

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MÁY KHẮC GỖ CNC 3 TRỤC DẠNG NHỎ

DESIGN AND MANUFACTURE A MINIATURE 3-AXIS CNC WOOD ENGRAVING MACHINE

Tào Quang Bằng*, Nguyễn Hùng Di Khang, Hoàng Văn Thạnh, Lê Văn Dương

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: tqbang@dut.udn.vn

(Nhận bài: 30/11/2021; Chấp nhận đăng: 20/01/2022)

Tóm tắt - Máy khắc CNC là máy được thiết kế có tác dụng điều khiển khắc tạo ra các sản phẩm trên những chi tiết có dạng tấm như: gỗ, mica, nhựa, da... các bộ phận trong đó hoạt động tự động theo chuỗi sự kiện mà người dùng thiết lập để tạo ra các sản phẩm có hình dạng và kích thước theo yêu cầu dưới sự trợ giúp của máy tính. Sản phẩm mang tính ứng dụng cao trong công nghiệp sản xuất nhãn dán bao bì, gỗ mỹ nghệ, sản phẩm trang trí... nhằm giảm lao động thủ công và tăng năng suất lao động. Bài báo trình bày quá trình nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy khắc gỗ CNC 3 trục dạng nhỏ. Máy khắc CNC 3 trục được nghiên cứu có thể thực hiện được đa dạng các loại sản phẩm và kết hợp các công đoạn khác để tạo nên một dây chuyền sản xuất khép kín và hoàn toàn tự động. Kết quả của nghiên cứu này có ý nghĩa thiết thực trong đào tạo, làm chủ công nghệ chế tạo, số hóa quá trình sản xuất trong thời kỳ của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0.

Từ khóa - Máy khắc CNC 3 trục; Mô phỏng; máy khắc gỗ; tự động hóa.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, các sản phẩm được chế tạo từ vật liệu gỗ, nhựa, da... được sử dụng rộng rãi nhằm mục đích trang trí và phục vụ cuộc sống của con người. Nhiều máy móc, thiết bị hiện đại đã được nghiên cứu, chế tạo để gia công các sản phẩm này với chất lượng sản phẩm ngày càng cao, đồng thời giảm lao động thủ công và tăng năng suất lao động. Các sản phẩm điều khiển từ gỗ trước đây thông thường chỉ được thực hiện thủ công, phụ thuộc vào tay nghề của các nghệ nhân dẫn đến giá thành sản phẩm tạo ra cũng khá cao, năng suất khó đáp ứng khi sản lượng tăng. Vì vậy, việc cơ khí hóa và tự động hóa để phục vụ gia công các sản phẩm này là rất cần thiết [1].

Máy khắc CNC (Computerized Numeric Control) là một loại máy được thiết kế có tác dụng điều khiển khắc các chi tiết trên những chi tiết có dạng tấm như: gỗ, mica, nhựa, da... được điều khiển tự động dưới sự trợ giúp của máy tính, các bộ phận trong đó tự động lập trình để hoạt động theo chuỗi sự kiện mà người dùng thiết lập để tạo ra các sản phẩm có hình dạng và kích thước theo yêu cầu. Đây là công nghệ hiện đại nhất trong việc gia công chế tạo các sản phẩm thủ công sang sản xuất hàng loạt trong công nghiệp. Thực vậy, nhiều nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy khắc CNC đã được công bố trong những năm gần đây [2-5]. Các nghiên cứu này đã cho thấy được khả năng làm chủ công nghệ, chủ động thiết kế, sản xuất máy CNC trong nước. Các thiết kế và chế tạo máy khắc CNC 3 trục được ra đời là giải pháp hoàn hảo tạo nên nhiều ưu điểm vượt trội như sau:

Abstract - The CNC engraving machine is a machine designed with the effect of sculpting to create products on sheet-shaped parts such as wood, mica, plastic, leather, etc... The components operate automatically according to the sequence of events set up by users in order to create the required shaped and sized products with the help of a computer. The product is highly applicable for the manufacturing industry of packaging stickers, wood art, decorative products... to reduce manual labour and significantly increase labour productivity. The article presents the process of researching, designing, and manufacturing a small 3-axis CNC engraving machine. It can perform a variety of products and combine other stages to create a closed and fully automatic production line. The results of this study have a practical significance in training, mastering manufacturing technology, and digitizing the production process in the era of the industrial revolution 4.0.

