

TÍNH TOÁN – THIẾT KẾ - CHẾ TẠO MÁY CNC 4D CHUYÊN GIA CÔNG “LỘC BÌNH” VỚI KÍCH THƯỚC LỚN

CALCULATING – DESIGNING - MANUFACTURING 4D CNC MACHINES IN OUTSOURCING LARGE-SIZED FORTUNE VASES

Nguyễn Quốc Hưng, Nguyễn Thanh Sơn, Đào Quốc Thịnh,
Nguyễn Quang Thành, Phạm Bảo Toàn

Phòng Thí nghiệm Cơ học Ứng dụng, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia
TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Sự xuất hiện của các máy CNC đã nhanh chóng thay đổi việc sản xuất công nghiệp. Các đường cong được thực hiện dễ dàng như đường thẳng, các cấu trúc phức tạp 3 chiều cũng dễ dàng thực hiện, và một lượng lớn các thao tác do con người thực hiện được giảm thiểu. Việc gia tăng tự động hóa trong quá trình sản xuất với máy CNC, tạo nên sự phát triển đáng kể về chính xác và chất lượng. Kỹ thuật tự động của CNC giảm thiểu các sai sót và giúp người thao tác có thời gian cho các công việc khác. Ngoài ra, còn cho phép linh hoạt trong thao tác các sản phẩm và thời gian cần thiết cho thay đổi máy móc để sản xuất các linh kiện khác. Bài báo trình bày quy trình thiết kế chế tạo máy CNC 4D chuyên gia công các chi tiết lộc bình. Kết quả cho thấy, khả năng chủ động chế tạo máy CNC 4D tại Việt Nam.

Từ khóa: Máy CNC 4D; Vận tốc; Gia tốc; Ứng suất cho phép; Trục xoắn.

ABSTRACT

The appearance of CNC machines have quickly changed the industrial manufacture. All curves are easily made such as straight lines and 3-dimensional complicated structures are also easily made, a large number of people's actions are accordingly minimized. Increasing automation during the production process towards CNC machines has already created a significant development in terms of accuracy and quality. Automated technologies of CNC machines help to minimize many errors and help users have more time for other tasks. In addition, they allow users to be flexible in operating products and necessary time for changing machines to manufacture more other spare parts. This article is to present the designing and manufacturing process of 4D CNC machines, specializing in making parts for fortune vases. The findings show the initiative possibility to make 4D CNC machines in Vietnam.

Keywords: 4D CNC machines; speed; acceleration; allowed stress, rotation axe.

1. GIỚI THIỆU

Ngành Công nghiệp chế tạo và sử dụng máy CNC ngày càng phát triển, sự đa dạng và độ chính xác của sản phẩm ngày càng được nâng cao. Do đó, máy CNC vẫn ngày càng phát triển nâng cao vai trò của mình trong lĩnh vực sản xuất và giữ vững những vai trò cơ bản quan trọng đã đưa máy CNC trở thành một phần không thể thiếu trong sản xuất công nghiệp. Đầu tiên là khả năng tự động hóa sản xuất. Máy CNC không chỉ quan trọng trong ngành Cơ khí mà còn trong nhiều ngành khác như: May mặc, giày dép, điện tử v.v. Bất cứ máy CNC nào cũng cải thiện trình độ tự động hóa của doanh nghiệp: Thao tác của người vận hành ít, thậm chí không còn phải can thiệp vào hoạt động của máy. Sau khi nạp chương trình gia công, nhiều máy CNC có thể tự động chạy liên tục cho tới khi kết thúc và như vậy, giải phóng nhân lực cho công việc khác. Máy ít xảy ra hỏng hóc do lỗi vận hành, thời gian gia công được dự báo chính xác, người vận hành không đòi hỏi phải có kỹ năng thao tác (chân tay) cao như điều khiển máy công cụ truyền thống.

