

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC MỘT SỐ CƠ CẤU MÁY CỬA LỘNG

STUDY ON KINEMATICS AND DYNAMICS OF SOME KINDS OF JIGSAW MECHANISMS

Nguyễn Trần Đăng Khoa², Nguyễn Tấn Tiến^{1,2}

¹DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Cửa lộng là một thiết bị thông dụng với lưỡi cưa thẳng phối hợp chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cắt cùng với chuyển động đi tới của cưa để cắt các loại vật liệu kim loại cũng như phi kim loại. Có nhiều cơ cấu dùng để biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cưa, nhưng phổ biến nhất là cơ cấu sin, cơ cấu tay quay con trượt, và cơ cấu cam thùng. Bài báo trình bày khảo sát đặc tính động học và động lực học của ba cơ cấu trên với giả thiết cùng một công suất, cùng chuyển vị của lưỡi cưa trong một vòng quay động cơ, và khối lượng các cơ cấu là tương đối như nhau. Kết quả cho thấy với cùng một công suất, cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thùng. Do đó, khi thiết kế cửa lộng, cơ cấu tay quay con trượt có thể xem là lựa chọn phù hợp với mục đích sử dụng.

Từ khóa: Máy cưa lộng; Số răng trên 1 inch chiều dài; Cơ cấu tay quay – con trượt.

ABSTRACT

A reciprocating saw is a common tool with a straight blade that coordinates reciprocating translational motion of the cutting blade with the forward motion of the saw to cut various types of materials, both metallic and non-metallic. There are several mechanisms used to convert the rotary motion of the motor into the reciprocating translational motion of the saw blade, but the most common ones are the sin mechanism, the slider-crank mechanism, and the barrel cam mechanism. This article presents a study of the dynamic and kinetic characteristics of these three mechanisms under the assumption of equal power, the same displacement of the saw blade in one revolution of the motor, and roughly equal masses of the mechanisms. The results indicate that, with the same power, the crank-arm slider mechanism provides the highest cutting force, followed by the crank mechanism and, lastly, the cam mechanism. Therefore, when designing a reciprocating saw, the crank-arm slider mechanism can be considered a suitable choice for the intended purpose.

Keywords: Jigsaw machine; Teeth per inch; Crank-arm slider mechanism.



1. TỔNG QUAN

Các phương pháp cưa: Cưa lộng là một trong những phương pháp gia công cắt gọt để cắt phôi, dụng cụ cắt là những lưỡi dao có nhiều răng nhỏ. Mỗi răng sẽ loại bỏ một phần nhỏ của phôi trên chiều dài làm việc của răng.

Khả năng công nghệ của cưa: Phương pháp cưa có thể được sử dụng trên nhiều vật liệu khác nhau như kim loại hoặc phi kim loại. Tùy vào yêu cầu, có thể cưa đường thẳng hoặc đường cong.

Lưỡi cưa: Tùy thuộc vào loại cưa mà lưỡi cưa có nhiều loại khác nhau, tuy nhiên trong phạm vi nghiên cứu của bài báo này chỉ tìm hiểu về lưỡi cưa dùng trong máy cưa lộng. Những yếu tố để chọn lưỡi cưa có thể kể đến: chân cắm, số răng, loại vật liệu và hình dạng răng [1], [2].

Số lượng răng (TPI): Số răng trên một inch chiều dài lưỡi ảnh hưởng đến tốc độ và độ mịn của đường cắt. TPI thấp, tốc độ cắt sẽ nhanh hơn nhưng thô hơn, phù hợp để cắt các loại gỗ. Lưỡi cưa dùng để cắt kim loại và những vật liệu cứng khác cần số TPI cao hơn, tốc độ cắt chậm hơn nhưng đường cắt sẽ mịn hơn. Thông thường $TPI = 6 \div 20$: cho gỗ, vật liệu mềm; $14 \div 36$: cho kim loại; và > 36 : cho các vật liệu đặc biệt như kính (glass).