Key words - 3-axis CNC engraving machine; Simulation; Wood engraving machine; Automation

- Giảm thời gian gá đặt: Việc thiết kế nhiều trục giúp việc di chuyển của cơ chấp hành có gắn dụng cụ gia công di chuyển để cắt các chi tiết nhanh hơn. Như các loại máy trước đây, với các sản phẩm khó, phức tạp sẽ cần phải có nhiều đồ gá tùy chỉnh, điều này gây mất nhiều thời gian và rất tốn kém.

- Độ chính xác cao: Trong quá trình gia công một sản phẩm bất kỳ, dù có sự chuẩn bị chu đáo thì khi phải chuyển gá cũng đều có thể xảy ra những sai lệch, những rủi ro là không thể tránh khỏi. Chính vì thế sử dụng máy 3 trục sẽ giảm được việc đổi gá, đồng thời cho tốc độ quay và tốc độ ăn dao lớn hơn tạo được tính chính xác cao.

- Chất lượng bề mặt tốt hơn: Thiết kế chuyển động theo 3 trục sẽ hạn chế được độ lệch, giảm thiểu được rung động của dao cắt đồng thời các đường cắt, đục mềm mại và tinh tế hơn. Từ đó khiến cho bề mặt sản phẩm, chi tiết sẽ tốt và đẹp hơn.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy khắc gỗ CNC 3 trục dạng nhỏ. Sản phẩm máy ra đời phù hợp với nghiên cứu chung của xã hội vì nó phục vụ đúng nhu cầu của cuộc sống, là yếu tố giúp cho người dùng tăng năng suất lao động, công nghiệp hóa quá trình gia công các sản phẩm thủ công và tiết kiệm chi phí đầu tư ban đầu. Để thực hiện nghiên cứu này, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu, áp dụng những kiến thức về cơ khí chế tạo và kỹ thuật vi điều khiển để thiết kế và chế tạo thành công máy khắc CNC 3 trục hoạt động một cách chính xác, liên tục, với tốc độ gia công thay đổi theo từng mục đích sử dụng, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đề ra.

¹ The University of Danang – University of Science and Technology (Tao Quang Bang, Nguyen Hung Di Khang, Hoang Van Thanh, Le Van Duong)

2. Nội dung

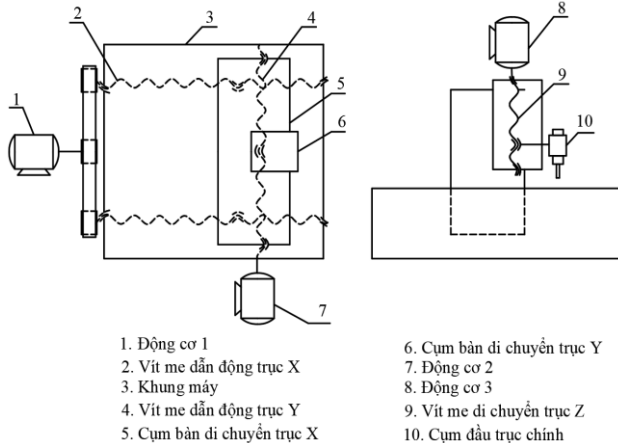
2.1. Thiết kế máy khắc CNC 3 trục

2.1.1. Yêu cầu kỹ thuật của máy thiết kế

Mục đích của nghiên cứu này là thiết kế, chế tạo máy khắc CNC 3 trục phải đảm bảo điều khắc được trên sản phẩm gỗ tẩm, được lập trình và điều khiển bởi máy tính, sản phẩm có độ tinh xảo và chất lượng cao. Hình 1 thể hiện sản phẩm mục tiêu mà máy thiết kế, chế tạo cần đạt được.



