

# LỰA CHỌN VẬT LIỆU CHO DAO PHAY TRONG GIA CÔNG TỐC ĐỘ CAO SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRỌNG SỐ ENTROPY

## MATERIAL SELECTION FOR MILLING CUTTERS IN HIGH-SPEED MACHINING USING THE ENTROPY WEIGHTING METHOD

Bùi Văn Bình, Trần Ngọc Tiến\*

Khoa Cơ khí - Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện lực

\*Email: tientn@epu.edu.vn

### TÓM TẮT

*Lựa chọn vật liệu cho dao phay trong gia công tốc độ cao đóng vai trò quyết định đến chất lượng bề mặt, độ chính xác gia công, tuổi thọ dụng cụ và hiệu quả kinh tế. Trong điều kiện cắt khắc nghiêm ngặt với nhiệt độ và ứng suất cao, vật liệu dao cần đảm bảo độ cứng, khả năng chống mài mòn, độ bền cơ học, độ ổn định hóa học và tính kinh tế. Do tồn tại nhiều tiêu chí đánh giá có tính xung đột, bài toán lựa chọn vật liệu dao phay được xem là một vấn đề ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) phức tạp. Nghiên cứu này đề xuất một cách tiếp cận có hệ thống trong lựa chọn vật liệu dao phay bằng cách xây dựng ma trận quyết định bao gồm các phương án vật liệu khả thi và các tiêu chí đánh giá quan trọng. Trọng số của các tiêu chí được xác định khách quan bằng phương pháp Entropy, nhằm giảm thiểu sự phụ thuộc vào đánh giá chủ quan. Sau đó, các phương pháp MCDM gồm TOPSIS, COCOSO và PROMETHEE II được áp dụng để xếp hạng các phương án vật liệu. Kết quả xếp hạng từ các phương pháp được so sánh nhằm kiểm chứng tính nhất quán và độ tin cậy của mô hình đề xuất. Kết quả nghiên cứu cho thấy silicon carbide là vật liệu tối ưu cho dao phay trong điều kiện gia công tốc độ cao, khi đạt thứ hạng cao nhất một cách nhất quán trong các phương pháp đánh giá. Nghiên cứu cung cấp một khung phương pháp luận tin cậy, có thể mở rộng cho các bài toán lựa chọn vật liệu trong lĩnh vực kỹ thuật chế tạo.*

**Từ khóa:** Vật liệu dao phay; Phương pháp MCDM; Phương pháp Entropy.

### ABSTRACT

*Material selection for milling cutters in high-speed machining plays a decisive role in surface quality, machining accuracy, tool life, and economic efficiency. Under severe cutting conditions characterized by high temperatures and stresses, tool materials must ensure hot hardness, wear resistance, mechanical strength, chemical stability, and cost-effectiveness. Due to the presence of multiple conflicting evaluation criteria, the problem of selecting milling cutter materials is considered a complex multi-criteria decision-making (MCDM) issue. This study proposes a systematic approach to milling cutter material selection by constructing a decision matrix that includes feasible material alternatives and relevant evaluation criteria. The weights of the criteria are objectively determined using the Entropy method to minimize reliance on subjective judgments. Subsequently, MCDM methods including TOPSIS, COCOSO, and PROMETHEE are applied to*

*rank the material alternatives. The ranking results obtained from these methods are compared to verify the consistency and reliability of the proposed model. In addition, sensitivity analysis and rank correlation coefficient tests are conducted to evaluate the stability of the results. The findings indicate that silicon carbide is the optimal material for milling cutters in high-speed machining, consistently achieving the highest ranking across different evaluation methods and sensitivity scenarios. The study provides a reliable methodological framework that can be extended to other material selection problems in manufacturing engineering.*

