

MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ THỰC NGHIỆM MÁY CẮT BÀN ĐA NĂNG CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU CHỈNH GÓC CẮT PHỤC VỤ SẢN XUẤT CÔNG NGHIỆP

SIMULATION AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF MULTI FUNCTIONAL TABLE CUTTING MACHINE WITH ADJUSTABLE CUTTING ANGLE CAPABILITY FOR INDUSTRIAL PRODUCTION

Triệu Quý Huy*, Đặng Văn Hòa

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

*Email: tqhuy@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và đánh giá thực nghiệm máy cắt bàn đa năng có khả năng điều chỉnh góc cắt linh hoạt trong dải 0° đến 45° phục vụ trong sản xuất công nghiệp và dân dụng. Trên cơ sở khảo sát các dòng máy cắt phổ thông hiện nay, nhóm tác giả xác định các hạn chế chủ yếu về độ chính xác và sự thiếu linh hoạt khi thay đổi góc cắt. Mô hình máy mới được thiết kế bằng phần mềm CAD 3D, tối ưu hóa kết cấu bằng mô phỏng CAE để đảm bảo độ cứng vững, giảm rung động và duy trì độ ổn định của lưỡi cắt trong quá trình làm việc. Nguyên mẫu được chế tạo với các thông số kích thước bàn cắt 800×400 mm, dải góc nghiêng $0^\circ - 45^\circ$, cơ cấu điều chỉnh sử dụng vít me - bản lề, động cơ công suất 1,0 - 1,5 kW. Kết quả thực nghiệm cho thấy sai lệch góc cắt không vượt quá $\pm 0,3^\circ$, độ lặp lại đạt $\pm 0,2$, độ vuông góc tại 90° đạt 0,3 mm/300 mm đáp ứng các mục tiêu. Máy hoạt động ổn định, dễ điều chỉnh và an toàn. Nghiên cứu mở ra khả năng ứng dụng tại các xưởng cơ khí nhỏ, cơ sở sản xuất dân dụng và phục vụ đào tạo kỹ thuật.

Từ khóa: Máy cắt bàn; Điều chỉnh góc cắt; Máy cắt đa năng; Phân độ; Góc cắt.

ABSTRACT

The paper presents the results of research on the design, manufacture and experimental evaluation of a multi-purpose table saw with the ability to flexibly adjust the cutting angle in the range of 0° to 45° for industrial and civil production. Based on a survey of current popular cutting machines, the authors identified the main limitations in terms of accuracy and lack of flexibility when changing the cutting angle. The new machine model was designed using 3D CAD software, optimizing the structure using CAE simulation to ensure rigidity, reduce vibration and maintain the stability of the cutting blade during operation. The prototype was manufactured with the parameters of cutting table size 800×400 mm, tilt angle range $0^\circ - 45^\circ$, screw-hinge adjustment mechanism, motor capacity 1.0 - 1.5 kW. Experimental results show that the cutting angle deviation does not exceed $\pm 0.3^\circ$, the repeatability reaches ± 0.2 , the perpendicularity at 90° reaches 0.3 mm/300 mm, meeting the targets. The machine operates stably, is easy to adjust and is safe. The study opens up the possibility of application in small mechanical workshops, civil production facilities and for technical training.

Keywords: Table saw; Cutting angle adjustment; Multi-function cutting machine; Dividing; Cutting angle.



1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh nhu cầu gia công cắt các vật liệu gạch ốp lát, gạch sàn, gỗ ván... trong công nghiệp và dân dụng rất cần một thiết bị cắt linh hoạt, dễ sử dụng và chi phí hợp lý. Nhu cầu cắt nghiêng góc (vát góc) cho các chi tiết cấu trúc (cắt góc 45° trong sản xuất nội thất và xây dựng rất phổ biến.

Các máy cắt bàn trên thị trường hiện nay chủ yếu cắt theo phương vuông góc, thiếu tính năng điều chỉnh góc cắt linh hoạt, dẫn đến hạn chế khả năng ứng dụng và độ chính xác thấp, thiếu an toàn.

Hầu hết các nghiên cứu trong nước dừng ở mức luận văn hoặc nghiên cứu cơ sở, chưa có công trình nào tích hợp đồng thời quy trình thiết kế 3D, mô phỏng số, chế tạo nguyên mẫu và thử nghiệm thực tế để tạo máy cắt bàn đa năng đạt chuẩn công nghiệp. Bài báo trình bày quá trình thiết kế máy cắt bàn có khả năng điều chỉnh góc cắt 0° - 45° với độ chính xác cao ($< \pm 0,3^\circ$), đảm bảo độ cứng vững và an toàn khi sử dụng.

