

Thiết kế chế tạo máy phay CNC 3 trục

Đường Khánh Sơn*, Huỳnh Minh Vũ và Đặng Hoài Bảo

Trường Đại học Kỹ thuật Công Nghệ Cần Thơ

TÓM TẮT

Bài báo "Thiết kế chế tạo máy phay CNC 3 trục" trình bày chi tiết quá trình tính toán thiết kế máy phay CNC 3 trục phục vụ học tập, nghiên cứu và đào tạo. Qua khảo sát tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước để đưa ra mục tiêu chi tiết của nghiên cứu. Sử dụng phần mềm Autodesk Inventor để thiết kế và mô phỏng mô hình, lựa chọn động cơ trục chính, trục vít và các động cơ truyền động, tính chọn các mạch điện và cài đặt các thông số hợp lý cho phần mềm điều khiển máy. Máy được thiết kế chế tạo với vùng hoạt động 350 mm x 600 mm x 125 mm, với sai số 0.1 mm. Thử nghiệm máy với các vật liệu khác nhau như: gỗ, mica, nhôm, ... Kết quả máy được chế tạo đáp ứng tốt mục tiêu đã đặt ra, máy vận hành tốt, chi phí chế tạo thấp, máy dễ dàng thao tác và điều khiển.

Từ khóa: CNC, phần mềm Mach 3, máy phay 3 trục, chế tạo

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trước đây việc gia công cơ khí thực hiện hoàn toàn trên các máy cơ như: tiện cơ, phay cơ. Việc gia công như thế rất tốn kém thời gian và năng suất thấp. Để vận hành các loại máy này đòi hỏi một máy phải có một thợ. Điều này đồng nghĩa các sản phẩm tạo ra sẽ không nhiều, hơn nữa độ chính xác sẽ không cao, dẫn đến hiệu quả kinh tế thấp.

Sau một thời gian cải tiến, máy CNC đã ra đời nhằm khắc phục những khuyết điểm trên các máy cơ. Sự ra đời của công nghệ CNC đã đánh dấu một bước ngoặt lớn trong cuộc cách mạng sản xuất cơ khí và hiện nay nó vẫn đang phát triển không ngừng cho ra những sản phẩm hoàn hảo nhất [1].

Ở nước ta, các máy CNC đang được sử dụng rất phổ biến trong sản xuất, trong đào tạo và nghiên cứu khoa học. Trên thực tế, chi phí đầu tư cho một máy CNC là vô cùng đắt đỏ. Do đó, một số cơ sở đào tạo các ngành kỹ thuật chưa đáp ứng đầy đủ trang thiết bị để phục vụ cho quá trình đào tạo, thực tập, thực hành cho sinh viên cũng như nghiên cứu khoa học. Đã có nhiều nhóm nghiên cứu và chế tạo máy phay CNC 3 trục, cũng như đồ án tốt nghiệp của sinh viên ở các trường kỹ thuật trong nước. Mô hình máy phay CNC của trường cao đẳng nghề Bách Khoa Hà Nội [2] sử dụng vật liệu PVC làm thân máy và vai trục nên độ cứng vững kém dẫn đến quá trình gia công thân máy bị