**Keywords:** Milling cutter materials; MCDM methods; Entropy method.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong thiết kế và sản xuất cơ khí, lựa chọn vật liệu phù hợp là yếu tố then chốt nhằm đáp ứng đồng thời yêu cầu kỹ thuật và hiệu quả kinh tế. Quyết định lựa chọn vật liệu không chính xác có thể dẫn đến hư hỏng chi tiết, suy giảm hiệu suất làm việc và gia tăng chi phí sản xuất [1]. Bài toán lựa chọn vật liệu mang tính phức tạp do phải đồng thời xem xét nhiều tiêu chí đánh giá có xu hướng mâu thuẫn lẫn nhau, diễn hình như sự đánh đổi giữa hiệu suất và chi phí, giữa độ bền cơ học và mật độ vật liệu hoặc giữa độ cứng và độ dai va đập [2]. Do yêu cầu vật liệu phụ thuộc vào điều kiện ứng dụng cụ thể, việc xác định phương án tối ưu đòi hỏi một cách tiếp cận có hệ thống nhằm cân bằng các yếu tố cơ học, công nghệ và kinh tế [3].

Trong lĩnh vực chế tạo, gia công cắt gọt kim loại là một công đoạn quan trọng để tạo ra sản phẩm có hình dạng và kích thước mong muốn. Các phương pháp gia công như tiện, phay và khoan được sử dụng rộng rãi tùy thuộc vào đặc tính vật liệu và yêu cầu kỹ thuật của chi tiết. Trong đó, gia công phay bằng dao nhiều lưỡi cắt đóng vai trò quan trọng trong nhiều ngành công nghiệp. Đặc biệt, trong điều kiện gia công tốc độ cao và gia công vật liệu có độ cứng lớn ( $\geq 50$  HRC), dao phay phải chịu nhiệt độ cao, lực cắt lớn và ứng suất cơ-nhiệt phức tạp [4]. Khi đó, vật liệu dao phay cần đảm bảo độ cứng, khả năng chống mài mòn, độ bền cơ

học, tính ổn định hóa học và khả năng duy trì độ sắc của lưỡi cắt trong thời gian dài. Việc lựa chọn vật liệu dao phay phù hợp có ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ dụng cụ, chất lượng bề mặt gia công, độ chính xác kích thước và năng suất sản xuất. Tuy nhiên, không tồn tại một loại vật liệu đơn lẻ nào có thể đồng thời đáp ứng tối ưu tất cả các yêu cầu như đã nêu trên. Do đó, bài toán lựa chọn vật liệu dao phay được xem là một vấn đề ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making – MCDM), trong đó cần xem xét đồng thời nhiều tiêu chí đánh giá mang tính mâu thuẫn. Trong những năm gần đây, các phương pháp MCDM đã được áp dụng rộng rãi trong các bài toán lựa chọn vật liệu và tối ưu hóa kỹ thuật. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp như AHP [5], TOPSIS [6], VIKOR [7] để lựa chọn vật liệu cho các ứng dụng khác nhau. Bên cạnh đó, phương pháp Entropy được sử dụng để xác định trọng số tiêu chí một cách khách quan, giảm thiểu ảnh hưởng của yếu tố chủ quan trong quá trình đánh giá [8]. Các phương pháp xếp hạng như TOPSIS, COCOSO và PROMETHEE được đánh giá cao nhờ khả năng xử lý hiệu quả các bài toán có nhiều tiêu chí và phương án cạnh tranh. Tuy nhiên, các nghiên cứu so sánh và đánh giá đồng thời các phương pháp này trong bài toán lựa chọn vật liệu dao phay cho gia công tốc độ cao vẫn còn hạn chế.

Xuất phát từ khoảng trống nghiên cứu nêu trên, bài báo này đề xuất một mô hình

đánh giá nhằm lựa chọn vật liệu tối ưu cho dao phay trong điều kiện gia công tốc độ cao. Trước hết, một ma trận quyết định được xây dựng dựa trên các phương án vật liệu khả thi và các tiêu chí đánh giá quan trọng liên quan đến độ cứng, khả năng chống mài mòn, độ bền cơ học, tính ổn định và chi phí. Trọng số các tiêu chí được xác định bằng phương pháp Entropy nhằm đảm bảo tính khách quan. Sau đó, các phương pháp MCDM gồm TOPSIS, COCOSO và PROMETHEE II được áp dụng để xếp hạng các phương án vật liệu. Kết quả thu được được so sánh để đánh giá tính nhất quán và độ tin cậy của mô hình.