Đề tài có tính mới rõ khi thực hiện đầy đủ quy trình khép kín, tập trung vào giải pháp cơ khí tối ưu (cơ cấu vít me - bản lề) và cung cấp một giải pháp thực tế, chi phí thấp, thay thế các sản phẩm nhập khẩu cho các cơ sở sản xuất nhỏ và phục vụ đào tạo kỹ thuật.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Mô hình máy cắt bàn và cơ cấu điều chỉnh góc

Các nghiên cứu quốc tế tập trung vào phân tích ứng suất và tối ưu kết cấu bằng mô phỏng số để cải thiện độ cứng vững, phát triển hệ thống điều khiển và cảm biến để nâng cao an toàn [1].

Các cơ cấu được phân tích gồm bản lề quay, vít me, ray trượt và bánh răng vát. Cơ cấu bánh răng vát kết hợp tay quay đã được đề xuất cho khả năng điều chỉnh góc chính xác với sai số nhỏ hơn 0,5°.

Cơ cấu vít me - bản lề được chọn vì tính đơn giản, dễ chế tạo, khả năng khóa và tinh chỉnh góc cắt chính xác, phù hợp với tiêu chí chi phí thấp và độ chính xác cao.

2.2. Yêu cầu kỹ thuật

Các yêu cầu kỹ thuật chính: Độ cứng vững của khung máy, sai lệch góc cắt ($< \pm 0,3^\circ$) độ ổn định lưỡi cắt (giảm rung động) và an toàn trong quá trình vận hành. Tuân thủ các tiêu chuẩn về an toàn máy móc và các quan điểm thiết kế công thái học [2, 3].

Các thông số cần đạt được:

- Dải góc cắt nghiêng: 0° - 45°;
- Độ phẳng mặt bàn: $\leq 0,15\text{mm}$ trên $800 \times 400\text{mm}$;
- Độ song song lưỡi và rãnh dẫn hướng: $\leq 0,15\text{ mm}/300\text{mm}$.

3. TIẾN HÀNH NGHIÊN CỨU

3.1. Xác định các thông số

Quy trình nghiên cứu: Khảo sát yêu cầu, lựa chọn phương án thiết kế, thiết kế 3D, mô phỏng CAE, lựa chọn vật liệu, chế tạo và lắp ráp.

Lựa chọn động cơ và kết cấu, ta thực hiện tính toán công suất động cơ (P) dựa trên lực cắt lớn nhất (F) khi gia công vật liệu tiêu chuẩn [4, 5].

a. Lựa chọn các thông số cho động cơ:

- Công suất động cơ:

$$P = 1,5 \text{ kW} = 1500 \text{ W}.$$

- Tốc độ quay lưỡi cắt:

$$N = 3000 \text{ vòng/phút (RPM)}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{2\pi N}{60} \approx 314 \text{ rad/s}.$$

- Bán kính lưỡi cắt: $R \approx 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$.

- Hiệu suất truyền động (dây đai, ổ bi):
 $\eta = 0,85 \text{ (85\%)}$.

Moment xoắn đầu ra (M):

$$M = \frac{P \cdot \eta}{\omega} = \frac{1500 \text{ W} \cdot 0,85}{314 \text{ rad/s}} \approx 4,06 \text{ Nm}$$

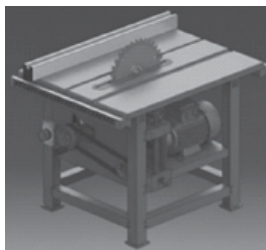
Lực cắt tiếp tuyến F_t tối đa:

$$F_t = \frac{M}{R} = \frac{4,06 \text{ Nm}}{0,125 \text{ m}} \approx 32,5 \text{ N}$$

Lực cắt tiếp tuyến $F_t \approx 32,5 \text{ N}$ là lực tối đa lưỡi cắt tạo ra để cắt vật liệu. Lực này đủ lớn để cắt vật liệu gỗ, nhựa, kim loại tấm với tốc độ nằm trong giới hạn an toàn.

b. Thiết kế 3D và Mô phỏng CAE:

Thiết kế 3D: Dựng mô hình chi tiết toàn bộ máy cắt bàn gồm khung máy, bàn cắt, cơ cấu nâng hạ và cơ cấu điều chỉnh góc $0^\circ - 45^\circ$ bằng phần mềm SolidWorks.



Hình 1. Thiết kế và mô phỏng

Dùng phần mềm SolidWorks để thiết kế, phân tích kết cấu, đảm bảo khung máy (Thép CT3) và mặt bàn (thép tấm) không bị biến dạng quá mức ($\leq 0,15 \text{ mm}$) dưới tải trọng cắt tối đa.