rung động, máy có sai số cao, sản phẩm gia công không đạt yêu cầu. Luận văn tốt nghiệp thiết kế chế tạo máy phay CNC 3 trục của sinh viên trường Đại Học Bách Khoa Hà Nội [3] có vai trục và mặt bàn máy được làm từ thép hộp tạo nên độ cứng vững cho máy giúp máy ít bị rung động. Phần thanh trượt dẫn hướng trục X vẫn chưa đồng bộ về cấu trúc là dùng thanh trượt tròn và ray trượt vuông để dẫn hướng cho trục làm ảnh hưởng đến độ chính xác, động cơ trục chính sử dụng máy điều khiển gỗ cầm tay dẫn đến sản phẩm sau khi gia công vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu về độ thẩm mỹ và độ chính xác. Vì vậy việc tập trung nghiên cứu để tính toán, thiết kế và chế tạo mô hình máy phay CNC 3 trục có độ cứng vững cao, công suất động cơ trục chính phù hợp để gia công các vật liệu như nhôm, gỗ, nhựa... đạt độ chính xác và thẩm mỹ với chi phí thấp là cần thiết.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày phương pháp thực hiện ở Phần 2, bao gồm phương án thiết kế hợp lý để chế tạo máy phù hợp yêu cầu đặt ra, tính toán để chọn vít me, ray trượt, động cơ phù hợp, đấu nối hệ thống điện điều khiển và cài đặt các thông số cho máy. Từ đó ở Phần 3 chúng tôi sẽ giới thiệu các kết quả thu được qua quá trình chạy thực nghiệm trên các loại vật liệu khác nhau, có cơ sở đánh giá và kết luận các mục tiêu đặt ra ở phần 4.

Tác giả liên hệ: Đường Khánh Sơn

Email: dkson@ctu.edu.vn

2. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Phương án thiết kế

Mục đích nghiên cứu này là thiết kế chế tạo máy phay CNC 3 trục sử dụng trong gia công các loại vật liệu khác nhau, máy được chế tạo phải đảm bảo yêu cầu cứng vững, thẩm mỹ và độ chính xác tương đối cao phục vụ quá trình nghiên cứu và đào tạo. Qua khảo sát, thu thập thông tin, phân tích các máy phay CNC 3 trục thông qua bài báo, luận văn hoặc đã được nghiên cứu nhóm đề ra yêu cầu kỹ thuật như sau:

- Máy có hành trình làm việc tối đa 350 mm x 600 mm x 125 mm.
- Thiết kế máy với sai số cho phép của máy là 0.1 mm.
- Độ cứng vững phải đảm bảo cho việc gia công trên các vật liệu khác nhau như: nhựa, gỗ, mica, nhôm, ...

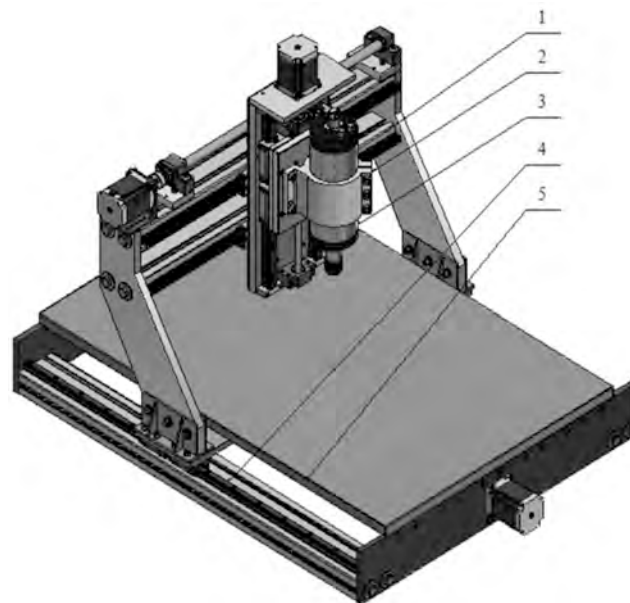
Phương án di chuyển của máy là phôi cố định trục X, Y, Z di chuyển, đối với kết cấu này thì chỉ phần đế của máy CNC gồm bàn máy và cơ cấu mang động

cơ trục Y thì được lắp cố định. Phần di động gồm ổ trục Z và ổ trục X. Ưu điểm của kết cấu này là không gian bàn máy lớn, có thể gia công được phôi có kích thước xấp xỉ vùng chuyển động của các trục. Nhằm hạn chế mang khối lượng phôi lớn di chuyển khi gia công [4].

