

Một số kết quả nghiên cứu, chế tạo máy tiện CNC có trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực

Results in the development of automatic lathes with hydraulic spindle drive

Trần Ngọc Hải*, Lê Cung, Võ Như Thành

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

**Email: tnhai@dut.udn.vn*

Tel: +84-0511.3842741; Mobile: 0905026649

Tóm tắt

Từ khóa:

Động cơ thủy lực; Điều khiển Mach3 CNC; Trục chính máy tiện; Tốc độ trục chính.

Hiện nay, truyền động và điều khiển tự động thủy lực được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, trong đó đã có ứng dụng trong các máy gia công cắt gọt kim loại (cụ thể: trong máy bào, trong bàn máy mài, trong bàn máy phay, kẹp phôi, trong chuyển động chạy dao máy tiện). Tuy nhiên, ứng dụng thủy lực truyền động trục chính của máy tiện vẫn là hướng nghiên cứu ứng dụng hệ truyền động mới hiện nay. Bài báo này giới thiệu tổng quan một số kết quả chế tạo máy tiện tự động có trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực. Trong đó, các tác giả tổng hợp và phân tích các kết quả đã được công bố về động lực học của cụm trục chính truyền động bằng thủy lực, xây dựng sơ đồ nguyên lý và mô hình hóa máy tiện tự động có trục chính truyền động bằng thủy lực và hệ tham chiếu là động cơ điện ba pha. Các kết quả chế tạo cụm trục chính, lắp đặt bàn dao, các chi tiết chuyển động của máy tiện tự động, hệ thống điều khiển và phần mềm điều khiển máy được trình bày trong bài báo. Các tác giả cũng miêu tả về một số chi tiết gia công trên máy, so sánh kết quả gia công và đề xuất một số hướng ứng dụng của hệ thống này.

Abstract

Keywords:

Hydraulic motor; Mach3 CNC Controller; Main shaft, Lather machine; Speed Control.

Nowadays, hydraulic automatic transmission and control are widely used in many fields including applications in metal machining (particularly planning machine, grinding table, milling table, workpiece clamps, lathe turning motion). However, the application of hydraulic system in controlling the main shaft of the lathe table is still a new research direction. This paper presents an overview of some results in developing an automatic lathe with hydraulic driven system. In particular, the study focused on the published results of the dynamics of the hydraulic transmission spindle, the principle diagram of automatic lathes' hydraulic spindles, and the reference system is a three-phase electric motor. Here we present results of spindles manufacturing, the installation of the cutting tools, the moving parts of the automatic lathes, the control system and the machine control software. We also introduce results of machining, comparison between machining results and some suggestions for this application.

Ngày nhận bài: 12/09/2018

Ngày nhận bài sửa: 12/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. TỔNG QUAN

Các hệ truyền động trực chính máy CNC trên thị trường thường ứng dụng truyền động bằng động cơ điện một chiều hoặc động cơ servo nhưng chỉ phù hợp cho những máy có công suất nhỏ và trung bình, còn với những máy có công suất lớn thì thường ứng dụng truyền động bằng động cơ điện ba pha. Còn các chuyển động chạy dao thường là động cơ bước, động cơ servo và bên cạnh đó cũng có một số nghiên cứu ứng dụng truyền động bằng xilanh thủy lực như hãng sản xuất Senday, Fuji [9, 10] vì có ưu điểm là năng suất gia công cao, kết cấu nhỏ gọn của cụm chấp hành. Tuy nhiên, các chuyển động này thường điều khiển ở tốc độ thấp do đó gần như không có tính đàn hồi của dầu, quá trình điều khiển để đạt độ chính xác hơn. Còn khi yêu cầu điều khiển ở tốc độ cao thì còn gặp nhiều khó khăn do độ đàn hồi, độ nhớt và sự biến đổi nhiệt độ của dầu. Tuy nhiên, hiện nay kỹ thuật điều khiển tự động đã phát triển mạnh, đặc biệt trong giai đoạn “cuộc cách mạng công nghiệp 4.0” với kỹ thuật điều khiển hiện đại (điều khiển tối ưu, điều khiển thích nghi, điều khiển phi tuyến, điều khiển bền vững) và điều khiển thông minh (điều khiển logic mờ, điều khiển mạng nơron, thuật toán di truyền) thì việc ổn định tốc độ của trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực có thể điều khiển được. Do đó, đề xuất nghiên cứu ứng dụng trên truyền động trực chính các máy cắt gọt kim loại là hết sức cần thiết mà chưa được các nhà khoa học trong nước quan tâm.