Tại Việt Nam, máy CNC được sử dụng rộng rãi nhằm phục vụ cho sự phát triển của nền kinh tế. Tuy nhiên, các máy CNC đang sử dụng trong nước đa phần nhập từ nước ngoài, nên giá thành cao và công tác bảo trì rất hạn chế. Vì thế, nó đã tạo nên những hạn chế nhất định trong việc áp dụng công nghệ gia công chính xác cao trong công nghiệp [1], [6-8], [9-11].

Để giải quyết vấn đề phải chế tạo thành công các máy CNC công nghiệp ngay tại Việt Nam, nhằm phục vụ cho quá trình sản xuất. Các trung tâm nghiên cứu, các nhà khoa học đã có những bước tiến nhất định trong lĩnh vực nghiên cứu và chế tạo máy CNC trong nước.

Một số đề tài về máy CNC được quan tâm đến là:

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy CNC băng nghiêng thay dao tự động: Sau quá trình nghiên cứu và tính toán, PGS, TS. Vũ Hoài Ân cùng cộng sự đã chế tạo thành công máy tiện TN25- CNC băng nghiêng thay dao tự động.

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bàn máy CNC 2D dẫn động bằng đai (TS. Phạm Công Bằng- 9/2013): Đây là đề tài của Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh đặt hàng và nghiệm thu tháng 9/2014, kết quả là chế tạo thành công bàn máy CNC 2D dẫn động bằng đai.

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo trung tâm tiện, phay CNC tích hợp (TS. Nguyễn Tiến Đông): Tạo ra được mô hình máy CNC tiện, phay tích hợp, đường kính có thể tiện được từ 100 đến 800 mm, độ chính xác vị trí không tải 0,005 mm, hệ thống thay dao tự động, ổ dao từ 4 đến 16. Tốc độ di chuyển nhanh trên 15m/phút.

Nghiên cứu, chế tạo máy đột tự động CNC (TS. Nguyễn Đắc Trung): Chế tạo được máy đột với tốc độ lớn nhất từ 60 đến 300 nhát/phút, kích thước tấm thép đột, dập được từ 1000 đến 4000 mm.

Nghiên cứu, chế tạo trung tâm gia công phay ngang tự động CNC 4 trục (TS. Hoàng Vĩnh Sinh): Chế tạo được mô hình máy, độ chính xác vị trí không tải 0.005 (mm), hệ thống thay dao tự động từ 16 đến 32, tốc độ di chuyển nhanh trên 10m/ phút.

Nghiên cứu thiết kế chế tạo các bộ điều khiển số (CNC) thông minh và chuyên dụng cho các hệ thống và quá trình phức tạp (TS. Thái Thị Thu Hà - 2006): Sản phẩm của đề tài

là mô hình máy CNC 3 trục với bộ điều khiển thông minh, mô hình điều khiển tổng quát, mô hình Hexapod, hệ thống định lượng nhiều thành phần, bộ điều khiển cải tiến hệ thống định lượng vít.

Sau quá trình nghiên cứu và tìm hiểu về máy CNC, nhóm tác giả nhận ra được tầm quan trọng của máy CNC đối với việc gia công sản xuất các chi tiết đòi hỏi sự chính xác cao hoặc các chi tiết mỹ nghệ đòi hỏi sự tinh xảo. Với mục tiêu đặt ra của nhóm nghiên cứu là có thể gia công được các sản phẩm cơ khí chuyên dụng như bánh răng, trục côn... và tranh gỗ nên nhóm quyết định chọn đề tài là chế tạo máy CNC 4 trục và dao ngang và máy thuộc dạng Router. Vì máy CNC 4 trục dạng Router có độ linh hoạt, cũng như độ cứng vững khi gia công tương đối cao, do bàn gia công được đặt cố định.