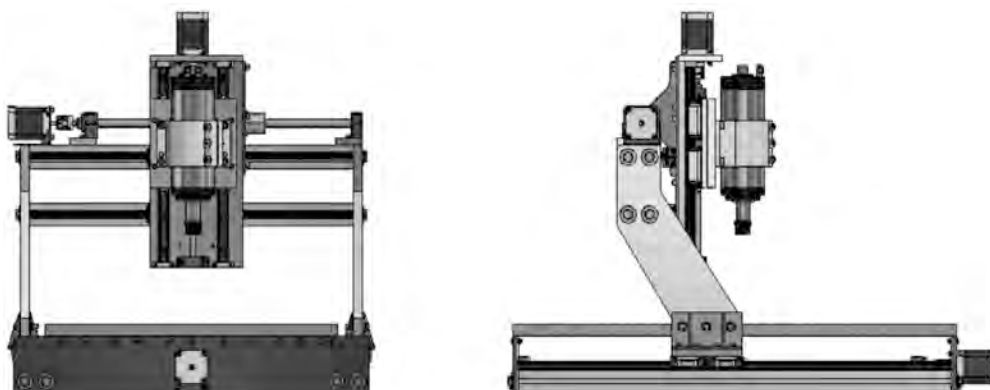
Sau khi lựa chọn được phương án thiết kế, thực hiện xây dựng mô hình 3D trên phần mềm Inventor và bố trí các cụm chi tiết cho máy. Kết quả được thể hiện qua Hình 1, 2. Với bàn máy đứng yên các cụm X, Y, Z di chuyển mang theo động cơ trục chính để gia công.

Máy được thiết kế với 5 bộ phận chính:

1. Cụm trục X
2. Cụm trục Z
3. Động cơ trục chính
4. Cụm trục Y
5. Bàn máy



Hình 1. Tổng thể máy phay CNC 3 trục



Hình 2. Mặt trước và mặt bên của máy

Tính toán động cơ trực chính

Tính sơ bộ chiều sâu cắt [5]0:

$$t_{\max} = C^3 \times \sqrt{D_{\max}} = 3.15 \text{ mm} \quad (1)$$

Trong đó: $C = 1.06; D_{\max} = 7 \text{ mm}$

Xác định tốc độ cắt:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v = 84.1 \text{ (m/phút)} \quad (2)$$

Trong đó:

$C_v = 185.5; q = 0.45; x = 0.3; y = 0.2; u = 0.1; p = 0.1; m = 0.03$ (hệ số và các số mũ)

$T = 80$ (phút) chu kỳ bền của dao.

$Z = 4$ số me cắt dao phay.

K_v : hệ số điều chỉnh chung cho tốc độ cắt, xác định theo công thức:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{NV} \cdot K_{UV} = 0.9 \quad (3)$$

Trong đó:

$K_{MV} = 1$ hệ số phụ thuộc vào chất lượng vật liệu gia công.

$K_{NV} = 0.9$ hệ số phụ thuộc vào trạng thái của phôi.

$K_{UV} = 1$ hệ số phụ thuộc vào vật liệu của dụng cụ cắt.

Lượng chạy dao:

$$S_{ph} = S_x n = S_z x Z x n = 0.06 x 4 x 3826 = 918 \text{ (mm/ vòng)} \quad (4)$$

Trong đó:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = 3826 \text{ (v/ph)} \quad (5)$$

Tính lực cắt:

$$P_{zt} = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} = 1268 \text{ N} \quad (6)$$

Trong đó: Với vật liệu nhôm thì $P_z = 0.25 P_{zt}$

$C_p = 68.2; x = 0.86; y = 0.72; u = 1; q = 0.86; w = 0; K_{MP} = 1$ (hệ số và các số mũ)

Khi đó: $P_z = 0.25 P_{zt} = 0.25 x 1268 = 317 \text{ N}$

Xác định công suất động cơ trực chính:

Trên cơ sở P_z và V đã tính ta có công suất cắt như sau:

$$N_e = \frac{P_z \cdot x \cdot V}{60 \times 1020} = \frac{317 \times 84 \times 1}{60 \times 1020} = 0.44 \text{ (KW)} \quad (7)$$

Chọn động cơ trực chính có công suất $1.5 \text{ (KW)} > 0.44 \text{ (KW)}$.

