

Sử dụng kết cấu H-bot trong thiết kế và chế tạo máy in ba chiều

Using H-bot in design and fabrication of a three-dimensional printer

Bùi Minh Hiền

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

e-Mail: bmhien@dut.udn.vn, bui.mhien@gmail.com

Tóm tắt

Kết cấu truyền động các trục X, Y, Z trong các máy điều khiển số nói chung và máy in ba chiều nói riêng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tốc độ, độ chính xác gia công của máy. Hiện nay, hầu hết các máy in ba chiều có giá thành rẻ bán trên thị trường sử dụng kết cấu truyền động thông dụng, ở đó mỗi trục (X, Y, hoặc Z) được truyền động độc lập bởi một động cơ thông qua bộ truyền động: vít me – đai ốc, đai răng, xích... Nhược điểm của kết cấu này là lực quán tính lớn khi có một trục truyền động (giả sử X) được mang bởi một trục khác (Y) vì lúc này ngoài khối lượng của trục X thì còn có khối lượng của động cơ. Vì vậy, lực quán tính sẽ tăng đáng kể khi cơ cấu có tốc độ thay đổi hay chuyển động ở tốc độ cao. Hơn nữa, lúc này động cơ truyền động cũng phải có công suất lớn hơn. Nhằm hạn chế nhược điểm của cơ cấu truyền động thông dụng, bài báo giới thiệu về phân tích động học của kết cấu truyền động H-bot và sau đó đề xuất sử dụng trong thiết kế, chế tạo máy in ba chiều. Kết quả của việc sử dụng kết cấu H-bot cho hai trục (X, Y) cho thấy không những làm đơn giản kết cấu truyền động hai trục mà còn cho phép tăng tốc độ gia công đáng kể. Hay nói cách khác sử dụng cơ cấu H-bot cho phép giảm được thời gian gia công sản phẩm trên máy in ba chiều.

Từ khóa: máy in ba chiều, kết cấu truyền động thông dụng, kết cấu H-bot, tốc độ gia công, độ chính xác gia công

Abstract: A structure transmission of X, Y, Z axes of CNC machine in general and 3D printer in particular is one of the important factors affect the machining speed and the precision of machines. At present, most of commercial cheap 3D printers use popular structure transmission where each axis is transmitted by an independent motor and a transmission such as lead-screw, belt, chain... A disadvantage of this structure is the inertial force of the transmission. If an axis (eg. X) carries another axis (eg. Y) includes their motor the inertial force will bigger because of increasing of mass. Furthermore, the motor need to be more powerful. To over the disadvantage of the popular structure transmission, this article presents a dynamic analysis of H-bot structure and then proposes to use it in design and fabrication of a 3D printer. The results show that using H-bot, suppose for X, Y axes, not only simplify the structure transmission of X and Y axes but also

can increase the machining speed significantly. In other word, using H-bot allows us to reduce the machining time of 3D printer.

Keywords: 3D printer, popular structure transmission, H-bot, machining speed, machining time

Chữ viết tắt

3D	Three-dimensional
CNC	Computer Numerical Control

1. Mở đầu

Gia công chi tiết dựa trên công nghệ đắp lớp vật liệu, đã và đang được phát triển, ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau. Một trong những ưu điểm nổi trội của công nghệ này là tiết kiệm vật liệu dùng tạo ra sản phẩm hoàn chỉnh. Công nghệ đắp lớp vật liệu được xem là một trong những công nghệ của tương lai. Công nghệ đắp lớp vật liệu có thể tạo ra các sản phẩm có độ phức tạp cao mà ở công nghệ gia công truyền thống khó có thể thực hiện được. Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ này ở các nước tiên tiến trong 10 năm trở lại đây có thể kể đến dự án máy in ba chiều sử dụng phần mềm mã nguồn mở. Việt Nam cũng không nằm ngoài xu hướng này, trong hai năm trở lại đây, các máy in ba chiều giá rẻ được nhập vào Việt Nam và sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như: đào tạo và giảng dạy ở các trường đại học, tạo ra các sản phẩm lưu niệm, tạo ra các mô hình nghệ thuật, mô hình sử dụng trong kiến trúc, ...