2. TÍNH TOÁN VÀ LỰA CHỌN CÁC CHI TIẾT

2.1. Xác định kích thước, khối lượng và chi tiết máy của mô hình [2,3,4]

Theo sơ đồ động học ở H, ta thiết kế mô hình cá CNC 4 trục dao ngang trên phần mềm SolidWorks 2016 (hình 3.14), ta xác định được các thông số cơ bản sau:

Kích thước tổng thể của mô hình: 845x790x1500 mm.

Hành trình các trục:

- Trục tịnh tiến 1 – trục: 450 mm.
- Trục tịnh tiến 2 – Trục: 200 mm.
- Trục tịnh tiến 3 – Trục: 1200 mm.
- Trục quay 4 – Quay 360° quanh trục

tâm của nó.

2.2. Tính toán và lựa chọn một số chi tiết cho bộ truyền động

Khâu 1:

Vật liệu của trục là thép C45. Ứng suất cho phép, xác định ứng suất kéo nén cho phép:

$$[\sigma_n] = [\sigma_k] = \frac{[\sigma_{ch}]}{3} = \frac{650}{3} = 217 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Ta giả sử trọng lượng của khâu 1 là 95 kg, vậy $G = 950(N)$.

$$\Rightarrow Q_1 = kP_1 + \mu(P_1 + 2P_1 + G) \Rightarrow Q_1 = 1,4.68.43775 + 0,2.(343.375 + 2.171.6875 + 950) = 423,16$$

Xác định sơ bộ đường kính trong của ren theo độ bền kéo nén:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4,1,3.F_a}{\pi.[\sigma]}} = 17,965 \text{ (mm)}. \quad (2)$$

Ta chọn $d_1 = 20$ (mm), vậy ta chọn trục vitme đường kính 20 mm, bước 10 mm, các thông số của trục vitme. Đường kính bi:

$$d_{b1} = 0,11.d = 0,11.20 = 2,2 \text{ (mm)} \quad (3)$$

Bước vít:

$$p_1 = d_b + 1 = 2,2 + 1 = 3,2 \text{ (mm)} \quad (4)$$

Hiệu suất biến đổi chuyển động quay thành tịnh tiến:

$$\eta_1 = \frac{\tan(\gamma_1)}{\tan(\gamma_1 + \phi_1)} = \frac{\tan(2,59)}{\tan(2,59 + 0,0405)} = 0,985 \quad (5)$$

Để hạn chế các dạng hỏng nêu trên, người ta tính bền toàn bộ truyền vít đai ốc theo các chỉ tiêu sau:

$$F_a \leq [F_a]; \sigma_{td} \leq [\sigma_{td}]; p \leq [p].$$

☞

Trong đó: F_a là lực dọc trục tác dụng lên trục vít, $[F_a]$ là lực dọc trục cho phép, σ_{td} là ứng suất sinh ra trên tiết diện chân ren, có đường kính d_1 của vít, $[\sigma_{td}]$ là ứng suất cho phép, p là áp suất trên bề mặt tiếp xúc của ren, $[p]$ là áp suất cho phép. Kiểm tra điều kiện ổn định.

Xác định lực dọc trục cho phép theo công thức: $[F_{a1}] = \frac{\pi^2 EJ}{S(\mu l_{12})^2}$ (3.30), với: E là mô đun đàn hồi của thép chế tạo trục vít, $R=2,1 \cdot 10^{11}$ (N/m²), J là mô đun quán tính của tiết diện ren $J = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot (20 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 7,86 \cdot 10^{-9}$ (m⁴), S hệ số an toàn $S = 2,5 \div 4$. Chọn $S = 2,5$, μ là hệ số liên kết của trục vít: $\mu = 1$, l_{12} là chiều dài tính toán ổn định, bằng chiều dài của ren-vít giữa hai ổ lăn $l_{12} = 0,6$ (m).

$$[F_a] = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,86 \cdot 10^{-9}}{2,5 \cdot (0,6)^2} = 18100,9 \text{ (N)}$$

Ta thấy, $F_{a2} = 358,36285 < [F_{a2}] = 18100,9$. Vậy, trục vít 1 thỏa điều kiện ổn định.