2.2. Tính toán, lựa chọn vít me

Truyền động vít me bi là loại truyền động biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến và

ngược lại. Loại truyền động này khác với truyền động vít đai ốc ở chỗ có thêm các con lăn là các bi cầu nhờ đó ma sát trong truyền động vít me bi là ma sát lăn.

Bảng 1. Các thông số đầu vào tính toán, chọn vít me

Trục	Z	X	Y
Khối lượng $W_z(N)$	55	100	230
Vận tốc lớn nhất khi không gia công $V_1(m/phút)$	10	10	10
Vận tốc lớn nhất khi gia công: $V_2(m/phút)$	7	7	7
Gia tốc hoạt động lớn nhất: $a(m/s^2)$	5	5	5
Thời gian hoạt động: $L_t(h)$	10000	10000	10000
Tốc độ vòng động cơ: $N_{max}(rpm)$	2000	1000	1000
Hệ số ma sát bề mặt: μ	0.1	0.1	0.1

Sau khi tính toán bước vít, lực dọc trục trung bình, tải trọng và bán kính trục vít dựa vào các thông số

đầu vào ở Bảng 1, tiến hành chọn được vít me cho từng trục như ở Bảng 2 [6].

Bảng 2. Chọn vít me cho các trục

Trục	Z	X	Y
Chiều dài (mm)	271	571	771
Đường kính (mm)	16	25	25
Bước vít (mm)	5	10	10
Hãng vít me	TBI	TBI	TBI
Mã vít me	SFNU01605-4	SFNU02510-4	SFNU02510-4

2.3. Tính toán, lựa chọn ray trượt

Hệ thống thanh trượt dẫn hướng có nhiệm vụ dẫn hướng cho các chuyển động của các trục X, Y, Z. Yêu

cầu của hệ thống thanh trượt phải thẳng, có khả năng tải cao, độ cứng vững tốt, trơn khi trượt và không có hiện tượng dính.

Bảng 3. Các thông số đầu vào tính toán, chọn ray trượt

Trục	Z	X	Y
Khối lượng: $m_1(N)$	55	200	60
Khối lượng: $m_2(N)$		30	40
Vận tốc: $v(m/s)$	0.33	0.17	0.17
Gia tốc: $a = a_1 = a_3(m/s^2)$	5	5	5
Hành trình di chuyển: $L_z = l_s(mm)$	189	489	689
Khoảng cách giữa hai con chạy cùng ray: $l_1(mm)$	80	125	70
Khoảng cách giữa hai con chạy khác ray: $l_2(mm)$	110	100	616
Khoảng cách từ tâm cụm bàn máy tới tâm vít me theo phương vuông góc với ray dẫn hướng: $l_3(mm)$	78	0	0
Khoảng cách từ tâm phi tới tâm bàn máy theo phương song song với ray dẫn hướng: $l_4(mm)$	0	0	67
Khoảng cách từ tâm trục vít me tới mặt gá đỡ trục Z: $l_5(mm)$		50	15
Khoảng cách từ tâm trục vít tới tâm động cơ trục chính: $l_6(mm)$		166	290

Sau khi chọn ray trượt để có được hệ số tải trọng tĩnh và hệ số tải trọng động, tiến hành kiểm nghiệm tải trọng trung bình, hệ số tĩnh và tuổi thọ

danh nghĩa dựa vào các thông số đầu vào ở Bảng 3. Tiến hành lựa chọn ray với các thông số như ở Bảng 4 [7].