Để có cơ sở lý thuyết cũng như thực nghiệm đề xuất nghiên cứu này thì nghiên cứu về độ ổn định tốc độ của cụm van tỷ lệ và động cơ thủy lực đã được công bố trong các bài báo trước, cụ thể:

Theo [1], 2014. Công bố mô hình nghiên cứu lý thuyết của cụm trục chính máy tiện, truyền động bằng động cơ thủy lực và các giả thiết là có tính đến biến dạng đàn hồi của bộ truyền đai thang, ma sát và giá trị mômen quán tính khối lượng trên trục chính và giá trị trên rôto của động cơ thủy lực. Ứng dụng luật điều khiển PID cho mô hình trục chính máy tiện, kết quả khảo sát đáp ứng quá độ đã thể hiện tốc độ trục chính phản ứng nhanh, không có độ vượt lố và sai số xác lập nhỏ.

Theo [2], 2016. Công bố nghiên cứu thực nghiệm về ổn định tốc độ của trục chính máy tiện khi truyền động bằng động cơ thủy lực. Kết quả khảo sát thực nghiệm độ ổn định tốc độ của trục chính máy tiện khi truyền động bằng động cơ thủy lực, điều khiển bằng van tỷ lệ hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát lý thuyết [1]. Tuy nhiên, chúng tôi thấy rằng đáp ứng của hệ thống có thay đổi sau một khoảng thời gian hoạt động do nhiệt độ của dầu thay đổi.

Từ đó, chúng tôi đề xuất mô hình thực nghiệm ổn định tốc độ và vị trí của cụm trục công tác truyền động bằng động cơ thủy lực và điều khiển bằng van tỷ lệ [4, 5], 2017. Trong nghiên cứu này, ứng dụng điều PID tự điều chỉnh mờ các thông số điều khiển K_p , K_D , K_I . Kết quả cho thấy đáp ứng của hệ thống tốt hơn khi ứng dụng bộ điều khiển PID cổ điển.

Với các nghiên cứu đã công bố, chúng tôi hoàn toàn tin tưởng rằng có thể ứng dụng động cơ thủy lực truyền động cho trục chính tiện.