Hình 1. Sản phẩm mục tiêu của máy cần thiết kế



- 1. Động cơ 1
- 2. Vít me dẫn động trục X
- 3. Khung máy
- 4. Vít me dẫn động trục Y
- 5. Cụm bàn di chuyển trục X
- 6. Cụm bàn di chuyển trục Y
- 7. Động cơ 2
- 8. Động cơ 3
- 9. Vít me di chuyển trục Z
- 10. Cụm đầu trục chính

Hình 2. Sơ đồ động của máy thiết kế

Dựa trên yêu cầu đặt ra, máy được thiết kế với các yêu cầu kỹ thuật như sau:

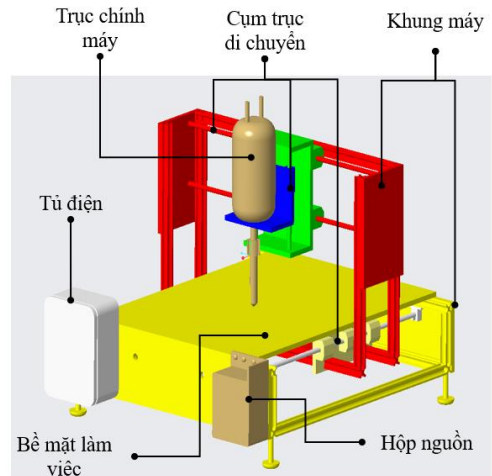
- Máy có hành trình làm việc tối đa: 500 x 500 x 100 mm

Độ cứng vững của máy phải đảm bảo cho việc gia công các vật liệu: gỗ, mica, nhựa, da...

Sự dịch chuyển theo 3 trục X, Y, Z phối hợp chuyển động cùng với tốc độ cắt của động cơ trục chính dựa vào bộ điều khiển CNC Shield + Arduino UnoR3 để tạo ra các sản phẩm có hình dạng và kích thước theo yêu cầu.

Sản phẩm gia công có dạng tấm, kích thước thay đổi linh hoạt, tối đa tương ứng với hành trình làm việc của máy.

Sau khi lựa chọn phương án thiết kế, nhóm tác giả đã thực hiện việc phác họa 3D toàn máy trên phần mềm SOLIDWORK và bố trí hoàn thiện các cụm chính của máy. Kết quả được thể hiện qua Hình 3, bao gồm các cụm chính: khung đỡ cố gắn bề mặt làm việc của máy, cụm trục dịch chuyển theo X, Y, Z, cụm trục chính mang dụng cụ cắt, tủ điện và hộp nguồn.



Hình 3. Thiết kế 3D sơ bộ của máy

2.1.2. Thiết kế kết cấu các cụm trục chuyển động

Yêu cầu của máy CNC là các cụm trục chuyển động X, Y, Z phải có độ cứng vững và khối lượng nhẹ để thuận tiện trong việc di chuyển. Trên cơ sở đó, vật liệu các cụm trục là các thanh nhôm định hình kết hợp với các tấm mica có độ dày 10mm được mô tả ở Hình 4. Các chi tiết bằng vật liệu mica được gia công bằng máy cắt laser để đảm bảo độ chính xác.

2.1.3. Tính chọn động cơ truyền động

Việc điều khiển các trục chuyển động trong máy CNC được thực hiện bằng các động cơ bước. Dựa vào kích thước của máy và điều kiện làm việc đã đặt ra ban đầu, tác giả đã chọn động cơ bước có thông số được thể hiện ở Bảng 1, và hình ảnh động cơ sử dụng được thể hiện ở Hình 4 [6-8].