Bảng 4. Chọn ray trượt các trục

Trục	Z	X	Y
Chiều rộng ray trượt (mm)	20	15	15
Chiều dài ray trượt (mm)	340	600	800
Hãng ray trượt	THK	PMI	PMI
Mã ray trượt	HSR20R	MSA15 S	MSA15 A

2.4. Tính toán, lựa chọn động cơ

Để thuận tiện trong việc tính toán và lựa chọn động

cơ phù hợp, ứng dụng công cụ tính của hãng FASTECH.

Bảng 5. Các thông số đầu vào tính toán, chọn động cơ

Trục	Z	X	Y
Tổng khối lượng của bàn và bàn làm việc: w (kgf)	5.5	10	23
Đường kính vít me bi: D(cm)	1.6	2.5	2.5
Tổng chiều dài vít me: L(cm)	27.1	57.1	77.1
Bước vít me: P(cm)	0.5	1	1
Chiều dài di chuyển: l(cm)	18.9	48.9	68.9
Thời gian định vị: $t_0(s)$	3	3	3
Thời gian tăng giảm tốc: $t_1(s)$	0.2	0.2	0.2
Ngoại lực: $F_e(kgf)$	0	0	0
Độ phân giải bộ mã hóa: (ppr)	6400	6400	6400
Góc lắp đặt: $\alpha(^{\circ})$	90	0	0
Tỉ số truyền: R	1	1	1
Hiệu suất bánh răng: ηR	1	1	1
Hệ số an toàn: S	2	2	2

Tiến hành nhập các thông số ở Bảng 5 vào công cụ tính toán của hãng FASTECH.

Bảng 6. Kết quả tính toán động cơ

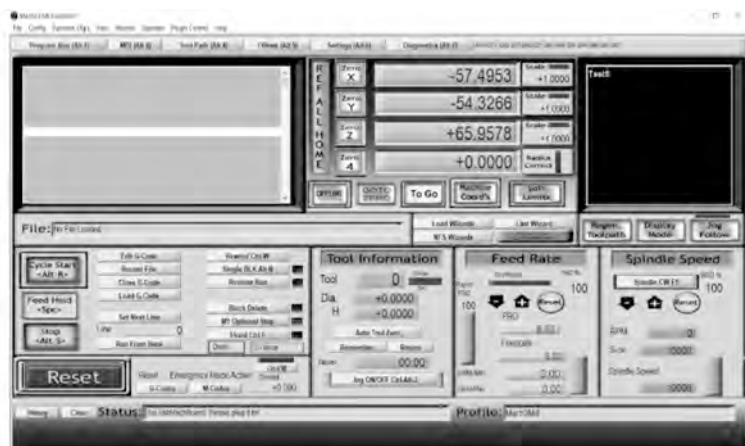
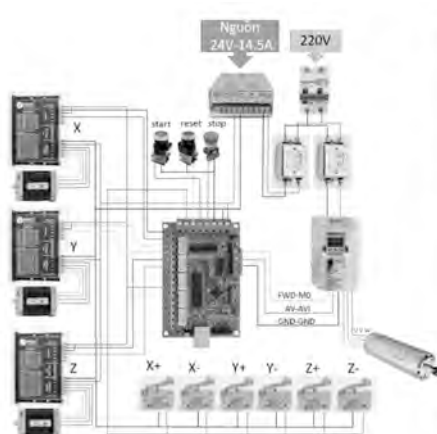
Trục	Z	X	Y
Moment: (N.m)	0.28	0.33	0.67
Tốc độ vòng quay: (vòng/phút)	810	1048	1476

Dựa vào kết quả tính toán được ở Bảng 6 tiến hành chọn động cơ của hãng Leadshine với mã 57CM23 đáp ứng được các yêu cầu đã đề ra [8].

cho máy phay CNC 3 trục

Bộ điều khiển Mach3 được ứng dụng để giao tiếp giữa máy tính và điều khiển các trục của máy phay, mạch kết nối với máy tính thông qua cổng USB sẽ dễ dàng điều khiển và sử dụng.

