệu theo công thức (4).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (4)$$

Bước 3: Tính các giá trị chuẩn hóa có xét đến trọng số của các tiêu chí theo (5).

$$y_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (5)$$

Trong đó, w_j là trọng số của tiêu chí thứ j.

Bước 4: Tính tổng điểm chuẩn hóa có xét đến trọng số của các tiêu chí theo (6) và (7). Các chữ cái B và C được sử dụng để ký hiệu tương ứng cho tiêu chí lợi nhuận và tiêu chí chi phí.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n y_{+ij} \quad \text{if } j \in B \quad (6)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^n y_{-ij} \quad \text{if } j \in C \quad (7)$$

Bước 5: Tính điểm của từng phương án theo (8).

$$RI_i = \sqrt[2+S_{-i}]{2 + S_{+i}} \quad (8)$$

Bước 6: Xếp hạng các phương án theo thứ tự giảm dần điểm số của chúng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Áp dụng công thức từ (1) đến (3) đã tính được trọng số của các thông số R_a , F_x , F_y và F_z tương ứng là 0.364, 0.208, 0.218, và 0.210.

Áp dụng các công thức từ (4) đến (8) đã tính được điểm số R_{li} của từng thí nghiệm như đã tổng hợp trong bảng 5. Trong cột cuối cùng của bảng này cũng đã thể hiện thứ hạng của các thí nghiệm theo điểm số của nó.

Bảng 5. Điểm số và thứ hạng của các thí nghiệm

Thí nghiệm	R_a (μm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	R_{li}	Xếp hạng
#1	0.82	21.7	11.3	27.1	1.390	4
#2	0.62	34.5	20.5	24.3	1.389	5
#3	0.75	39.4	16.4	26.2	1.387	7
#4	0.49	18.4	15.2	28.4	1.394	1
#5	0.51	22.5	20.6	30.4	1.391	3
#6	0.41	29.6	19.8	31.2	1.391	2
#7	0.94	31.7	22.7	22.8	1.385	8
#8	0.82	32.7	28.6	30.6	1.383	9
#9	0.73	28.1	18.4	31.5	1.388	6

Như vậy, kết quả tính toán đã xác định thí nghiệm #4 là tốt nhất trong số các thí nghiệm đã thực hiện. Theo đó, giá trị tối ưu của vận tốc chi tiết, lượng chạy dao và chiều sâu cắt tương ứng là 10 (m/min), 4 (mm/stroke) và 0.01 (mm). Khi mài với những giá trị tối ưu của chế độ cắt này thì giá trị của các tiêu chí R_a , F_x , F_y và F_z tương ứng bằng 0.49 (μm), 18.4 (N), 15.2 (N), và 28.4 (N).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thực hiện việc tối ưu đa mục tiêu quá trình mài thép SKD11. Thuật toán RAM và phương pháp trọng số Entropy lần được tiên được kết hợp để giải bài toán

tối ưu quá trình mài phẳng trong nghiên cứu này. Khi sử dụng phương pháp Entropy đã tính được trọng số của các chỉ tiêu R_a , F_x , F_y và F_z tương ứng bằng 0.364, 0.208, 0.218, và 0.210. Sử dụng thuật toán RAM đã xác định được giá trị tối ưu của vận tốc chi tiết bằng 10 (m/min), của lượng chạy dao bằng 4 (mm/hành trình) và của chiều sâu cắt bằng 0.01 (mm). Ứng với những giá trị tối ưu này của các thông số cắt thì nhám bề mặt (R_a) và các thành phần lực F_x , F_y , F_z tương ứng bằng 0.49 (μm), 18.4 (N), 15.2 (N), và 28.4 (N). ❖

Ngày nhận bài: 09/5/2025

Ngày phản biện: 26/5/2025



Tài liệu tham khảo:

- [1]. X. Li, Z. Tang, C. Chen, L. Wang, Y. Zhang, D. Wang, “An optimization method of grinding wheel profile for complex large shaft curve grinding”. *Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2025008, 2025.
- [2]. A. Heininen, S. Santa-aho, J. Röttger, P. Julkunen, K. T. Koskinen, “Grinding optimization using nondestructive testing (NDT) and empirical models”. *Machining Science and Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 98-118, 2024.
- [3]. M. M. Salem, S. S. Mohamed, A. A. Ibrahim, “Optimization of surface grinding parameters used in improved surface Integrity”. *Research Square*, pp. 1-14, 2022.
- [4]. B. Dasthagiri, D. E. V. G. Goud, “Optimization Studies on Surface Grinding Process Parameters”. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 4, no. 7, pp. 6148-6156, 2015.
- [5]. D. D. Trung, N. -T. Nguyen, D. H. Tien, H. L. Dang, “A research on multi-objective optimization of the grinding process using segmented grinding wheel by TAGUCHI-DEAR method. *Eureka: Physics and Engineering*, vol. 2021, no. 1, pp. 67-77, 2021.
- [6]. N. -T. Nguyen, D. D. Trung, “Combination of taguchi method, MOORA and COPRAS techniques in multi-objective optimization of surface grinding process”. *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 19, no. 2, pp. 390-398, 2021.
- [7]. A. Gürgen, A. Çakmak, S. Yıldız, A. Malkoçoğlu, “Optimization of cnc operating parameters to minimize surface roughness of pinus sylvestris using integrated artificial neural network and genetic algorithm”. *Maderas Ciencia y tecnología*, vol. 24, no. 1, pp. 1-12, 2022.
- [8]. V. Nguyen, D. Nguyen, D. Do, T. Tra, “Multi-Objective Optimization of the Surface Grinding Process for Heat-Treated Steel”. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 11831-11843, 2024.
- [9]. D. D. Trung, H. X. Thinh, L. D. Ha, “Improving the efficiency of grinding process using the rubber-pasted grinding wheel”. *Strojnícky časopis - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 72, no. 1, pp. 23-34, 2022.
- [10]. D.D. Trung, N.V. Thien, N.-T. Nguyen, “Application of TOPSIS Method in Multi-Objective Optimization of the Grinding Process Using Segmented Grinding Wheel”. *Tribology in Industry*, vol. 43, no. 1, pp. 12-22, 2021.
- [11]. T. H. Danh, L. H. Ky, “Optimization of Wheel Dressing Technological Parameters when Grinding Hardox 500 Steel”. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 14, no. 4, pp. 15854-15859, 2024.
- [12]. Z. Chen, X. Li, Z. Zhu, Z. Zhao, L. Wang, S. Jiang, Y. Rong, “The optimization of accuracy and efficiency for multistage precision grinding process with an improved particle swarm optimization algorithm”. *Intelligent Manufacturing and Robotics-Research Article*, pp. 1-13, 2020.
- [13]. N. -T. Nguyen, D. D. Trung, “A study on the surface grinding process of the SUJ2 steel using CBN slotted grinding wheel”. *AIMS Materials Science*, vol. 7, no. 6, pp. 871-886, 2020.
- [14]. D. D. Trung, “A combination method for multi-criteria decision making problem in turning process”. *Manufacturing review*, vol. 8, Art. no. 26, 2021.
- [15]. A. Sotoudeh-Anvari, “Root Assessment Method (RAM): A novel multi-criteria decision making method and its applications in sustainability challenges”. *Journal of Cleaner Production*, vol. 423, Art. No. 138695, 2023.