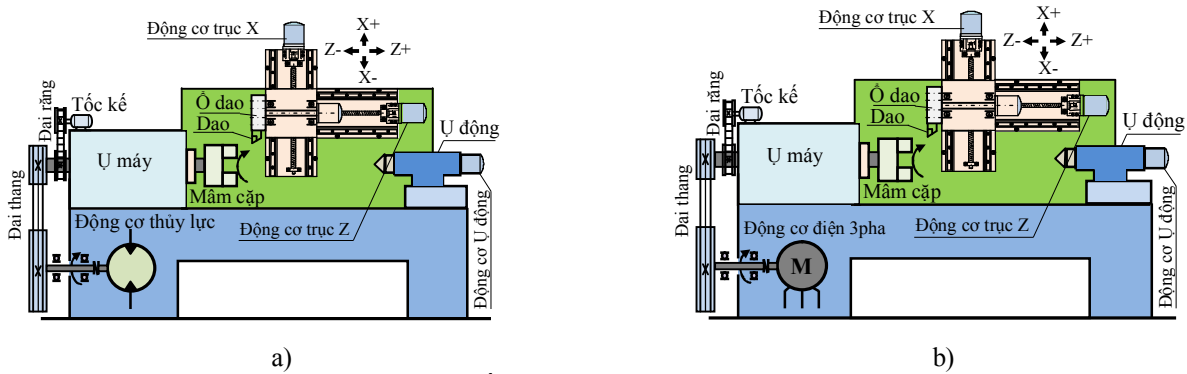
2. NỘI DUNG

2.1. Xây dựng nguyên lý của máy tiện tự động

Sơ đồ nguyên lý của máy được thể hiện trên hình 1a và 1b [3]. Trong đó, hình 1a thể hiện sơ đồ nguyên lý của máy tiện có trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực và hình 1b thể hiện sơ đồ nguyên lý của máy tiện có trục chính truyền động bằng động cơ điện 3 pha thường được ứng dụng hiện nay với những máy có công suất lớn (đây là hệ truyền động tham chiếu).

Bàn dao nghiêng với hai trục X, Z được truyền động từ động cơ bước qua bộ truyền vít me - đai ốc bi, trên bàn dao có ổ dao có thể thay dao tự động. Truyền động cho U động chuyển động tịnh tiến của đầu chống tâm qua bộ truyền vít me - đai ốc bi (có động cơ bước điều khiển dễ dàng). Ngoài ra, trên trục chính chúng tôi lắp thêm thiết bị đo tốc độ là tốc kế, tốc kế này để kiểm soát tốc độ của động cơ thủy lực.

Điều khiển vô cấp tốc độ của động cơ thủy lực truyền động cho trục chính là van tỷ lệ, còn động cơ điện ba pha là bộ biến tần.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của máy tiện tự động [3]

2.2. Các thông số và kết cấu của máy

Hệ truyền động chạy dao theo 2 trục X và trục Z được từ động cơ bước qua bộ truyền vít me - đai ốc bi, với các thông số chọn và tính toán:

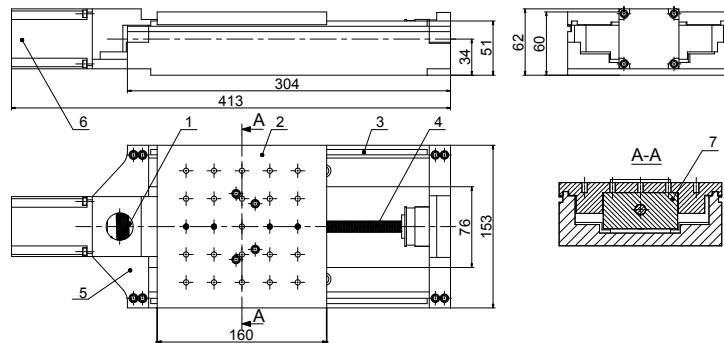
Chọn lực dọc trục cần thiết cho vít me là $F_a = 2\text{KN}$, khoảng cách dịch chuyển cần thiết $l = 300\text{mm}$, chọn vật liệu vít - thép 45, đai ốc - sắt. Dùng ren một đầu mỗi, bước ren $p = 3h$ chọn $p = 4(\text{mm})$ và chiều cao H và số vòng ren của đai ốc:

$$H = \psi_H \cdot d_2 = 18 (\text{mm}), x = H/p = 8.$$

$$\text{Ta có: } d_2 \geq \sqrt{\frac{F_a}{\pi \psi_h \psi_H [q]}} = 9,4(\text{mm}), \text{ Chọn } d_2 = 10 (\text{mm})$$

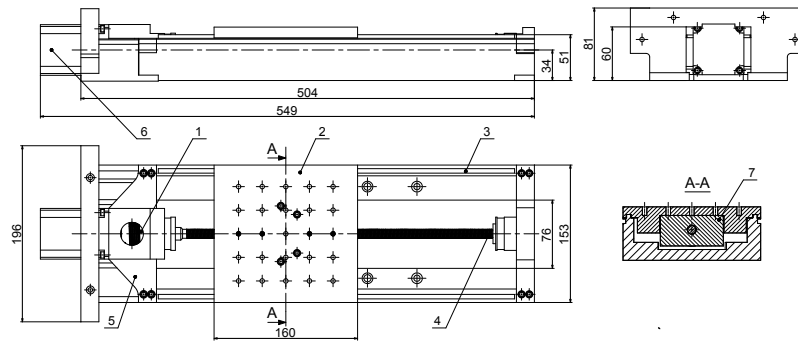
Động cơ truyền động chạy dao theo hai phương X, Z là hai động cơ bước có công suất tối thiểu là 5 (W), có các thông số như sau: Động cơ đơn cực, hai pha có điện áp làm việc là 5,7 (V).