## 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ VẬT LIỆU

### 2.1. Phương pháp TOPSIS

TOPSIS là một phương pháp MCDM dựa trên nguyên lý: phương án tối ưu là phương án có khoảng cách gần nhất với nghiệm lý tưởng dương và xa nhất với nghiệm lý tưởng âm. Phương pháp này đặc biệt phù hợp với các bài toán lựa chọn vật liệu khi tồn tại nhiều tiêu chí lợi ích và chi phí đồng thời. Giả sử có  $m$  phương án  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $n$  tiêu chí  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Ma trận quyết định ban đầu có dạng:  $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ , trong đó  $x_{ij}$  là giá trị của phương án  $i$  theo tiêu chí  $j$ . Các tiêu chí được phân thành: tiêu chí lợi ích có giá trị càng lớn càng tốt và tiêu chí chi phí có giá trị càng nhỏ càng tốt. Các bước thực hiện của TOPSIS được mô tả như sau:

Bước 1: Chuẩn hóa ma trận quyết định. TOPSIS sử dụng phương pháp chuẩn hóa véc tơ:

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

Bước 2: Xây dựng ma trận chuẩn hóa có trọng số. Giả sử trọng số của tiêu chí  $j$  là  $w_j$

với:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (2)$$

Ma trận chuẩn hóa có trọng số:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (3)$$

Bước 3: Xác định nghiệm lý tưởng dương và âm.

Nghiệm lý tưởng dương  $A^+$  được cho bởi:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (4)$$

Trong đó:  $v_j^+ = \max(v_{ij})$  nếu  $C_j$  là tiêu chí lợi ích,  $v_j^+ = \min(v_{ij})$  nếu  $C_j$  là tiêu chí chi phí.

Nghiệm lý tưởng âm  $A^-$  được cho bởi:

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (5)$$

Trong đó:  $v_j^- = \min(v_{ij})$  nếu  $C_j$  là tiêu chí lợi ích,  $v_j^- = \max(v_{ij})$  nếu  $C_j$  là tiêu chí chi phí.

Bước 4: Tính khoảng cách đến nghiệm lý tưởng. TOPSIS xác định khoảng cách Euclid đến nghiệm lý tưởng dương:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (6)$$

Khoảng cách đến nghiệm lý tưởng âm:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

Bước 5: Tính hệ số gần đúng. Hệ số gần đúng được cho bởi:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (8)$$

Phương án có  $0 \leq C_i \leq 1$  lớn nhất được xem là phương án tối ưu. 

## 2.2. Phương pháp COCOSO

COCOSO là phương pháp MCDM dựa trên nguyên lý kết hợp giữa mô hình tổng có trọng số và mô hình tích có trọng số. Phương pháp này nhằm khắc phục hạn chế của từng mô hình riêng lẻ và tạo ra một chỉ số đánh giá thỏa hiệp có tính ổn định và độ tin cậy cao hơn. COCOSO đặc biệt phù hợp trong các bài toán lựa chọn vật liệu khi tồn tại nhiều tiêu chí đánh giá có tính mâu thuẫn và yêu cầu đánh giá tổng hợp toàn diện. Các bước thực hiện phương pháp COCOSO được mô tả như sau.