Mô phỏng cơ cấu điều chỉnh góc nghiêng nhằm tránh rung động và nâng cao độ chính xác của máy cắt.

3.2. Lựa chọn vật liệu

- Vật liệu khung: Thép CT3 vì chịu lực tốt, chi phí hợp lý.

- Mặt bàn: Tấm thép đảm bảo độ phẳng $\leq 0,15 \text{ mm}$.

- Lưỡi cắt: Hợp kim chuyên dụng cho khả năng cắt đa vật liệu như gỗ, gạch ốp lát, nhựa, kim loại...

4. THU THẬP DỮ LIỆU

a) Điều kiện thử nghiệm:

- Vật liệu cắt: Gỗ ép dày 20 mm .

- Góc cắt: Thử nghiệm tại các góc $0^\circ, 15^\circ, 22,5^\circ, 30^\circ, 45^\circ$.

- Các thông số làm việc: Tốc độ cắt, tốc độ quay lưỡi ổn định.

b) Thiết bị đo:

- Đo góc: Thước đo góc cơ khí để kiểm tra sai lệch góc cắt.

- Đo độ chính xác: Đồng hồ so để đo độ phẳng mặt bàn, độ vuông góc cạnh cắt và độ song song của lưỡi cắt.



c) Phương pháp đánh giá:

Đánh giá khả năng hoạt động của máy theo các tiêu chí: Độ chính xác góc cắt ($\leq \pm 0,3^\circ$), tính ổn định (rung, ồn), tính an toàn và hiệu quả sử dụng.

5. XỬ LÝ SỐ LIỆU

5.1. Kết quả thực nghiệm

Dựa trên kết quả thực nghiệm mô phỏng, các thông số quan trọng đạt được (Bảng 1) để đánh giá chất lượng.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm

Thông số	Mục tiêu thiết kế	Kết quả thực nghiệm	Đánh giá
Sai lệch góc cắt ($0^\circ - 45^\circ$)	$\leq \pm 0,3^\circ$	$\leq \pm 0,28^\circ$	Đạt
Độ lặp lại góc	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	Đạt
Độ vuông góc tại 90°	$\leq 0,10 \text{ mm}/300 \text{ mm}$	$0,25 \text{ mm}/300 \text{ mm}$	Đạt
Độ phẳng mặt bàn	$\leq \pm 0,15 \text{ mm}$	$\leq \pm 0,12 \text{ mm}$	Đạt

Bảng 2. Các mức độ của bộ thông số máy

	Tham số	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	Góc cắt (α)	0	22,5	45
2	Tốc độ đẩy phôi (v)	Thấp	Trung bình	Cao
3	Độ tiến dao (H)	Thấp	Trung bình	Cao

Kết quả cho thấy máy cắt hoạt động ổn định, cơ cấu điều chỉnh góc sử dụng vít me - bản lề đảm bảo độ cứng vững nhằm duy trì được độ ổn định, giảm rung động. Để tìm ra trạng thái của máy ở thời điểm lực cắt lớn nhất, nhóm nghiên cứu tiến hành đo lực cắt khi thay đổi góc cắt, tốc độ đẩy phôi và độ tiến dao.

Phương pháp thiết kế thí nghiệm Taguchi là công cụ sử dụng để tối ưu hóa các

thông số kiểm soát trong nghiên cứu và quy trình sản xuất hiệu quả. Sử dụng mảng trực giao giảm số lượng thí nghiệm nhưng vẫn đảm bảo đánh giá ảnh hưởng của từng thông số một cách độc lập. Để đánh giá hiệu suất, Taguchi chuyển đổi kết quả thực nghiệm thành tỷ lệ tín hiệu trên độ nhiễu (S/N Ratio) nhằm xác định được tổ hợp các thông số tối ưu để đạt được mục tiêu chất lượng mong muốn.

Bảng 3. Giá trị lực cắt và tỷ lệ S/N

TT	Ma trận thí nghiệm			F_T		S/N
	α	v	H			
1	1	1	1	31,8		30,04
2	1	2	2	30,2		29,60
3	1	3	3	32,1		30,13
4		2	1	2	28,7	29,16
5		2	2	3	25,6	27,90
6		2	3	1	27,9	28,91
7		3	1	3	26,9	28,60
8		3	2	1	24,5	27,78
9		3	3	2	28,8	29,19

Trong nghiên cứu này, khảo sát ba thông số ảnh hưởng đến lực cắt (F_T) gồm: góc cắt (α), tốc độ đẩy phôi (v) và độ nhô của dao (H). Do đó, các tiêu chí có công thức như sau:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \right] \quad (1)$$