Số bước trên một vòng quay là 200 bước/vòng ($1,8^0/\text{bước}$). Dòng lớn nhất 1,6 (A), tốc độ tiến dao có thể đạt được là $v = 750 (\text{mm}/\text{phút})$.



Hình 2. Kết cấu cụm trục X

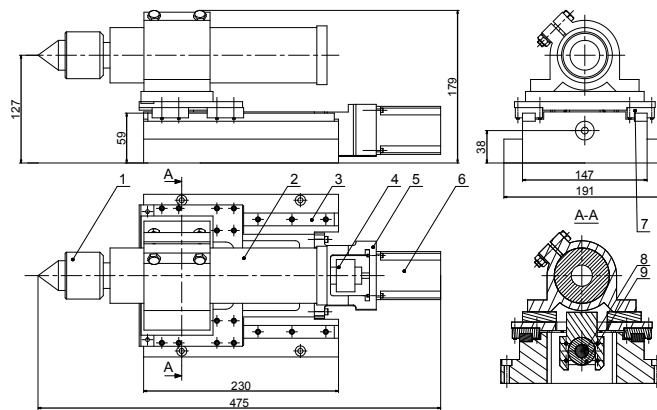
1- Khớp nối, 2- Bàn máy, 3- Ray trượt vuông, 4- Vít me bi, 5- Bích, 6- Động cơ bước



Hình 3. Kết cấu cụm trục Z

1- Khớp nối, 2- Bàn máy, 3- Ray trượt vuông, 4- Vít me bi, 5- Bích, 6- Động cơ bước

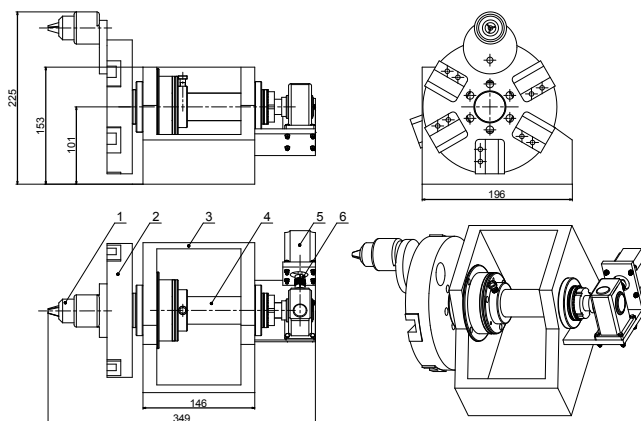
Ụ động được lắp trên sông trượt bi truyền động từ động cơ bước qua bộ truyền vít me bi có thể di trượt tự động hoặc điều khiển bằng tay qua phần mềm tới vị trí bất kỳ.



Hình 4. Kết cấu cụm ụ động

1- Mũi chống tâm, 2- Ụ động, 3- Ray trượt vuông, 4- Nối trục, 5- Bích, 6- Động cơ bước, 7- Ray trượt, 8- Vít me bi, 9- Đai ốc

Cụm ổ dao với 6 vị trí mang dao, có thể thay dao tự động trong quá trình gia công.