Hầu hết các máy in giá rẻ bán trên thị trường và tự chế tạo tại Việt Nam có kết cấu truyền động thông dụng, ở đó mỗi trục (X, Y, hoặc Z) được truyền động độc lập bởi một động cơ thông qua bộ truyền động: vít me – đai ốc, đai răng, xích... Nhược điểm của kết cấu này là lực quán tính lớn khi có một trục truyền động (giả sử X) được mang bởi một trục khác (Y) vì lúc này ngoài khối lượng của trục X thì còn có khối lượng của động cơ. Vì vậy, lực quán tính sẽ tăng đáng kể khi cơ cấu có tốc độ thay đổi hay chuyển động ở tốc độ cao. Hơn nữa, lúc này động cơ truyền động cũng phải có công suất lớn hơn.

Trong nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy in ba chiều tại Việt Nam, năm 2013 tác giả đã thiết kế và chế tạo thành công máy in giá rẻ [1] với kết cấu truyền động thông dụng được sử dụng cho các trục X, Y, và Z. Với mục đích cải tiến kết cấu truyền động của máy in ba chiều để nâng cao tốc độ gia công sản phẩm, bài báo giới thiệu và phân tích ưu điểm của kết cấu H-bot

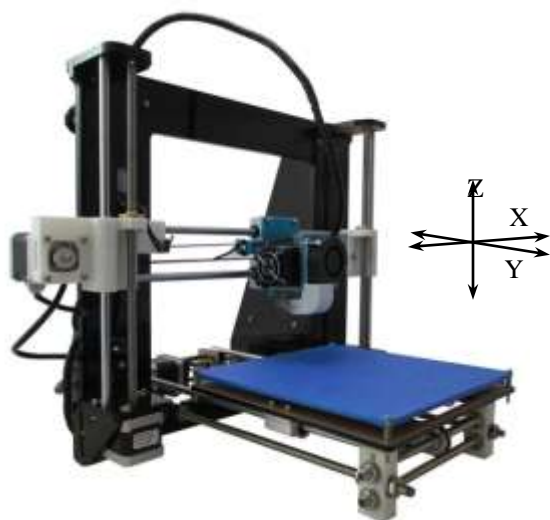
đề sử dụng trong thiết kế, chế tạo máy in ba chiều trong phiên bản lần này.

2. Kết cấu truyền động

2.1 Kết cấu truyền động thông dụng

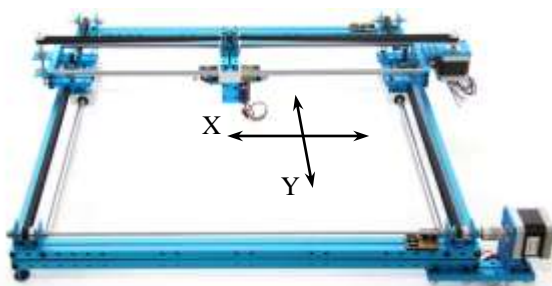
Một vài kết cấu truyền động thông dụng được sử dụng trong các máy in ba chiều hiện nay như:

Kết cấu truyền động ở đó có trục Z nằm thẳng đứng mang cụm truyền động trục X bao gồm: kết cấu, bộ truyền đai, và động cơ. Đây là một trong những kết cấu được sử dụng trong nhiều thế hệ máy in ba chiều khác nhau. Máy in Prusa I3 (hình 1) là một trong những thế hệ máy in sử dụng kết cấu này.



H. 1 Kết cấu truyền động máy in Prusa I3

Hình 2 cũng là một kết cấu truyền động thông dụng khác sử dụng cho hai trục X, Y. Trong kết cấu này trục X, Y được truyền động bởi hai động cơ và hai bộ truyền đai độc lập; trục Y mang cụm truyền động trục X bao gồm: kết cấu, bộ truyền đai và động cơ.