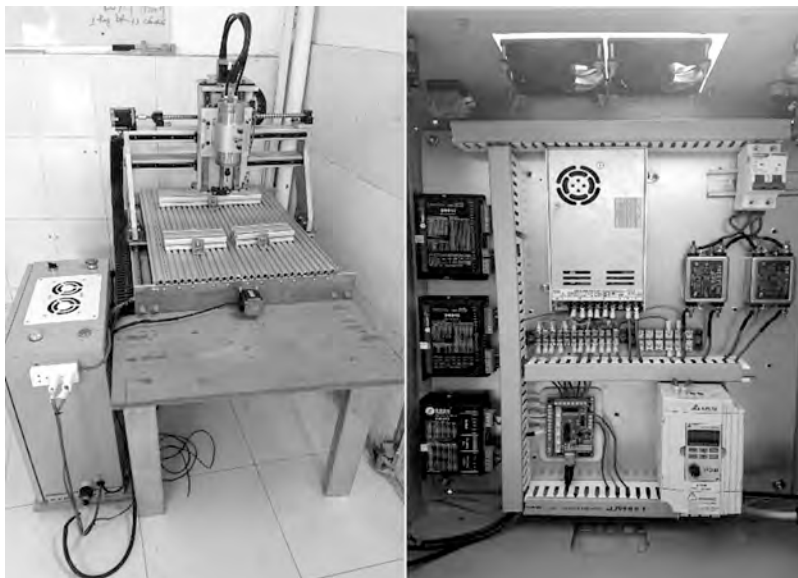
2.5. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điện và điều khiển



Hình 3. Sơ đồ điện điều khiển và giao diện Mach3

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

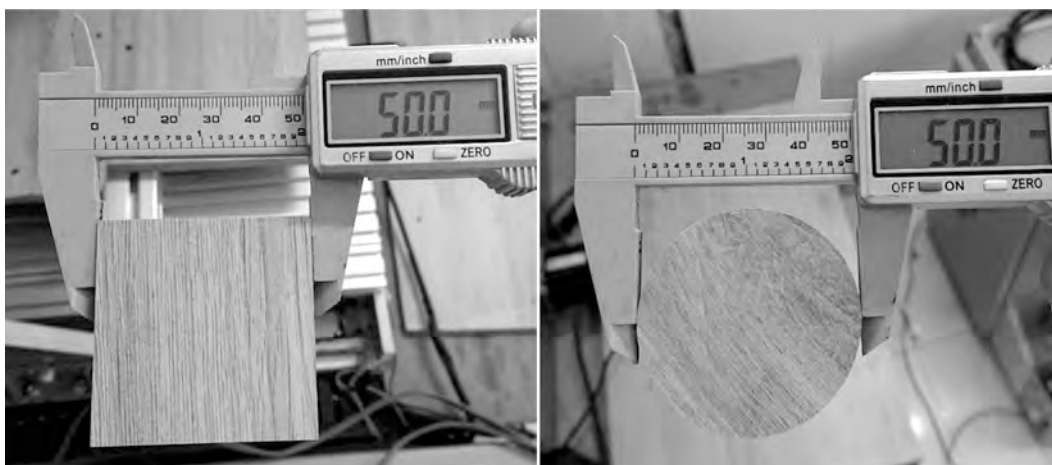
Hình 4, trình bày máy và tủ điện hoàn chỉnh sau khi được lắp ráp theo thiết kế



Hình 4. Máy và tủ điện sau khi lắp ráp hoàn chỉnh

Sau khi thực nghiệm chạy trên các vật liệu khác nhau, sử dụng dao cắt 4 me HSS chuyên dụng cho nhôm, sản phẩm cho ra với đường