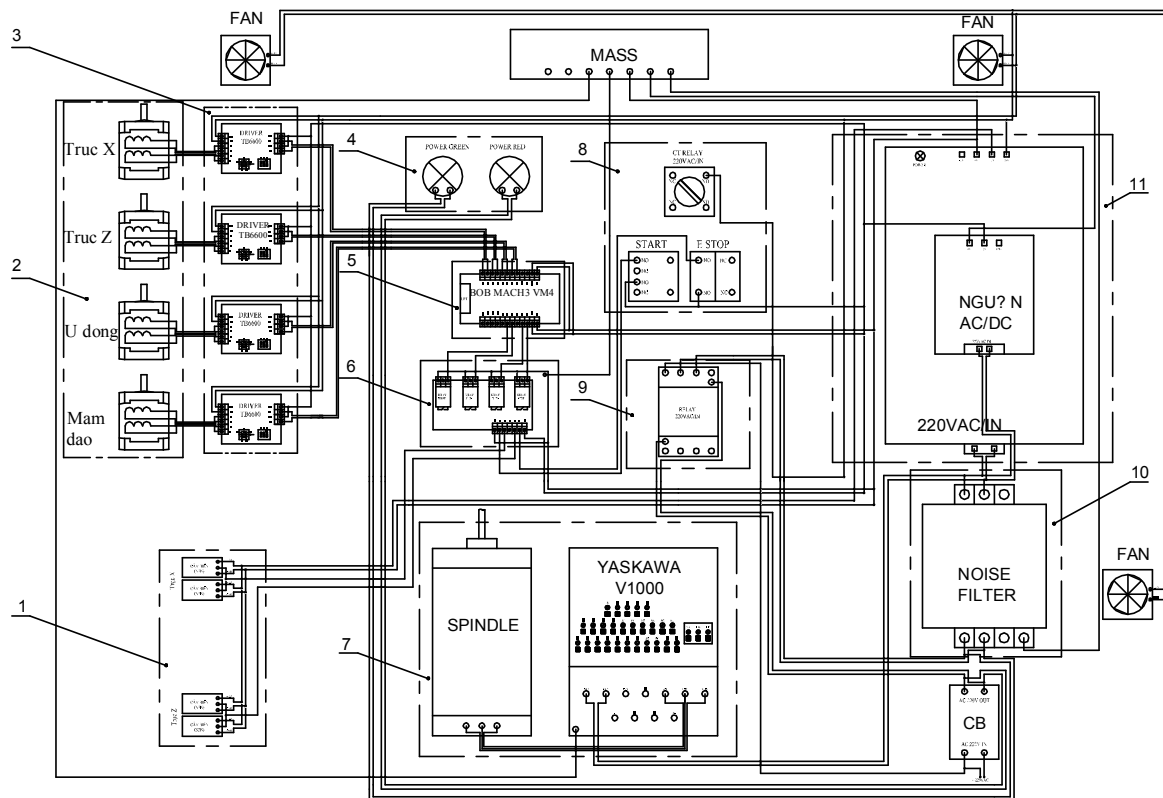
Hình 5. Kết cấu cụm ổ dao

1- Đầu khoan, 2- Mâm dao, 3- Thân hộp, 4- Trục, 5- Động cơ bước, 6- Khớp nối

Số đầu dao	-	6
Kích thước máy (dài x rộng x cao)	mm	1340x630x1200
Trọng lượng máy	kg	735kg
Bộ mạch và phần mềm điều khiển	-	Mach 3

2.3. Hệ thống điều khiển

Mạch Mach3 VM4 là mạch kết nối giữa phần mềm điều khiển (Mach3Turn) trên máy tính và các phần tử điều khiển như driver điều khiển động cơ bước, trên bo được trang bị cổng Spindle với tín hiệu điều khiển 0-10vDC phù hợp với tín hiệu điều khiển bộ biến tần hoặc bộ khuếch đại điều khiển van tỷ lệ thủy lực. Ngoài ra còn có nhiệm vụ nhận tín hiệu phản hồi từ các cảm biến và công tác hành trình về phần mềm xử lý. Bộ mạch Mach3 VM4 do Việt Nam sản xuất [6].