Xác định ứng suất pháp do lực dọc trục F_a gây ra:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_{a1}}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 423,16}{\pi (20 \cdot 10^{-3})^2} = 1,35 \text{ (MPa)} \quad (6)$$

Xác định ứng suất tiếp do moment xoắn gây ra:

$$\tau = \frac{T}{0,2 \cdot d_1^3} = \frac{F_a \cdot \tan(\gamma + \varphi) \cdot (d_1 + d_2)}{4 \cdot 0,2 \cdot d_1^3} = \frac{423,16 \cdot \tan(2,59 + 0,0405) \cdot (20 + 21,408)}{4 \cdot 0,2 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^3} = 125,785 \text{ (MPa)}$$

Theo thuyết bền Morh:

$$\sigma_{td} = \sqrt{125,785^2 + 3 \cdot 1,35^2} = 125,8 \text{ (MPa)} \quad (7)$$

Ta thấy: $\sigma_{td} = 125,8 < [\sigma] = 217$. Vậy,

trục vít 1 thỏa điều kiện bền nén.

Xác định áp suất trung bình giữa các bề mặt làm ren vít và đai ốc:

$$p = \frac{4 \cdot K \cdot F_a}{\pi (d_2 + d_{n2})^2 \psi_h \psi_H} = \frac{4 \cdot 1,25 \cdot 423,16}{\pi (20 + 21,408)^2 \cdot 0,5 \cdot 1,2} = 0,655 \text{ (MPa)} \quad (8)$$

Trong đó: K là hệ số tải trọng, $K = 1,25$; với vật liệu là thép không tôi- gang GX18, GX21 $[p]=5$ (MPa), ψ_h là hệ số chiều cao ren, $\psi_h = 0,5$; ψ_H là hệ số chiều cao đai ốc, $\psi_H = 1,2$; Vậy $p = 0,655 < [p] = 5$. Vậy, trục vít 1 thỏa điều kiện bền mòn.

Khâu 2:

Trọng lượng của trục xoay 4 phải chịu bao gồm: Khối lượng gá cặp dao: $m = 7$ (Kg), trọng lượng gá cặp là 700 (N); Tốc độ vòng lớn nhất của cơ cấu chấp hành được chọn là $n_{s2} = 100$ (v/p); Trục được dẫn động trực tiếp từ động cơ qua hộp giảm tốc, nên chỉ hao tổn qua ổ lăn là:

$$\eta_{ol} = 0,995, \text{ ta có hai ổ lăn tại 2 đầu trục}$$

$$\eta_2 = \eta_{ol2}^2 = 0,995^2 = 0,99$$

Lực chạy dao:

$$Q_2 = kP_2 + \mu(P_2 + 2P_3 + G) = 1,4 \cdot 68,43775 + 0,2 \cdot (343,375 + 2 \cdot 171,6875 + 70) = 247,16285$$

Công suất động cơ:

$$N_2 = \frac{M \cdot n_1}{1020 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{Q_2 \cdot r_2 \cdot n_{s2}}{1020 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{247,16285 \cdot 0,02 \cdot 100}{1020 \cdot 60 \cdot 0,99} = 0,0082 \text{ (kW)} \quad (9)$$

Moment xoắn :

$$T_2 = \frac{N_2 \cdot 9,55 \cdot 10^3}{n_{ns2}} = \frac{0,0082 \cdot 9,55 \cdot 10^3}{100} = 0,78 \text{ (Nm)} \quad (10)$$

Do ta thực hiện mô hình nhỏ lại dùng hộp giảm tốc nên ta dùng thép C45 có các thông số. Ứng suất giới hạn bền $\sigma_b = 850$ (MPa)

và giới hạn chảy $\sigma_{ch} = 650$ (MPa). Ứng suất xoắn giới hạn: Trục xoay này được dẫn động trực tiếp từ động cơ, nên ta xem nó là trục và ra $[\tau] = 200$ (MPa).