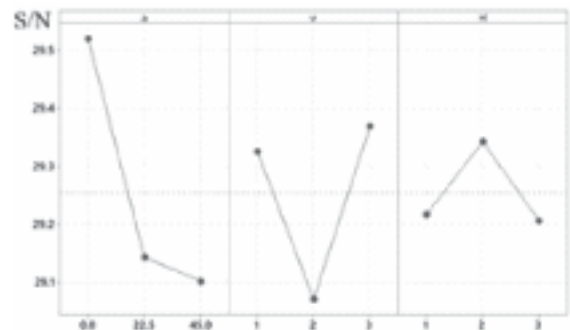
Trong đó: $\sum_{i=1}^n y_i^2$ là tổng bình phương của tất cả các kết quả cho mỗi thí nghiệm và n là số lần lặp lại của thí nghiệm.

Các thông số kiểm soát và các mức α ($0^\circ - 45^\circ$), v (thấp, trung bình, cao), H (thấp, trung bình, cao) được trình bày chi tiết trong Bảng 2. Thiết kế thí nghiệm sử dụng phương pháp mảng trực giao và tỷ lệ S/N Taguchi L9 trong Bảng 3.

5.2. Xử lý số liệu

Việc xác định bộ thông số tối ưu của máy cho lực cắt là lớn nhất được tiến hành việc tính toán tỷ lệ S/N, bảng giá trị được sử dụng và phân tích ảnh hưởng độc lập của từng thông số trên phần mềm thống kê Minitab thể hiện trong biểu đồ Hình 2, cho thấy: Góc cắt (α) ở mức 1,

tốc độ đẩy phôi (v) ở mức 3 và độ nhô của dao (H) ở mức 2.



Hình 2. Biểu đồ mô tả sự ảnh hưởng qua các mức của từng thông số

Sự sai lệch nhỏ giữa kết quả mô phỏng (CAE) và thực nghiệm là do dung sai chế tạo và các yếu tố ma sát, rung động không được tính toán trong mô hình lý thuyết.

Phân tích cơ cấu điều chỉnh góc: Cơ cấu vít me đã giảm thiểu độ rơi cơ khí so với các cơ cấu đơn giản bằng bản lề, cho phép tinh chỉnh góc cắt với độ chính xác cao.

Đánh giá ưu điểm, hạn chế và khả năng cải thiện: Máy có ưu điểm về chi phí thấp, độ chính xác cao, và đa năng. Hạn chế là việc điều

chỉnh góc vẫn là thủ công. Khả năng cải tiến là tích hợp bảng hiển thị điện tử để theo dõi góc cắt theo thời gian thực.

Ở trạng thái có góc cắt 0° , tốc độ đẩy phôi cao và độ nhô của dao ở mức trung bình sẽ cho lực cắt là lớn nhất.

6. KẾT LUẬN

- Đã thử nghiệm thành công máy cắt bàn đa năng điều chỉnh góc cắt $0^\circ - 45^\circ$, đạt các mục tiêu kỹ thuật đề ra. Máy có kết cấu đơn giản, chi phí thấp nhưng vẫn đảm bảo độ cứng vững và độ chính xác.

- Các thông số kỹ thuật chính (độ chính xác góc cắt, độ vuông góc) đều đáp ứng yêu cầu công nghiệp và dân dụng, chứng minh tính khả thi của thiết kế cơ khí.

- Sản phẩm mẫu được ứng dụng ngay tại các xưởng cơ khí, hộ sản xuất dân dụng, làm tài liệu thực hành và nghiên cứu hữu ích cho sinh viên ngành Kỹ thuật tại trường. ❖

Ngày nhận bài: **01/3/2026**

Ngày phản biện: **08/3/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lee, J. Y., & Park, M. S., “*Structural analysis and optimization of a tilting arbor saw using CAE simulation*”. Journal of Mechanical Science and Technology, 33(7), 3121-3130 (2019).
- [2]. Nguyễn Văn Đoàn, “*Kỹ thuật Thiết kế Công thái học trong dụng cụ cầm tay*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Công nghiệp Hà Nội (2019).
- [3]. Nguyễn Văn Tựu, Trần Công Chí, Nguyễn Hoàng Tân, “*Giáo trình Chi tiết máy*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật (2017).
- [4]. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, TCVN 8718:2011: “*Máy công cụ - Yêu cầu kỹ thuật an toàn chung*”. Bộ Khoa học và Công nghệ, 2011.
- [5]. Bathe, K. J., “*Finite Element Procedures*”. Klaus-Jürgen Bathe, 2014.
- [6]. Lee, J. Y., & Park, M. S., “*Structural analysis and optimization of a tilting arbor saw using CAE simulation*”. Journal of Mechanical Science and Technology, 33 (7), 3121-3130 (2019).