Hình 7. Sơ đồ mạch lắp ráp hệ thống điều khiển

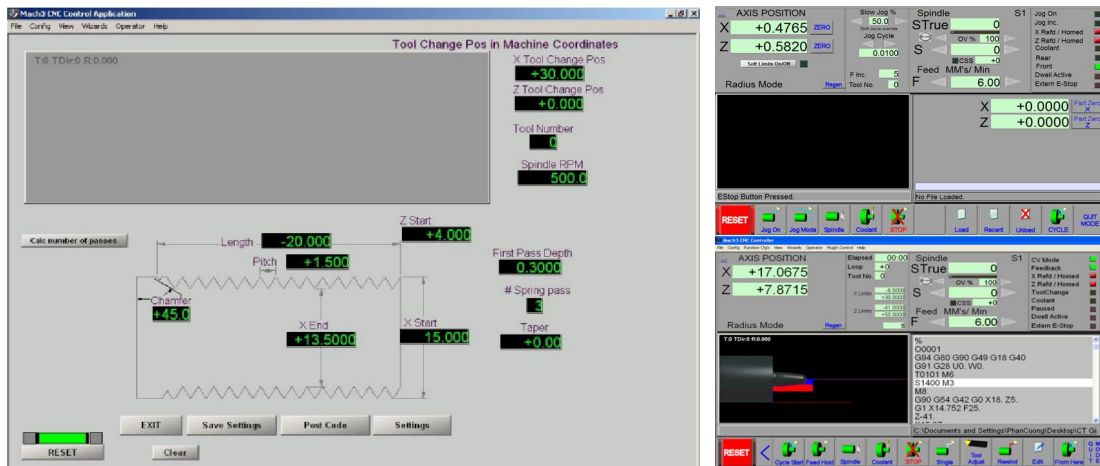
- 1- Cảm biến hành trình, 2- Nhóm động cơ bước, 3- Các Driver TB6600, 4- Đèn báo hiệu, 5- Bộ mạch Mach3 VM4, 6- Các rơ le tín hiệu, 7- Trục chính và biến tần Yaskawa V1000, 8- Công tắc điều khiển, 9- Rơ le khởi động, 10- Nguồn DC, 11- Lọc nguồn

Một số đặc điểm của Mach 3 VM4: Mạch Mach3 VM4 hỗ trợ tối đa điều khiển 6 trục tọa độ, hỗ trợ điều khiển động cơ bước và động cơ servo. Trên bo mạch có chú thích rõ ràng về các tín hiệu điều khiển cho từng trục X, Y, Z, A, B, C. Với mỗi trục ta có 2 tín hiệu điều khiển, một là tín hiệu xung Step cung cấp đến driver động cơ để điều khiển tốc độ động cơ, tín hiệu còn lại là tín hiệu Direct điều khiển hướng quay của động cơ. Tất cả các tín hiệu điều khiển từ Mach3

VM4 đều phải đưa qua driver động cơ mới có thể điều khiển được động cơ vì tín hiệu ra chỉ là tín hiệu điều khiển với mức điện áp 5V, ngoài ra có các đèn LED báo trạng thái kết nối cổng LPT và trạng thái hoạt động của mạch. Tương thích với Windows 2000/XP/Vista/7. Sơ đồ lắp ráp hệ thống điều khiển được thể hiện trên hình 7.

Để điều khiển chính xác tốc độ của trục chính khi truyền động bằng động cơ thủy lực và được điều khiển bằng van tỷ lệ, chúng tôi sử dụng thêm bo Arduino Uno R3 và ứng dụng luật điều khiển PID tự điều chỉnh mờ [4].