Vật liệu lưỡi cưa: Lưỡi cưa được chế tạo chủ yếu là từ hai loại thép: high carbon steel (HCS) và high speed steel (HSS). Ngoài ra, còn có loại Bi-Metal (BiM) kết hợp từ HCS và HSS, loại vật liệu Tungsten Carbide (TC) và Diamond Grid [3].

Biên dạng răng: Hình dạng và cách sắp xếp của răng trên lưỡi cưa đóng vai trò quan trọng trong tốc độ cắt và chất lượng cắt. Có năm loại răng phổ biến được chia thành hai nhóm

chính: “Milled Tooth” và “Ground Tooth” [4].

Milled Tooth: Loại răng này cùn hơn loại răng “Ground Tooth”, khiến đường cắt sẽ thô, tốc độ cắt nhanh hơn. Kết cấu răng khiến răng bào mòn vật liệu tốt, phù hợp để cắt các vật liệu dày.

Loại răng	Hình dạng	Ứng dụng
Milled Slide		Dùng để cưa thẳng, nhanh, thô qua gỗ, nhôm, kim loại màu và nhựa.
Milled Wavy		Răng cưa được sắp xếp dạng lượn sóng dùng cho các vết cưa thẳng, mịn trên ván dăm, ván ép, nhôm, nhựa và thép nhẹ.

Ground Tooth: Răng cưa loại này được mài sắc hơn giúp đường cưa mịn, tuy nhiên vận tốc cưa giảm, đồng thời phần răng cưa ăn nhiều vào vật liệu khiến lưỡi nhanh mòn hơn.

Loại răng	Hình dạng	Ứng dụng
Ground Side		Dạng răng này cho phép cưa cả đường thẳng và đường cong trên vật liệu gỗ và một số loại nhựa.
Ground Taper		Răng dạng côn được xếp thẳng hàng giúp đường cưa chính xác, sạch. Có thể áp dụng cho đường cưa thẳng và cong.
Ground Reverse		Hướng của răng bị ngược. Dùng cho cưa ván ép, melamine và các vật liệu giòn.

Chiều sâu cắt: Các loại máy cưa phổ biến trên thị trường có thể có các chiều sâu cắt khác nhau đối với các vật liệu khác nhau. Gỗ: thông thường có thể cắt gỗ với độ sâu từ $40 \div 150$; Kim loại màu: máy cưa lộng thường có chiều sâu cắt từ $10 \div 40$; Thép nhẹ: chiều sâu cắt của máy cưa lộng giảm đi đáng kể vì thép có độ bền cứng hơn nhiều so với gỗ hoặc kim loại màu, rơi vào tầm $5 \div 15$. Cần lưu ý rằng khả năng cắt của máy cưa lộng không những phụ thuộc vào vật liệu có thể cắt, mà phụ thuộc vào công suất động cơ.

Khả năng cắt: Khả năng cắt của máy cưa lộng phụ thuộc vào các yếu tố: công suất động cơ (hoặc điện áp động cơ), độ dịch dao và tốc độ cắt.

Công suất: thông thường công suất của máy cưa lộng khoảng $400W \div 900W$.

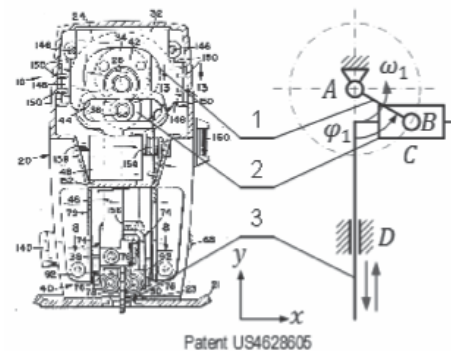
Độ dịch dao: khoảng cách tối đa của lưỡi dao khi dịch chuyển lên-xuống khi cắt, thông thường $18 \div 26$.

Tốc độ cắt: thông thường tốc độ cắt của lưỡi cưa được tính bằng số lần lưỡi cưa lên hoặc xuống/phút (spm), máy cưa lộng thường có tốc độ cắt bằng $500 \div 3500\text{spm}$. Tốc độ cao ($> 2000\text{spm}$) sẽ ảnh hưởng khi cắt các vật liệu như nhựa, kim loại do sinh nhiệt làm biến dạng nên khi cắt các vật liệu trên sẽ dùng tốc độ thấp hơn. Thông thường, tốc độ cắt sẽ được chọn dựa theo kinh nghiệm [5].