Bước 1: Chuẩn hóa ma trận quyết định. COCOSO sử dụng chuẩn hóa tuyến tính như sau:

Với tiêu chí lợi ích:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (9)$$

Với tiêu chí chi phí:

$$r_{ij} = \frac{\max x_j - x_{ij}}{\max x_j - \min x_j} \quad (10)$$

Bước 2: Tính tổng có trọng số và tích có trọng số. Tổng có trọng số cho mỗi phương án được cho bởi:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (11)$$

Tích có trọng số cho mỗi phương án được cho bởi:

$$P_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (12)$$

Bước 3: Tính ba chỉ số thỏa hiệp. COCOSO xây dựng ba dạng hàm thỏa hiệp (dạng cộng, dạng tương đối, dạng kết hợp có tham số). Dạng cộng được cho bởi:

$$K_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^m (S_i + P_i)} \quad (13)$$

Dạng tương đối được cho bởi:

$$K_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad (14)$$

Dạng kết hợp có tham số  $\lambda$  (thường lấy  $\lambda = 0.5$ ) được cho bởi:

$$K_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1-\lambda)P_i}{\lambda \max S_i + (1-\lambda)\max P_i} \quad (15)$$

Bước 4: Tính chỉ số đánh giá tổng hợp. Chỉ số COCOSO cuối cùng cho phương án i:

$$K_i = \frac{1}{3} (K_{ia} + K_{ib} + K_{ic}) \quad (16)$$

Phương án có giá trị  $K_i$  lớn nhất được xem là phương án tối ưu.

## 2.3. Phương pháp PROMETHEE II

PROMETHEE II sử dụng dòng chảy ròng để xác định thứ hạng đầy đủ của các phương án. Phương pháp dựa trên so sánh từng cặp phương án theo từng tiêu chí. PROMETHEE II phù hợp trong các bài toán lựa chọn vật liệu kỹ thuật khi cần xác định thứ tự ưu tiên rõ ràng giữa các phương án cạnh tranh. Các bước thực hiện PROMETHEE II được mô tả như sau.

Bước 1: Tính độ chênh lệch giữa các phương án. Với mỗi cặp phương án  $A_i$  và  $A_k$ , xác định:

$$d_{ij}(i, k) = x_{ij} - x_{kj} \quad (17)$$

Nếu tiêu chí là chi phí thì:

$$d_{ij}(i, k) = x_{kj} - x_{ij} \quad (18)$$

Bước 2: Xây dựng hàm ưu tiên. Độ chênh lệch  $d_{ij}(i, k)$  được chuyển thành mức độ ưu tiên thông qua hàm ưu tiên:

$$P_j(i, k) = F_j(d_{ij}(i, k)), 0 \leq P_j(i, k) \leq 1$$

Bước 3: Tính chỉ số ưu tiên tổng hợp. Mức độ phương án  $A_i$  vượt trội hơn  $A_k$  được cho bởi:

$$\pi(i, k) = \sum_{j=1}^n w_j P_j(i, k), 0 \leq \pi(i, k) \leq 1 \quad (19)$$

Bước 4: Tính dòng chảy ưu tiên:

Dòng chảy dương phản ánh mức độ phương án  $A_i$  vượt trội so với các phương án khác và được cho bởi:

$$\phi^+(i) = \frac{1}{m-1} \sum_{k \neq i} \pi(i, k) \quad (20)$$

Dòng chảy âm phản ánh mức độ phương án  $A_i$  bị các phương án khác vượt trội và được cho bởi:

$$\phi^-(i) = \frac{1}{m-1} \sum_{k \neq i} \pi(k, i) \quad (21)$$

Bước 5: Tính dòng chảy ròng:

$$\phi(i) = \phi^+(i) - \phi^-(i), -1 \leq \phi(i) \leq 1 \quad (22)$$

Phương án có giá trị  $\phi(i)$  lớn nhất được xem là phương án tối ưu.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu xem xét đánh giá bảy loại vật liệu tiềm năng dùng cho dao phay trong điều kiện gia công tốc độ cao, bao gồm: tungsten carbide, cubic boron nitride (CBN), cermet, silicon carbide (SiC), silicon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), cemented carbide (WC-Co) và thép dụng cụ luyện kim bột (PM tool steels). Mỗi loại vật liệu sở hữu những đặc tính cơ-nhiệt riêng biệt, phù hợp với các điều kiện gia công khác nhau. Các vật liệu được đánh giá dựa trên chín tiêu chí gồm: giới hạn chảy (YS), mô đun đàn hồi (YM), độ bền nén (CS), độ dẫn nhiệt (TC), độ cứng (H), độ bền va đập (IS), mật độ (D), hệ số giãn nở nhiệt (CTE) và chi phí (C). Ma trận đánh giá được mô tả trong Bảng 1.