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của các động cơ bước

Loại động cơ	Kích thước	Mô men xoắn	Cường độ dòng điện	Hiệu điện thế	Bước
Nema 42	42x48 mm	0,55 Nm	1,4A	4,42V	1,8°
Nema 57	55x56 mm	1,1Nm	1,9A	5V	1,8°



Hình 4. Động cơ bước size 42 và size 57 và driver tb6560

2.1.4. Thiết kế phương án truyền động cho 3 cụm trục di chuyển

Trong quá trình làm việc, máy kết hợp chuyển động của 3 trục X, Y, Z để tạo chuyển động cắt nên đòi hỏi tính ổn định và độ chính xác cao, do đó bộ truyền vít me-đai ốc là bộ truyền chuyển động cho cả 3 trục X, Y, Z được lựa chọn trong nghiên cứu này. Việc tính chọn bộ truyền vít me-đai ốc dựa vào nhiều yếu tố khác nhau: giá thành trên thị trường, thông số của động cơ bước, chế độ cắt khi gia công trên các vật liệu khác nhau... Thông số chế độ cắt khi gia công các loại gỗ thông thường được thể hiện qua Bảng 2 [9].

Bảng 2. Thông số chế độ cắt khi gia công cắt gỗ

Chiều sâu cắt t (mm)	Vận tốc cắt V (m/ph)	Vận tốc đẩy F (mm/phút)
0,5	18	≤ 330
1,0	18	≤ 315
1,5	18	≤ 275
0,5	22	≤ 340
1,0	22	≤ 330
1,5	22	≤ 310
0,5	26	≤ 350
1,0	26	≤ 340
1,5	26	≤ 335

Dựa vào những số liệu ở bảng trên, kết hợp với thực tế thị trường thì có 2 loại bộ truyền vít me đáp ứng được yêu cầu đề ra đó là bộ truyền vít me T8 (bước 8mm) và T2 (bước 2mm), để tiết kiệm chi phí và đảm bảo khả năng hoạt động của máy tác giả đã chọn bộ truyền vít me T2, được thể hiện trên Hình 6.

**Hình 5.** Bộ truyền vít me- đai ốc T2

Ngoài ra, ta cần có các trụ dẫn hướng để đảm bảo độ chính xác, độ cứng vững khi di chuyển, tốc độ di chuyển.

2.1.5. Tính chọn động cơ trực chính (động cơ phay)

Dựa vào Bảng 2, thông số chế độ cắt khi gia công các loại gỗ thông thường, Với chiều sâu cắt là 0,5 ÷ 1,5 mm, tốc độ cắt là 26 m/ph, số vòng quay của động cơ được tính như sau [6-8]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 26}{3 \cdot \pi} \approx 3000 (\text{vòng/phút})$$

Trong đó:

- n: Số vòng quay trực chính (vòng/phút);
- D: Đường kính dao (mm);
- V: Vận tốc cắt (m/ph).

Thông qua kết quả tính được, chọn được động cơ có công suất và số vòng quay phù hợp là động cơ 775, kết hợp với module điều khiển tốc độ 0÷12000 (vòng/ phút), công suất định mức 150W, được thể hiện ở Hình 6.

**Hình 6.** Động cơ 775

2.2. Thiết kế hệ thống điều khiển và phần mềm điều khiển

2.2.1. Hệ thống điều khiển

Hệ thống điều khiển máy CNC là bộ não của toàn máy, là nơi điều khiển tất cả các hoạt động của máy thông qua các chương trình điều khiển được thiết lập trên máy tính. Các thành phần cơ bản của một hệ điều khiển máy CNC được áp dụng cho máy khắc CNC 3 trục được thể hiện trên Hình 7.

**Hình 7.** Hệ thống điều khiển máy

Hệ thống điều khiển máy CNC trên Hình 7 có thể chia ra thành 4 khối chính:

- Khối nguồn: Có chức năng cung cấp năng lượng cho toàn hệ thống máy CNC bao gồm bo mạch chủ, các hệ thống động cơ bước và các cơ cấu chấp hành, động cơ trực chính, công tắc, rơ le...

- Khối đầu vào: Bao gồm các chương trình G-code được lập trình trên các phần mềm CAD-CAM trên máy tính và các thông tin thiết lập ban đầu trên phần mềm điều khiển (firmware setting, sender setting, G-code professor configuration...), các nút bấm, công tắc, biến trở, module điều khiển bằng tay.