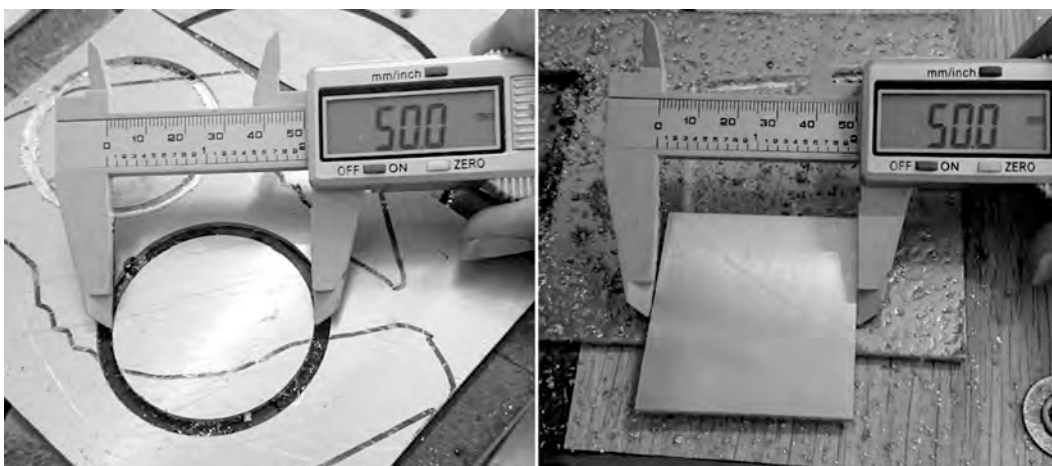
cắt mịn, phi không bị méo, kích thước các cạnh đều bằng nhau, với sai số là 0.1mm như Hình 5, 6, 7.



Hình 5. Sản phẩm gỗ hình vuông và hình tròn sau gia công



Hình 6. Sản phẩm mica hình vuông và hình tròn sau gia công



Hình 7. Sản phẩm nhôm hình tròn và hình vuông sau gia công

Bảng 7. Kết quả cắt hình tròn trên vật liệu gỗ

Lần chạy thứ	Kích thước yêu cầu (mm)	Kích thước trung bình đo thực tế (mm)
1	50	50.1
2	50	50
3	50	49.9
4	50	50.1
5	50	49.9

Trong nghiên cứu này, đã tính toán thiết kế và chế tạo thành công máy phay CNC 3 trục với kích thước hoạt động 350 mm x 600 mm x 125 mm, hoạt động ổn định

và đảm bảo đúng yêu cầu đề ra. Qua thử nghiệm thực tế máy hoạt động chính xác đến 99.8%, việc điều khiển bằng máy tính giúp điều khiển máy phay dễ dàng hơn.

Bảng 8. Kết quả cắt hình vuông trên vật liệu mica

Lần chạy thứ	Kích thước yêu cầu (mm)	Kích thước trung bình đo thực tế (mm)
1	50	50.1
2	50	50
3	50	50
4	50	49.9
5	50	50

Bảng 9. Kết quả cắt hình tròn trên vật liệu nhôm

Lần chạy thứ	Kích thước yêu cầu (mm)	Kích thước trung bình đo thực tế (mm)
1	50	49.9
2	50	50
3	50	50.1
4	50	50
5	50	49.9

Việc sử dụng tính năng CAM được tích hợp trong phần mềm Inventor đã giúp tối ưu quá trình lập trình gia công và tăng hiệu quả sản xuất. Tính năng này cung cấp khả năng xuất chương trình gia công tự động, giúp tiết kiệm đáng kể thời gian và năng lực công việc. Nhờ đó, quá trình gia công trở nên hiệu quả hơn và mang lại kết quả tốt trong quá trình sản xuất. Bộ điều khiển Mach3 hỗ trợ tối đa 5 trục chuyển

động đồng thời nên có thể thêm trục A và trục B để thực hiện gia công 5 trục, áp dụng gia công các chi tiết phức tạp.