Bảng 1. Ma trận đánh giá [9-11]

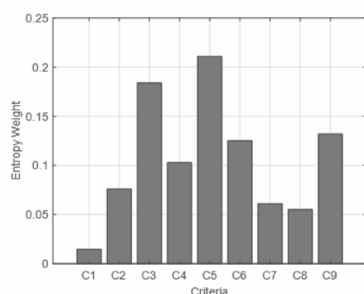
| Vật liệu                 | YS (MPa) | YM (GPa) | CS (MPa) | TC (W/mK) | H (HK) | IS (J) | D (g/cm <sup>3</sup> ) | CTE (μm/m.°C) | C (\$/kg) |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------|--------|--------|------------------------|---------------|-----------|
| Tungsten carbide (A1)    | 330      | 690      | 4975     | 98        | 1387   | 1.34   | 15                     | 6.5           | 60        |
| Cubic boron nitride (A2) | 481      | 850      | 6900     | 13        | 5000   | 0.5    | 8.6                    | 4.8           | 864       |
| Cermet (A3)              | 1324     | 600      | 6150     | 60        | 1276   | 1.35   | 14.95                  | 4.6           | 78.6      |
| Silicon carbide (A4)     | 21000    | 410      | 3900     | 120       | 2800   | 3.97   | 3.1                    | 4             | 9.63      |
| Silicon nitride (A5)     | 525      | 310      | 2900     | 31        | 3110   | 0.12   | 3.44                   | 3.2           | 78.39     |
| Cemented carbide (A6)    | 1000     | 593      | 4405     | 80        | 1250   | 28     | 15.1                   | 4.7           | 76        |
| PM-tool steel (A7)       | 1975     | 220      | 2190     | 22        | 754    | 65     | 7.4                    | 11.4          | 1.65      |



Từ ma trận đánh giá trong Bảng 1 có thể nhận thấy sự khác biệt đáng kể giữa các phương án vật liệu theo từng tiêu chí.

*Bảng 2. Kết quả giá trị tính toán của phương pháp Entropy*

| Tiêu chí            | Ký hiệu  | Giá trị entropy | Độ phân tán |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|
| Giới hạn chảy       | YS (C1)  | 0.842           | 0.158       |
| Mô đun đàn hồi      | YM (C2)  | 0.918           | 0.082       |
| Độ bền nén          | CS (C3)  | 0.801           | 0.199       |
| Độ dẫn nhiệt        | TC (C4)  | 0.889           | 0.111       |
| Độ cứng             | H (C5)   | 0.772           | 0.228       |
| Độ bền va đập       | IS (C6)  | 0.865           | 0.135       |
| Mật độ              | D (C7)   | 0.934           | 0.066       |
| Hệ số giãn nở nhiệt | CTE (C8) | 0.941           | 0.059       |
| Chi phí             | C (C9)   | 0.857           | 0.143       |



*Hình 1. Trọng số của các tiêu chí theo phương pháp Entropy*

Ví dụ, silicon carbide (A4) có giá trị giới hạn chảy (YS) và độ dẫn nhiệt (TC) cao vượt trội so với các vật liệu còn lại, trong khi cubic boron nitride (A2) nổi bật về độ cứng

(H) và độ bền nén (CS). Ngược lại, PM-tool steel (A7) có chi phí thấp nhất nhưng lại hạn chế về độ cứng và độ bền nén. Điều này cho thấy không tồn tại một vật liệu nào chiếm ưu thế tuyệt đối trên tất cả các tiêu chí, do đó cần áp dụng phương pháp ra quyết định đa tiêu chí để xác định phương án tối ưu tổng hợp. Từ ma trận ở Bảng 1, phương pháp Entropy được áp dụng nhằm xác định trọng số khách quan cho chín tiêu chí đánh giá. Quá trình tính toán bao gồm chuẩn hóa ma trận, xác định giá trị entropy của từng tiêu chí và tính mức độ phân tán thông tin (Bảng 2). Kết quả trọng số của các tiêu chí được mô tả trên Hình 1. Kết quả xếp hạng được thể hiện trên Bảng 3.