* Nguyên lý chuyển động của máy cưa:

Có nhiều cơ cấu dùng để biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến khứ hồi của lưỡi cưa, nhưng phổ biến nhất là cơ cấu sin, cơ cấu tay quay con trượt, và cơ cấu cam thùng.

Cơ cấu sin:

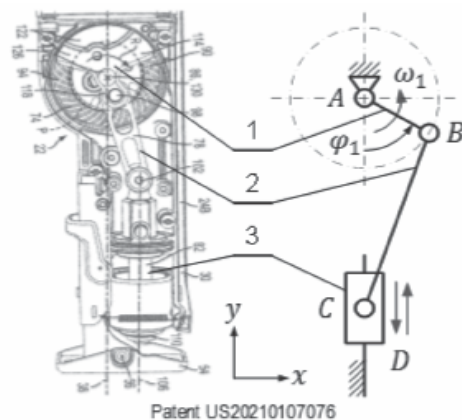


Hình 1. Cơ cấu sin

Ưu điểm: Cơ cấu sin có lực cắt cao nhờ vào gia tốc lớn. Sự chuyển đổi trực tiếp từ chuyển động quay sang chuyển động tịnh tiến tăng hiệu suất của máy. Kết cấu đơn giản.

Nhược điểm: Tính mài mòn cao do có ma sát giữa ổ lăn và rãnh, lực tiếp xúc cao.

Cơ cấu tay quay con trượt:

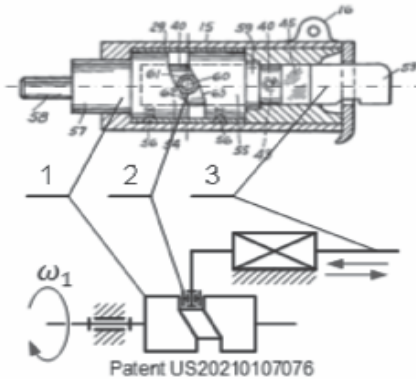


Hình 2. Cơ cấu tay quay con trượt

Ưu điểm: Cơ cấu tay quay con trượt không có nhiều khâu, khớp nên hiệu suất cao. Kết cấu đơn giản.

Nhược điểm: Gia tốc của cơ cấu không cao bằng cơ cấu sin.

Cơ cấu cam thừng:



Hình 3. Cơ cấu cam thừng

Ưu điểm: Bản thân cam thừng là một bánh đà, do đó mô-men quán tính của cơ cấu cao, dẫn đến lực cắt cao hơn. Cơ cấu cam có thiết kế gọn, chắc chắn.

Nhược điểm: Ma sát giữa con lăn và cam dẫn đến mài mòn, quá trình sản xuất cam phức tạp.

2. PHÂN TÍCH ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC

Phân tích động học:

Cơ cấu sin

Cho: $A(x_A; y_A)$; l_{AB} ; ω_1 .

Phân tích chuyển vị:

$$\begin{aligned}\vec{r}_A &= [x_A \ y_A \ 0]; \vec{r}_B = [x_B \ y_B \ 0]; \\ \vec{r}_3 &= [x_3 \ y_3 \ 0]; \vec{\varphi}_1 = [0 \ 0 \ \varphi_1]; \\ \vec{\omega}_1 &= [0 \ 0 \ \omega_1]\end{aligned}$$

Chuyển vị điểm $B(x_B; y_B)$:

$$\begin{aligned}x_B &= x_A + l_{AB} \sin \varphi_1 \\ y_B &= y_A + l_{AB} \cos \varphi_1\end{aligned}$$

Vị trí khâu 3 (lưỡi cưa):

$$\begin{aligned}x_3 &= x_A \\ y_3 &= (y_B - y_A) + \sqrt{l_{BD}^2 - (x_B^2 - x_A^2)}\end{aligned}$$

Phân tích vận tốc:

Vận tốc điểm $A(x_A; y_A)$:

$$\vec{v}_A = [0 \ 0 \ 0];$$

Vận tốc điểm $B(x_B; y_B)$:

$$\begin{aligned}\vec{v}_B &= \vec{v}_A + \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA} \\ &= [-(y_B - y_A)\omega_1 \ (x_B - x_A)\omega_1 \ 0]\end{aligned}$$

Khâu 3 tịnh tiến theo phương y:

$$\vec{v}_3 = [0 \ (x_B - x_A)\omega_1 \ 0]$$

Phân tích gia tốc:

Gia tốc khâu 1:

$$\vec{a}_A = [0 \ 0 \ 0]; \vec{a}_1 = [0 \ 0 \ 0]$$

Gia tốc điểm $B(x_B; y_B)$:

$$\begin{aligned}\vec{a}_B &= \vec{a}_A + \vec{a}_1 \times \vec{r}_{BA} + \vec{\omega}_1 \times (\vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA}) \\ &= -[(x_B - x_A)\omega_1^2 \ (y_B - y_A)\omega_1^2 \ 0]\end{aligned}$$

Khâu 3 tịnh tiến theo phương y:

$$\vec{a}_3 = [0 \ -(y_B - y_A)\omega_1^2 \ 0]$$

Cơ cấu tay quay con trượt:

Cho: $A(x_A; y_A)$; l_{AB} ; l_{BC} ; ω_1 .

Phân tích chuyển vị:

$$\begin{aligned}\vec{r}_A &= [x_A \ y_A \ 0]; \vec{r}_B = [x_B \ y_B \ 0]; \\ \vec{r}_C &= [x_C \ y_C \ 0]; \vec{\varphi}_1 = [0 \ 0 \ \varphi_1]; \\ \vec{v}_A &= [0 \ 0 \ 0]\end{aligned}$$

Vị trí điểm B(x_B ; y_B):

$$\begin{aligned} x_B &= x_A + l_{AB} \sin \varphi_1 \\ y_B &= y_A + l_{AB} \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

Vị trí điểm C(x_C ; y_C):

$$x_C = x_A$$

$$y_C = (y_B - y_A) + \sqrt{l_{BC}^2 - (x_B^2 - x_A^2)}$$

Phân tích vận tốc:

Vận tốc điểm B(x_B ; y_B):

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA} = [-(y_B - y_A)\omega_1 \quad (x_B - x_A)\omega_1 \quad 0]$$

Vận tốc điểm C(x_C ; y_C):

$$\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_{CB} = \begin{bmatrix} -(y_B - y_A)\omega_1 - (y_C - y_B)\omega_2 \\ (x_B - x_A)\omega_1 + (x_C - x_B)\omega_2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Khâu 3 di chuyển theo phương y nên:

$$-(y_B - y_A)\omega_1 - (y_C - y_B)\omega_2 = 0$$

Suy ra:

$$\omega_2 = \frac{-(y_B - y_A) \times \omega_1}{y_C - y_B}$$

$$\vec{v}_C = \begin{bmatrix} 0 \\ (x_B - x_A)\omega_1 + (x_C - x_B)\omega_2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Phân tích gia tốc:

Gia tốc điểm B(x_B ; y_B):

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{\alpha}_1 \times \vec{r}_{BA} + \vec{\omega}_1 \times (\vec{\omega}_1 \times \vec{r}_{BA}) = \begin{bmatrix} -(x_B - x_A)\omega_1^2 \\ -(y_B - y_A)\omega_1^2 \\ 0 \end{bmatrix}'$$

Gia tốc điểm C(x_C ; y_C):

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{\alpha}_2 \times \vec{r}_{CB} + \vec{\omega}_2 \times (\vec{\omega}_2 \times \vec{r}_{CB})$$