Phần mềm Mach3 [7] là một gói phần mềm chạy trên PC (máy tính cá nhân) và được xem là hệ điều khiển CNC 2 trục, 3 trục, 4 trục và 5 trục. Mach3 cũng bao gồm các tính năng tích hợp (được gọi là Mach Wizards) cho phép chúng ta lập trình các chi tiết đơn giản bằng cách nhập các đoạn dữ liệu, tránh việc phải sử dụng thêm một phần mềm CAD/CAM riêng biệt. Mach3 giao tiếp với máy công cụ và các drivers của nó thông qua một (hoặc hai) cổng song song hoặc một cổng nối tiếp (COM) sử dụng giao thức ModBus. Cổng song song được sử dụng ở đây là cổng giao tiếp máy in DB25. Mach3 là một chương trình có các tính năng phong phú cũng như rất dễ dàng sử dụng. Nó làm việc với các chương trình khác rồi nhận các tập tin DXF, tạo ra G-Code và hoàn toàn có thể tùy chỉnh. Mặt khác, chế độ gia công ren trên phần mềm được tích hợp trên công cụ cài đặt (hình 8) cho phép người dùng chọn các thông số ren mong muốn.



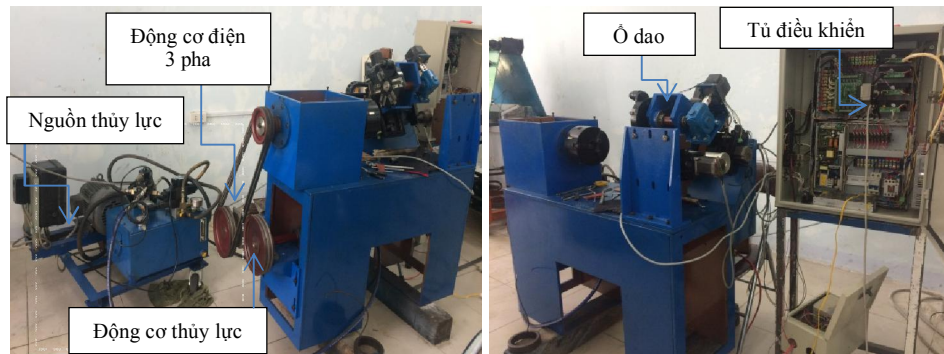
Hình 8. Giao diện môi trường thiết lập chức năng gia công trong Mach3Turn

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hình ảnh máy chế tạo

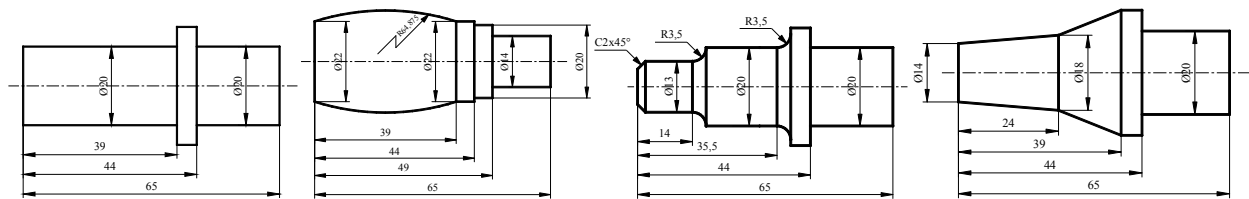


Hình 9. Cụm bàn dao và cụm trục chính



Hình 10. Máy chế tạo, lắp ráp hoàn chỉnh

3.2. Gia công một số chi tiết gia công



Hình 11. Bản vẽ chi tiết gia công



Hình 12. Ảnh chụp chi tiết gia công

Các thông số gia công: $v_c = 113$ mm/ph, lượng chạy dao $s_d = 0,05$ mm/vòng, chiều sâu cắt $t = 0,3$ mm, số vòng quay trục chính $n_{tc} = 1000 - 1200$ vòng/ph.

Chúng tôi đã gia công một số biên dạng với các vật liệu khác nhau đó là thép CT38, C45, đồng hợp kim, nhôm hợp kim (hình 12). Qua thực nghiệm, các chuyển động tạo hình đúng với chu trình gia công được thiết lập trên phần mềm Mach3Turn, ảnh chụp chi tiết gia công có kích thước đúng với kích thước bản vẽ. Về so sánh chất lượng bề mặt chi tiết gia công giữa 2 hệ truyền động chúng tôi đo độ nhám bề mặt, đã được công bố [3] với vật liệu gia công CT38, sai lệch độ nhám bề mặt giữa 2 hệ truyền động tương đối giống nhau, kết quả đo độ nhám cùng một cấp nhám (cấp 5).