*Bảng 3. Kết quả xếp hạng các phương án*

| Phương án | Vật liệu            | TOPSIS | COCOSO | PROMETHEE II |
|-----------|---------------------|--------|--------|--------------|
| A1        | Tungsten carbide    | 6      | 6      | 6            |
| A2        | Cubic boron nitride | 2      | 2      | 2            |
| A3        | Cermet              | 4      | 4      | 4            |
| A4        | Silicon carbide     | 1      | 1      | 1            |
| A5        | Silicon nitride     | 5      | 5      | 5            |
| A6        | Cemented carbide    | 3      | 3      | 3            |
| A7        | PM-tool steel       | 7      | 7      | 7            |

Bảng 3 trình bày kết quả so sánh thứ hạng các phương án vật liệu dao phay theo ba phương pháp ra quyết định đa tiêu chí gồm TOPSIS, COCOSO và PROMETHEE II. Kết quả cho thấy sự nhất quán hoàn toàn giữa các phương pháp, khi thứ tự xếp hạng của bảy phương án không thay đổi trong cả ba mô hình. Silicon carbide (A4) đạt thứ hạng cao nhất trong tất cả các phương pháp, cho thấy tính vượt trội tổng hợp của vật liệu này xét trên các tiêu chí cơ học, nhiệt và giá thành. Kết quả này phản ánh khả năng cân bằng tối ưu giữa độ cứng cao, khả năng dẫn nhiệt tốt và chi phí hợp lý. Sự ổn định của vị trí A4 trong cả ba phương pháp khẳng định tính bền vững của phương án tối ưu và độ tin cậy của mô hình đánh giá. Cubic boron nitride (A2) và cemented carbide (A6) lần lượt xếp thứ hai và thứ ba trong toàn bộ các phương pháp. Mặc dù CBN có ưu thế vượt trội về độ cứng và độ bền nén, chi phí cao làm giảm mức độ ưu tiên tổng hợp. A6 thể hiện sự cân bằng tốt giữa độ bền và tính kinh tế nhưng không đạt mức tối ưu tổng hợp như A4. PM-tool steel (A7) xếp hạng thấp nhất. Mặc dù có chi phí thấp và độ bền va đập cao, vật liệu này không đáp ứng tốt các tiêu chí cơ học quan trọng như độ cứng và độ bền nén, vốn đóng vai trò quyết định trong gia công tốc độ cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất một khung phương pháp mới nhằm lựa chọn vật liệu dao phay tối ưu cho điều kiện gia công tốc độ cao dựa trên cách tiếp cận MCDM. Ma trận đánh giá được xây dựng với bảy phương án vật liệu và chín tiêu chí cơ-nhiệt-chi phí phản ánh tương đối đầy đủ yêu cầu làm việc của dao phay trong môi trường cắt khắc nghiệt. Trọng số các tiêu chí được xác định khách quan bằng phương pháp entropy, qua đó giảm thiểu ảnh hưởng của yếu tố chủ quan trong quá trình đánh giá. Kết quả cho thấy các tiêu chí cơ học như độ cứng và