Đường kính sơ bộ của trục:

$$d_{02} \geq \sqrt[3]{\frac{T_4}{0,2[\tau]}} = 11,8 \text{ (mm)} \quad (11)$$

Vậy, ta chọn đường kính sơ bộ của trục 2 là $d_{02} = 12$ (mm).

Khâu 3:

Vậy, vật liệu của trục là thép C45. Ứng suất cho phép $\sigma_{ch} = 45$ (MPa). Xác định ứng suất kéo nén cho phép:

$$[\sigma_n] = [\sigma_k] = \frac{[\sigma_{ch}]}{3} = \frac{650}{3} = 217 \text{ (MPa)} \quad (12)$$

Ta giả sử trọng lượng của khâu 3 là 30,5 kg, vậy $G = 305$ (N).

$$\Rightarrow Q_1 = kP_1 + \mu(P_1 + 2P_2 + G) \Rightarrow Q_1 = 1,4.68.43775 + 0,2.(343.375 + 2.171.6875 + 305) = 294,16285$$

Xác định sơ bộ đường kính trong của ren theo độ bền kéo nén:

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4,1,3.F_{a3}}{\pi.[\sigma]}} = 21,5 \text{ (mm)} \quad (13)$$

Ta chọn $d_3 = 25$ (mm).

Hiệu suất biến đổi chuyển động quay thành tịnh tiến:

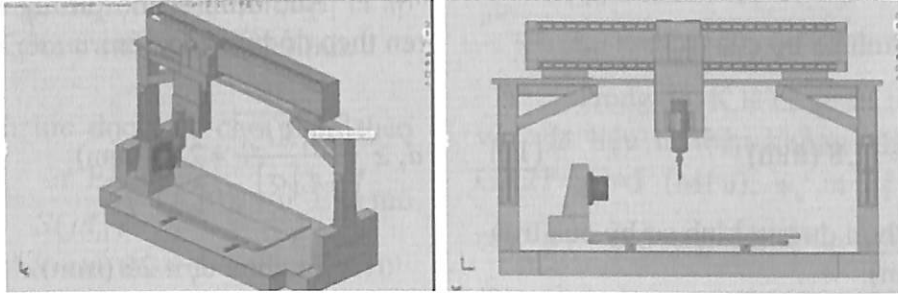
$$\eta_3 = \frac{\tan(\gamma_3)}{\tan(\gamma_3 + \phi_3)} = \frac{\tan(2,52)}{\tan(2,52 + 0,032)} = 0,987 \quad (14)$$

Bảng 1. Thông số trục vít me khâu 1,2,3 (đơn vị: mm):

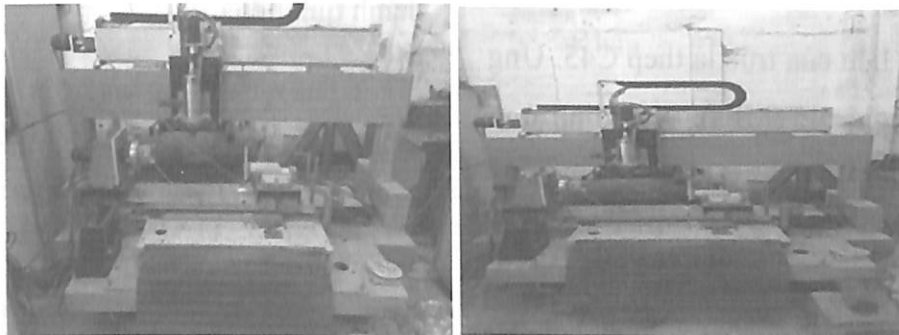
Trục	Trục vít 1	Trục vít 3	Trục vít 4
Đường kính trong	20	25	20
Đường kính bi	2,2	2,75	2,2
Bước vít	3,2	3,75	3,2
Khoảng cách từ rãnh lẩn đến tâm bi	0,43	0,39	0,43
Đường kính vòng tròn qua các tâm bi	22,534	27,08	22,534
Đường kính trong của đai ốc	25,068	29,16	25,068
Chiều sâu profin ren	0,704	0,88	0,704
Đường kính ngoài của vít	21,408	26,76	21,408
Đường kính ngoài của đai ốc	23,66	27,4	23,66
Góc vít	2,59°	2,844°	2,59°
Số bi trên các vòng răng	63,36	60,87	63,36
Khe hở tổng cộng giữa các viên bi	1,76	2,2	1,76
Khe hở hướng tâm	0,688	1,34	0,688
Khe hở tương đối	0,0334	0,0536	0,0334
Góc ma sát lẩn thay thế	0,0405	0,032	0,0405
Hiệu suất biến đổi chuyển động quay thành tịnh tiến	0,985	0,987	0,985