4. KẾT LUẬN

Mô hình máy phay CNC 3 trục đã được tính toán, thiết kế và chế tạo thành công với tổng chi phí 9,800,000. Máy có độ cứng vững tương đối cao,

thẩm mỹ và độ chính xác gia công tương đối phù hợp cho học tập, nghiên cứu khoa học của giảng viên và sinh viên. Hệ thống dễ tháo lắp, kết nối với máy tính thông qua cổng USB giúp điều khiển và vận hành dễ dàng khi gia công. Ngoài ra có thể mở rộng thêm các tính năng của máy như thay dao tự động, dò dao tự động để thuận tiện trong quá trình gia công. Nghiên cứu này là quá trình tổng hợp lại

các kiến thức cơ bản từ lý thuyết thiết kế máy, tính chọn vật liệu, gia công, chế tạo, thiết kế điện và điều khiển cho máy, kết quả của nghiên cứu này có ý nghĩa thiết thực trong việc giảng dạy, đào tạo và nghiên cứu khoa học.

Từ những kết quả đã đạt được có thể phát triển thêm các tính năng để ứng dụng gần nhất với thực tế để nâng cao chất lượng trong đào tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trung tâm ADVANCE CAD, “Giới thiệu công nghệ CNC (gia công cơ khí)”, [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://advancedcad.edu.vn/gioi-thieu-cong-nghe-cnc>. [Truy cập 25/05/2022].

[2] Trường Cao Đẳng Nghề Bách Khoa Hà Nội, “Nghiên cứu Khoa học sáng tạo Bách Khoa 2018”, 15/06/2018. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.hactech.edu.vn/tin-tuc/tin-hoat-dong/chuc-mung-lcd-truong-cdnbach-khoa-ha-noi-dat-giai-tai-trien-lam-nghien-cuu-khoahoc-sang-tao-bachkhoa-2018.html>. [Truy cập 26/05/2022].

[3] P.V.Duy và Đ.P.Khanh, “Thiết kế chế tạo mô hình máy phay CNC điều khiển hai trục”, Luận văn Đại học, Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, Đà Nẵng, 2009.

[4] Đ.H.Bảo, “Thiết kế chế tạo máy phay CNC 3 trục”, Luận văn đại học, Trường Đại học Kỹ Thuật

Công Nghệ Cần Thơ, 2022.

[5] N.Đ.Lộc, L.V.Tiến, N.Đ.Tôn và T.X.Việt, “Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập 1, tập 2”, Hà Nội: xuất bản lần thứ 4, Nhà xuất bản Khoa Học Kỹ Thuật Hà Nội, 2005.

[6] T.Chất và L.V.Uyển, “Tính toán hệ dẫn động cơ khí tập 1, tập 2”, Hà Nội: xuất bản lần 6, Nhà xuất bản giáo dục, Hà Nội, 2006

[7] TBI MOTION, “TBI MOTION – General Product”, [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.technico.com>. [Truy cập 27/05/2022].

[8] FASTECH, “Công cụ tính toán động cơ bước FASTECH”, [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.fastech-motions.com/new/eng/sub0503.php>. [Truy cập 27/05/2022].

The design and fabrication of 3-axis CNC milling machine

Duong Khanh Son, Huynh Minh Vu and Dang Hoai Bao

ABSTRACT

This paper specifically reports the design and fabrication of 3-axis CNC milling machine serving study, research and training purposes. The detailed goals of the topic are produced via the investigation into domestic and overseas research situation. Calculation process and design of the model are based Autodesk Inventor software, including the selection of the spindle, screw, belt and motor as well as circuit usage conditions and circuit software, which aim to control the machine. 3-axis CNC milling machine is designed with workplace of 350mm x600mm x125mm with the error of 0.1mm. It is experimentally operated with a wide range of materials such as wood, mica and aluminum. The results show that the machine meets the study's requirements consisting of good operation, economy, easy manipulation and control.

Keywords: CNC, Mach 3 software, 3-axis milling, fabrication

Received: 24/08/2023

Revised: 24/09/2023

Accepted for publication: 25/09/2023