- Khối xử lý trung tâm: Sử dụng vi điều khiển Arduino Uno R3+ CNC shield, thực hiện chức năng tiếp nhận và thực thi các chương trình G-code được nạp trực tiếp từ máy tính thông qua phần mềm điều khiển và xuất tín hiệu ra các chân xung, các tín hiệu đầu ra để điều khiển các driver động cơ bước, động cơ trực chính và các cơ cấu chấp hành khác.

- Khối đầu ra bao gồm: 3 động cơ bước trên ba trục chuyển động X, Y, Z động cơ trực chính, các đèn tín hiệu hiển thị trên các thiết bị hoạt động.

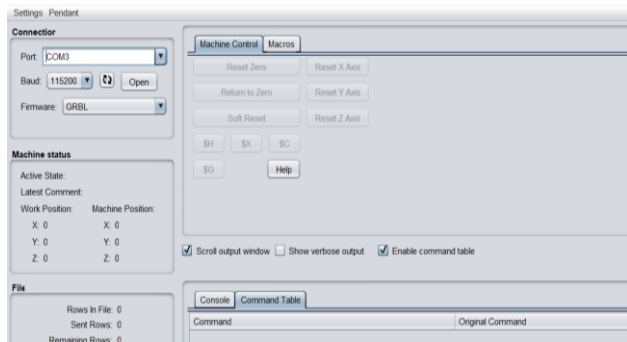
2.2.2. Phần mềm điều khiển máy

Với sự phát triển của công nghệ phần mềm hiện nay, có rất nhiều phần mềm điều khiển khác nhau cho máy CNC, tùy thuộc vào bộ điều khiển và mã nguồn mà bộ điều khiển đó sử dụng. Trong bài báo này, tác giả dùng bộ điều khiển trung tâm là Arduino Uno R3+CNC shield, bộ điều khiển này sử dụng được với các chương trình lập trình bằng tay trên ngôn ngữ C do người lập trình sáng tạo ra và các mã nguồn mở được phát triển để áp dụng cho các mục đích vận hành riêng biệt.

Mã nguồn GRBL được tổ chức dịch vụ quản lý server GITHUB lưu trữ và phát triển qua nhiều phiên bản khác nhau bởi các nhà lập trình viên trên toàn thế giới, phù hợp cho các chương trình điều khiển CNC trên các bộ điều khiển Arduino nói chung và Arduino Uno R3+ CNC Shield nói riêng. GRBL có ưu điểm dễ sử dụng, linh hoạt, tương

thích tốt với các bộ điều khiển dòng chíp AT mega 328... tốc độ Braud rate cao: 115200, cho khả năng xử lý các dòng code chính xác, nhanh chóng. Nhược điểm là người dùng khó can thiệp và cá nhân hóa phần mềm nếu thiếu kiến thức về lập trình, khó áp dụng cho các loại máy CNC chuyên biệt ở mức độ chính xác cao hơn.

Có nhiều chương trình điều khiển áp dụng mã nguồn GRBL để điều khiển máy CNC và tác giả đã chọn chương trình Universal G-code Sender để điều khiển máy CNC. Universal G-code Sender là một phần mềm chạy trên nền Java và nền tảng Win64bit, nó có nhiều tính năng dễ sử dụng và phù hợp với các máy CNC cỡ nhỏ, giao diện hiển thị của chương trình được thể hiện trên Hình 8.



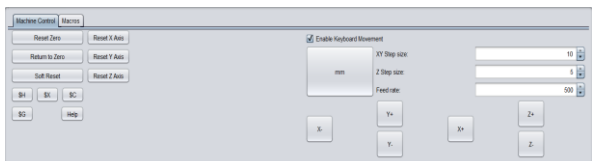
Hình 8. Giao diện phần mềm Universal G-code Sender

Để thiết lập các thông số phù hợp cho máy CNC, đầu tiên ta phải kết nối với bo mạch điều khiển Arduino, dùng phần mềm Arduino để nạp code GRBL. Để vận hành máy, phải kết nối phần mềm Universal G-code Sender với Arduino + CNC Shield và nhấn Open. Thiết lập các thông số trong mục Firmware setting để cài đặt thông số phù hợp cho máy, chi tiết được thể hiện như Hình 9.