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một số kết quả về máy tiện tự động có trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực, cụ thể:

Thiết lập các thông số động học, một số bản vẽ kết cấu của cụm bàn dao nghiêng X, Z, cụm trục chính, ụ dao và ụ động; Thiết bị điều khiển có sẵn trên thị trường Việt Nam.

Máy chế tạo với cụm trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực có kết cấu nhỏ gọn. Tuy nhiên có nhược điểm về bộ nguồn, các phần tử điều chỉnh và điều khiển công kênh.

Với một số kết quả ban đầu là gia công được các biên dạng khác nhau đúng với chương trình được thiết lập, so sánh độ nhám bề mặt [3] với hệ truyền động trục chính bằng động cơ điện 3 pha. Từ các kết quả nghiên cứu này tiếp tục ứng dụng hệ truyền động và điều khiển thủy lực cho trục chính các máy công cụ cắt gọt kim loại vạn năng cũng như các máy CNC chuyên dụng.

Các chỉ tiêu chất lượng khác như sai số hình dáng hình học nhằm để đánh giá chất lượng máy chế tạo sẽ trình bày trong một công bố tới.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn các nhân viên thuộc Viện công nghệ cơ khí và tự động hóa, khoa Cơ khí, trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng đã tạo mọi điều kiện và trợ giúp trong thời gian thực hiện nghiên cứu này.

DANH MỤC DANH PHÁP/KÝ HIỆU

d_2	: Đường kính trung bình của ren;	h	: Chiều cao profin ren (1 mm)
ψ_H	: Hệ số chiều cao đai ốc (1,8 đai ốc nguyên);	d	: Đường kính ngoài (11 mm)
ψ_h	: Hệ số chiều cao ren thang (0,5);	d_1	: Đường kính trong (9 mm)
$[q]$: Áp suất cho phép (8 Mpa);	H	: Chiều cao ren; x : Số vòng ren

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Ngọc Hải, 2014. Nghiên cứu độ ổn định tốc độ của trục chính máy tiện khi truyền động bằng động cơ thủy lực. *Hội nghị Toàn quốc lần thứ 7 về Cơ điện điện tử*, 180-185.
- [2]. Trần Ngọc Hải, Lê Cung, Ngô Anh Dũng, 2016. Nghiên cứu thực nghiệm về ổn định tốc độ của trục chính máy tiện khi truyền động bằng động cơ thủy lực. *Hội nghị Toàn quốc lần thứ 7 về Cơ điện điện tử*, 494-499.
- [3]. Trần Ngọc Hải, Trần Xuân Tùy, Nguyễn Thượng Lý, 2017. Nghiên cứu độ nhám bề mặt chi tiết gia công trên máy tiện khi trục chính truyền động bằng động cơ thủy lực. *Tạp chí Khoa học Công nghệ ĐHQĐN*. 11(120), 22-25.
- [4]. Ngọc Hai Tran, Cung Le, Anh Dung Ngo, 2017. Experimental Investigation of Speed Control of Hydraulic Motor Using Proportional Valve. *IEEE International Conference on System Science and Engineering*. 350-355.
- [5]. Hai Tran Ngoc, Cung Le, Thanh Vo Nhu and Tuy Tran Xuan, 2018. The Research On Position Response Of Table Transmission By Hydraulic Motor. *Proceedings the first International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development*, 481-488.
- [6]. Information on <http://www.codientuviet.com>.
- [7]. Information on <http://www.machsupport.com/software/mach3/>.
- [8]. Art Fenerty and John Prentice, 2003. Using Mach3Turn.
- [9]. Information on <http://www.senday.com.tw/en/feeding01.html>.
- [10]. Information on <http://mt.fuji.co.jp/e/products/hardtturning/>.
- [11]. Information on <http://www.bkmech.com.vn/tim-hieu-ve-truc-chinh-may-cnc.html>