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

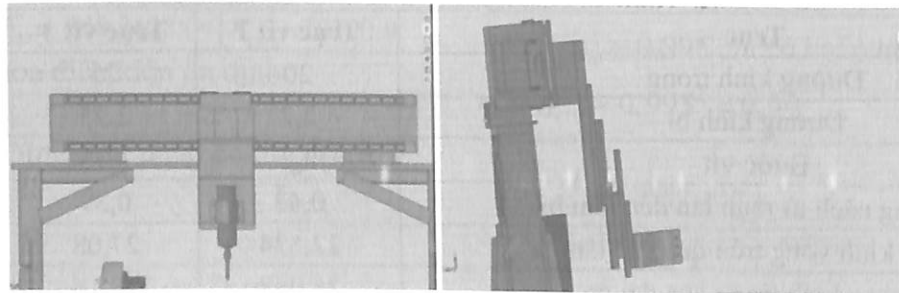
3.1. Mô phỏng khung máy và chế tạo



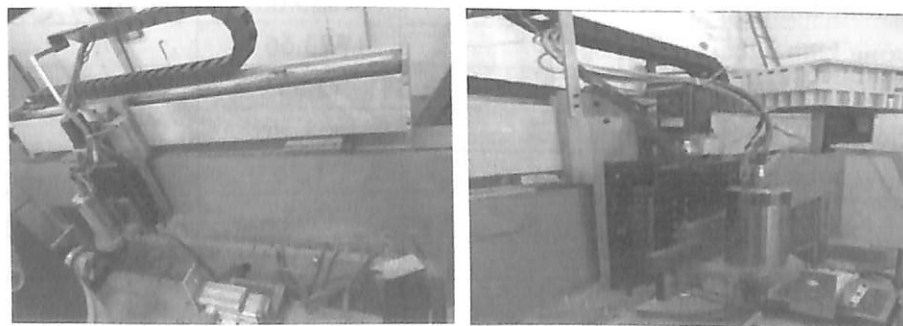
Hình 1. Hình chiếu tổng thể của mô hình máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình



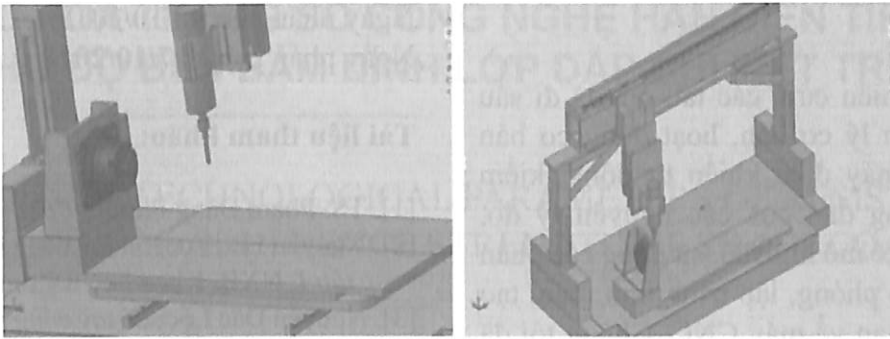
Hình 2. Hình chiếu tổng thể của máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình



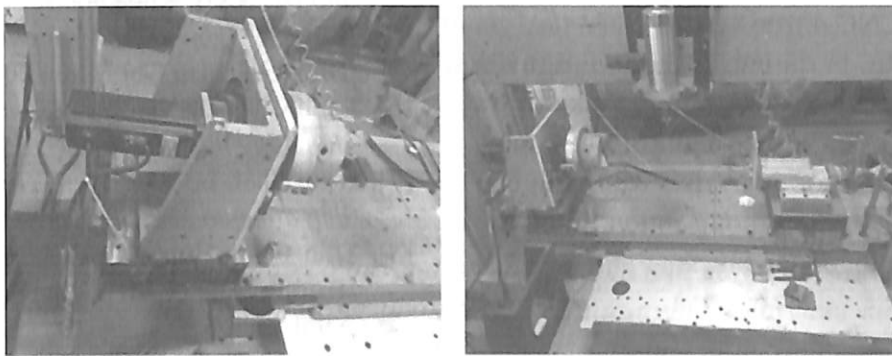
Hình 3. Hình chiếu tổng thể của khâu x và z của máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình



Hình 4. Hình chiếu tổng thể của máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình



Hình 5. Hình chiếu tổng thể của khâu xoay và y của máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình



Hình 6. Hình chiếu tổng thể của máy CNC 4D chuyên gia công chi tiết lọc bình

3.2. Các sản phẩm đã gia công



Hình 7. Các sản phẩm từ máy CNC 4D tự chế tạo tại Phòng Thí nghiệm Cơ học Ứng dụng (LAM) Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu, các tác giả đã đi sâu vào các nguyên lý cơ bản, hoạt động cơ bản nhất của một máy điều khiển tự động, kiểm chứng tính đúng đắn của các nguyên lý đó. Kiểm tra, thiết kế mô hình ảo, sử dụng các phần mềm hỗ trợ mô phỏng, lập trình tính toán, tạo cái nhìn trực quan về máy CNC. Chúng tôi đã tìm hiểu và làm rõ cách xây dựng các ma trận truyền thể hiện được mối tương quan của các khâu của máy CNC 4 trục về vị trí, vận tốc, gia tốc. Từ cơ sở đó, ta đã làm rõ hơn về nguyên lý động lực học của máy, tính toán và kiểm tra sự chuyển động của từng khâu khi chạy máy, từ đó, điều khiển được quá trình vận hành của máy theo các khâu theo mong muốn để có thể tạo ra sản phẩm theo yêu cầu. ❖

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Đề tài mã số C2017 – 20 – 30.

Ngày nhận bài: 08/10/2018

Ngày phản biện: 17/10/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. TS. Phạm Đăng Phước; *Robot công nghiệp*.
- [2]. Nguyễn Đắc Lộc; *Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập I*. NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2007.
- [3]. Nguyễn Đắc Lộc; *Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập II*. NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2007.
- [4]. Nguyễn Đắc Lộc; *Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập III*, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2007.
- [5]. Nguyễn Ngọc Cẩn; *Máy cắt kim loại*, NXB. ĐHQG TP. Hồ Chí Minh, 2005.
- [6]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển; *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí tập 1*. NXB. Giáo dục.
- [7]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển; *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí tập 2*. NXB. Giáo dục.
- [8]. Trần Quốc Hùng; *Thiết kế máy cắt kim loại*, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.
- [9]. GS,TS Trần Văn Địch; *Công nghệ cnc*, NXB. Khoa học Kỹ thuật Hà Nội, 2004.
- [10] ORIENTAL MOTOR GENERAL CATALOG, G Technical Reference, 2013.
- [11] Nguyễn Kinh Luân; *Giáo trình máy công cụ cắt gọt*, NXB. Hà Nội.