Khâu 3 di chuyển theo phương y:

$$-(x_B - x_A)\omega_1^2 - (y_C - y_B)\alpha_2 - (x_C - x_B)\omega_2^2 = 0$$

Từ đó, gia tốc góc khâu 2 là:

$$\alpha_2 = -\frac{(x_B - x_A)\omega_1^2 + (x_C - x_B)\omega_2^2}{y_C - y_B}$$

Gia tốc điểm C(x_C ; y_C):

$$\vec{a}_C = [0 \quad a_C^y \quad 0],$$

$$\text{với } a_C^y = -(y_B - y_A)\omega_1^2 + (x_C - x_B)\alpha_2 - (y_C - y_B)\omega_2^2$$

Cơ cấu cam thùng:

Để thiết kế cam cho máy cửa lồng, chuyển vị của cần nên được tối ưu cho việc cắt, tức không có thời gian cần đứng yên khi cam quay, lực cắt được tạo ra nên là cao nhất, tức gia tốc của cần nên là lớn nhất. Có nhiều loại chuyển vị của cần, chọn loại chuyển vị full rise and full return simple harmonic motion vì có gia tốc lớn nhất. Để tính chuyển vị, vận tốc và gia tốc, ta dùng các phương trình chuyển động của full rise and full return simple harmonic motion [7].

Phân tích động lực học:

Ký hiệu:

$$\vec{P}_i = \vec{G}_i + \vec{F}_{I_i} = m_i \vec{g} - m_i \vec{a}_i$$

$$\vec{M}_{G_i} = -I_{G_i} \vec{\alpha}_i$$

với, $\vec{g}$: Hằng số trọng lực; I_{G_i} : Mô-men quán tính khâu i; $\vec{\alpha}_i$: Gia tốc góc khâu i; $\vec{F}_c$: Lực cản khi cắt. Áp dụng nguyên lý công ảo:

$$\vec{M}_{cb} \vec{\omega}_1 + \sum \vec{M}_{G_i} \vec{\omega}_i + \sum \vec{M}_{P_i} \vec{v}_{S_i} + \vec{F}_c \vec{v}_3 = 0$$



Cơ cấu sin:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{P}_1\vec{v}_{G_1} + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{P}_3\vec{v}_{G_3} + \vec{F}_C\vec{v}_3 = 0$$

Cơ cấu tay quay con trượt:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{M}_{G_1}\vec{\omega}_1 + \vec{M}_{G_2}\vec{\omega}_2 + \vec{P}_1\vec{v}_{G_1} + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{P}_3\vec{v}_{G_3} + \vec{F}_C\vec{v}_3 = 0$$

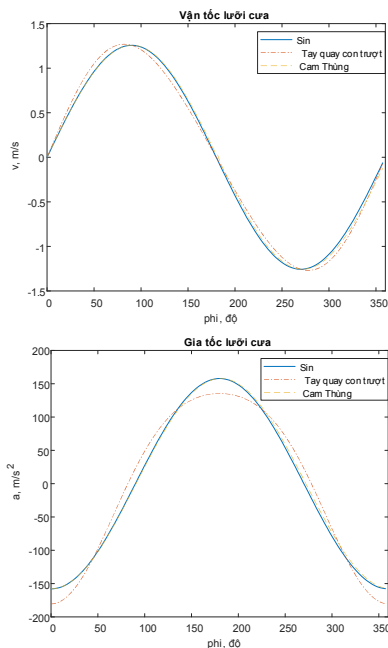
Cơ cấu cam thừng:

$$\vec{M}_{cb}\vec{\omega}_1 + \vec{P}_2\vec{v}_{G_2} + \vec{F}_C\vec{v}_2 = 0$$

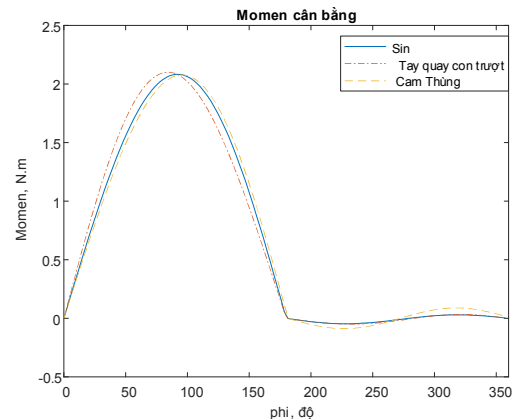
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Giả sử ba cơ cấu trên đều có cùng một chuyển vị (độ dịch dao), tốc độ góc khâu dẫn như nhau, cùng một lực cản khi cắt như nhau và khối lượng tương đối giống nhau, sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng những phân tích ở Phần II.