Setting	Value	Description
\$0	10	Step pulse time
\$1	25	Step idle delay
\$2	1	Step pulse invert
\$3	0	Step direction invert
\$4	0	Invert step enable pin
\$5	0	Invert limit pins
\$6	0	Invert probe pin
\$10	1	Status report options
\$11	0.010	Junction deviation
\$12	0.002	Arc tolerance
\$13	0	Report in inches
\$20	0	Soft limits enable
\$21	0	Hard limits enable
\$22	0	Homing cycle enable
\$23	0	Homing direction invert
\$24	400.000	Homing locate feed rate
\$25	1000.000	Homing search seek rate
\$26	250	Homing switch debounce delay
\$27	1.000	Homing switch pull-off distance
\$100	1600.000	X-axis travel resolution
\$101	1600.000	Y-axis travel resolution
\$102	1600.000	Z-axis travel resolution
\$110	1000.000	X-axis maximum rate
\$111	1000.000	Y-axis maximum rate
\$112	1000.000	Z-axis maximum rate
\$120	300.000	X-axis acceleration
\$121	400.000	Y-axis acceleration
\$122	50.000	Z-axis acceleration
\$130	400.000	X-axis maximum travel
\$131	400.000	Y-axis maximum travel
\$132	150.000	Z-axis maximum travel

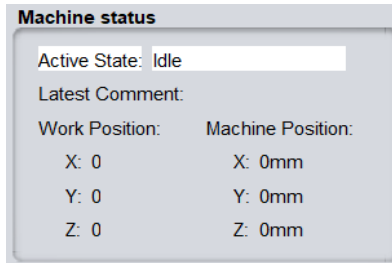
Hình 9. Thông số cài đặt cho máy-firmware setting

Trên giao diện kết nối, có thể điều khiển các hướng chuyển động trực trên máy CNC thông qua các nút nhấn như Hình 10.



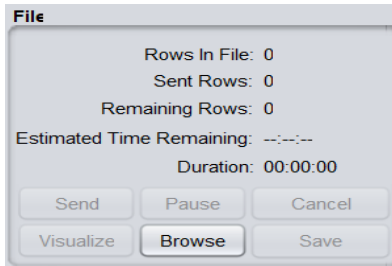
Hình 10. Điều khiển hướng chuyển động của máy

Trên menu Machine status hiển thị tọa độ làm việc của máy khi hoạt động (Hình 11).



Hình 11. Tọa độ làm việc của máy.

Menu File có chức năng chọn file G-code đã xuất ra từ phần mềm CAD-CAM có sẵn trong máy tính để thực hiện gia công và tính toán chính xác thời gian gia công theo từng chi tiết khác nhau, được thể hiện như Hình 12.



Hình 12. Chọn file gia công trên máy.

3. Kết quả và bàn luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã tính toán, thiết kế và chế tạo thành công máy khắc CNC 3 trục dạng nhỏ hoạt động ổn định và đảm bảo đúng theo các yêu cầu đề ra. Qua thử nghiệm thực tế thì máy hoạt động đạt hiệu suất làm việc 95%, phần còn lại chưa đạt vì lý do sai số chế tạo cũng như đang trong giai đoạn chạy thử nghiệm. Máy thiết kế, chế tạo và các sản phẩm gia công từ máy này được thể hiện trên Hình 13.