độ bền nén đóng vai trò chi phối trong quá trình lựa chọn vật liệu. Ba phương pháp xếp hạng gồm TOPSIS, COCOSO và PROMETHEE II được áp dụng để xác định thứ hạng các phương án. Kết quả xếp hạng cho thấy sự nhất quán hoàn toàn giữa các phương pháp, khẳng định tính ổn định và độ tin cậy của mô hình đề xuất. Silicon carbide (SiC) được xác định là vật liệu tối ưu cho dao phay trong gia công tốc độ cao nhờ sự kết hợp hài hòa giữa độ cứng cao, khả năng dẫn nhiệt tốt, mật độ thấp và chi phí hợp lý. Các phương án như cubic boron nitride và cemented carbide cũng thể hiện hiệu suất cao nhưng bị hạn chế bởi yếu tố chi phí hoặc sự mất cân bằng giữa các tiêu chí. Đóng góp chính của nghiên cứu nằm ở việc tích hợp phương pháp xác định trọng số khách quan với các kỹ thuật xếp hạng MCDM nhằm xây dựng một quy trình đánh giá toàn diện, có khả năng mở rộng cho các bài toán lựa chọn vật liệu trong lĩnh vực công cụ cắt và kỹ thuật chế tạo nói chung. Trong các nghiên cứu tiếp theo, mô hình có thể được mở rộng bằng cách tích hợp dữ liệu thực nghiệm về mài mòn và tuổi thọ dụng cụ, áp dụng các phương pháp MCDM mở để xử lý tính không chắc chắn hoặc kết hợp với các thuật toán học máy nhằm nâng cao khả năng dự báo và tối ưu hóa trong môi trường sản xuất thông minh. ❖

Ngày nhận bài: 06/3/2026

Ngày phản biện: 18/3/2026

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Emovon, I., & Ogheniyerovwho, O. S. (2020), “*Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review*”. Results in Materials, 7, 100115.
- [2]. Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., & Sasirekha, V. 2. (2014), “*Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry*”. Expert systems with applications, 41(6), 2964-2980.

- [3]. Tian, G., Zhang, H., Feng, Y., Wang, D., Peng, Y., & Jia, H. (2018), “*Green decoration materials selection under interior environment characteristics: A grey-correlation based hybrid MCDM method*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 682-692.
- [4]. Tu, L., Zhang, Y., Yu, Q., Wang, X., Wang, C., Zhang, Z., ... & Zhang, J. (2025), “*Machinability and tool wear mechanism in the high-speed milling of TiAl alloys with different microstructures*”. Journal of Materials Research and Technology, 36, 6229-6239.
- [5]. Cheng, W., Hu, M., & Wu, C. (2025), “*Enhancing green building decision-making with a hybrid fuzzy AHP-TOPSIS model for material selection*”. Applied Water Science, 15(6), 129.
- [6]. Dasgupta, A., Sen, B., Dutta, P., Rachchh, N., Patil, N., Mahapatro, A., & Karthikeyan, A. (2025), “*Entropy-TOPSIS-based material selection for sustainable polymer composite: An MCDM framework promoting circular economy*”. Journal of Elastomers & Plastics, 57(5), 703-729.
- [7]. Francy, K. A., Sudheer, S., Kumar, M. A., Venu, M., & Rao, C. S. (2026), “*Integrated material selection and process prediction framework for cold extrusion of aluminium alloys using VIKOR and machine learning*”. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 1-15.
- [8]. Krishna Murthy, P., Murali, C. H., Sai Kiran, K., Durga Prasad, K. G., & Chetan Reddy, P. (2025), “*A User-centred Hybrid Framework for Material Selection Using QFD, TOPSIS, Entropy Validated Using Sensitivity Analysis*”. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 106(5), 1579-1592.
- [9]. Das, S., Ghadai, R. K., Sapkota, G., Guha, S., Barmavatu, P., & Kumar, K. R. (2025), “*Optimization of CNC turning parameters of copper-nickel (Cu-Ni) alloy using VIKOR, MOORA and GRA techniques*”. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 19(1), 291-300.
- [10]. Vennila T., Surakasi R., Raghuram K.S., Ravi G. (2021), “*Investigation on tensile behaviour of Al/Si3N4/sugarcane ash particles reinforced FSP composites*”. Materials Today Proceedings, 59 (2), 1266-1270.
- [11]. Chen, K., Xiao, W., Li, Z., Wu, J., Hong, K., & Ruan, X. (2019), “*Effect of Graphene and Carbon Nanotubes on the Thermal Conductivity of WC-Co Cemented Carbide*”. Metals, 9(3), 377.