Với tốc độ cắt là 2400spm, độ dịch dao 20mm (máy cưa lộng Ingeo mẫu CJSLI8501) và lực cắt là $F_c = 207N$ [8], ta có kết quả như sau:

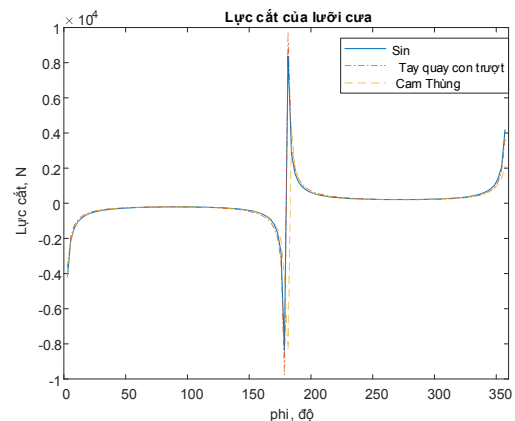


Hình 4. Đồ thị động học



Hình 5. Đồ thị động lực học

Trong trường hợp cùng một mô-men động cơ (ở đây chọn là 2Nm), thì lực cắt được tạo ra:



Hình 5. Đồ thị lực cắt

Trong cả ba cơ cấu, có thể thấy cơ cấu sin và tay quay con trượt cho gia tốc lưỡi cưa lớn nhất, tuy vậy mô-men cân bằng của cơ cấu tay quay con trượt lại lớn hơn hai cơ cấu còn lại. Nếu sử dụng cùng một mô-men động cơ, cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thừng. Vì vậy, cơ cấu sin và cơ cấu tay quay con trượt có thể xem là lựa chọn tốt khi thiết kế máy cưa lộng (lực cắt cao hơn và gia công dễ dàng hơn cơ cấu cam thừng). Cơ cấu cam thừng do thiết kế gọn nhẹ và chắc chắn, có thể

được dùng để gắn lên thiết bị có chuyển động quay khác để tạo thành chuyển động tịnh tiến (ví dụ có thể gắn lên máy khoan để tạo thành máy cưa).

4. KẾT LUẬN

Bài báo khảo sát đặc tính máy cưa lộng (với các cơ cấu khác nhau: tay quay – con trượt, cơ cấu sin, cơ cấu cam thùng), với giả thiết cùng một công suất, cùng chuyển vị của lưỡi cưa trong một vòng quay động cơ, và khối lượng các cơ cấu là tương đối như nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy cơ cấu tay quay con trượt cho lực cắt lớn nhất, tiếp đó là cơ cấu sin và cuối cùng là cơ cấu cam thùng. Kết quả này có thể được sử dụng cho bài toán thiết kế cưa lộng.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật

Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.❖

Ngày nhận bài: **03/11/2023**

Ngày phản biện: **25/11/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. S.Paul, “*Design, Construction and Performance Test on Jigsaw Machine*”, Graduation Thesis, Khulna Univ. of Eng. & Technology, Bangladesh, 2018.
- [2]. Bosch, “*Power Tools & Accessories Catalog*”, 2012.
- [3]. C. Graves, “*Jigsaw Blades*”, 2016, [Trực tuyến], <https://knowledge.axminstertools.com/jigsaw-blades/>.
- [4]. Wonkeedonkeetools, 2021, [Trực tuyến], <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/jigsaws/what-is-the-stroke-length-of-a-jigsaw>.
- [5]. Felicia Banciu, Ion Grozav, George Draghici, “*Redesign case of jigsaw*”, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol.6, No.1, 2008
- [7]. Viraj Mehta, Vimal Patel, “*Performance Evaluation of Jigsaw Machine with Kinematic and Stress Analysis*”, Int’l Conf. on Theoretical, India, 2017.