(a)



(b)

Hình 13. Máy khắc gỗ CNC 3 trục (a) và các sản phẩm gia công (b)

Sản phẩm được máy có thể sử dụng với nhiều mục đích khác nhau như: Làm nhãn dán, tranh ảnh, với độ chính xác cao. Ngoài ra, máy chế tạo có thể mở rộng phạm vi ứng dụng đối với những sản phẩm có kích thước và khối lượng lớn hơn, khi đó cần gia cố bàn máy và các cơ cấu chuyển động vững chắc hơn, tăng hành trình làm việc của máy thông qua tăng kích thước máy và hành trình máy đã setup trên phần mềm của máy, thay đổi các động cơ, bộ truyền chuyển động có công suất cao hơn.

Bộ điều khiển Arduino+ CNC Shield hỗ trợ tối đa 4 trục chuyển động đồng thời nên ta có thể lắp thêm một trục A thứ 4 vào máy để thực hiện gia công 4 trục, áp dụng cho các chi tiết hình trụ gia công trên mâm cặp. Ngoài ra, bộ điều khiển Arduino+ CNC Shield có sẵn chân Z+ là chân xung PWM để điều khiển tín hiệu Spindle/Laser do đó ta chỉ cần lắp thêm đầu Laser vào trục Z và nối vào chân Z+ thì máy khắc CNC 3 trục đã trở thành máy khắc Laser, có thể đáp ứng 100% các tiêu chí cần có của một máy Laser hoàn thiện.

Trên cơ sở của nghiên cứu này có thể phát triển thành máy đảm bảo đầy đủ các chức năng và hiệu suất máy để hoạt động trong môi trường sản xuất công nghiệp cũng như nhỏ, lẻ. Máy khắc CNC 3 trục hoàn toàn có thể kết hợp với cái hệ thống máy khác để tạo thành một dây chuyền sản xuất tự động khép kín trong sản xuất dân dụng và công nghiệp.

4. Kết luận

Máy khắc CNC 3 trục dạng nhỏ đã được nhóm tác giả tính toán, thiết kế và chế tạo thành công. Qua quá trình vận hành thử cho thấy, máy hoạt động ổn định và hiệu suất cao để gia công ra các sản phẩm đạt yêu cầu. Ngoài ra, có thể mở

rộng thêm công năng của máy và các yêu cầu khác khi thực hiện các dạng sản phẩm khác nhau. Nghiên cứu này là quá trình tổng hợp lại các kiến thức cơ bản từ vật liệu, thiết kế máy, chế tạo, lập trình và điều khiển máy, kết quả của nghiên cứu có ý nghĩa thiết thực nhằm phục vụ giảng dạy, nghiên cứu khoa học tại các trường đại học, viện nghiên cứu. Từ máy dạng nhỏ này có thể phát triển thành máy sản xuất công nghiệp, kết hợp với các máy khác để tạo thành một chu trình khép trình với quy mô sản xuất hàng loạt lớn, ứng dụng số hóa trong sản xuất công nghiệp thời đại 4.0.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Phương, Nguyễn Thị Hương Giang, *Cơ sở tự động hóa trong ngành cơ khí*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2005.
- [2] Hoàng Ngọc Hải, “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy khắc laser”, *Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ V - VCME 2018*.
- [3] Trần Xuân Tuyền, Nguyễn Thanh Hải, “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy khoan CNC”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Số 6(35), 2009, 67-72.
- [4] Hoàng Việt, “Xác lập thông số công nghệ gia công vật liệu gỗ trên máy CNC mã hiệu Shirline 2010”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 02/2015.
- [5] Bùi Thanh Luân, Nguyễn Đoàn Hải, “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy khắc đá CNC 3 trục”, *Kỷ yếu Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí – Lần thứ IV*, 2020.
- [6] Nguyễn Văn Yên, Vũ Thị Hạnh, *Cơ sở thiết kế máy*, NXB Xây Dựng, 2015.
- [7] Nguyễn Trọng Hiệp, *Chi tiết máy 1 & 2*, NXB Giáo Dục, 2006.
- [8] Trịnh Chất, Lê Văn Uyển, *Tính toán thiết kế Hệ thống dẫn động cơ khí, tập 1*, NXB Giáo dục, 2006.
- [9] Trần Văn Địch, *Giáo trình Công nghệ CNC*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 2004.