H. 2 Kết cấu truyền động XY thông dụng

Như đã phân tích ở trên, các kết cấu truyền động thông dụng này có lực quán tính lớn khi tốc độ truyền động thay đổi hay khi hoạt động ở tốc độ cao do khối lượng trên trục truyền động lớn. Do vậy, khó có thể gia công ở tốc độ cao khi sử dụng các kết cấu này.

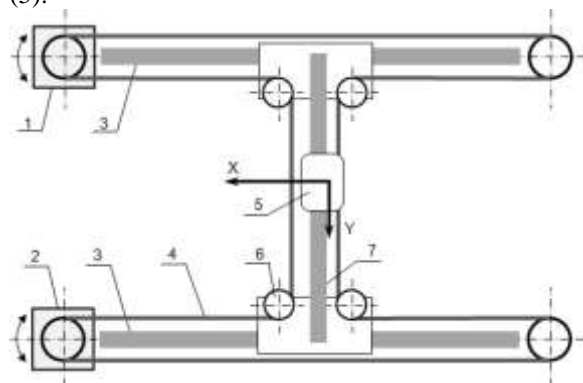
2.2 Kết cấu truyền động H-bot

Kết cấu H-bot được đề xuất sử dụng nhằm hạn chế nhược điểm trong kết cấu truyền động thông dụng nhờ vào các ưu điểm sẽ phân tích bên dưới.

Kết cấu H-bot còn được biết đến với tên gọi H-frame (khung chữ H) vì hai trục truyền động được bố trí có hình như chữ H. Các nghiên cứu [2, 3] đã cho thấy H-bot có nhiều ưu điểm, cụ thể có thể kể đến như:

- Có kết cấu đơn giản, chỉ sử dụng một bộ truyền động đai trong truyền động hai trục X, Y;
- Động cơ truyền động cho hai trục X, Y đặt cố định trên thân máy, do đó giảm được khối lượng trên trục truyền động;
- Cho tốc độ truyền động cao mà vẫn đảm bảo độ chính xác.

H-bot có kết cấu song song (hình 3) bao gồm: hai động cơ truyền động (1, 2) có gắn puli răng dẹt dẫn động, hai ray trượt tuyến tính (3) được đặt song song, bộ truyền dây đai răng hờ (4) có hai đầu được cố định trên cơ cấu chấp hành (5), dây đai răng được dẫn hướng bởi 8 puli trong đó có hai puli dẫn của động cơ và 6 puli cố định (6), cầu nối giữa hai ray (3) có ray dẫn hướng tuyến tính (7) dùng bố trí cơ cấu chấp hành (5).



H. 3 Kết cấu truyền động H-bot

Dịch chuyển của cơ cấu chấp hành (5) được thực hiện thông qua bộ truyền đai răng hờ (4). Dây đai răng được dẫn động nhờ hai puli gắn trên hai động cơ (1, 2) và dẫn hướng thông qua 6 puli cố định (6). Cơ cấu chấp hành có chuyển động theo phương X khi cả hai động cơ quay cùng chiều, và có chuyển động theo phương Y khi hai động cơ quay ngược chiều. Động học của kết cấu H-bot được phân tích trong các nghiên cứu [4, 5, 6] và có thể tóm tắt như sau:

- Cho một động cơ quay, giữ cố định động cơ còn lại thì cơ cấu chấp hành sẽ có chuyển động tuyến tính theo hai phương XY với góc $\pm 45^\circ$;

Quy ước động cơ có chiều dương ngược chiều kim đồng hồ (hình 3) thì:

- Khi động cơ (1) quay theo chiều dương, động cơ (2) được giữ cố định thì cơ cấu chấp hành sẽ dịch chuyển theo hướng $-X$ và $-Y$; và ngược lại khi động cơ (1) quay chiều âm, động cơ (2) được giữ cố định thì cơ cấu chấp hành sẽ dịch chuyển theo hướng $+X$ và $+Y$. Quan hệ chuyển vị của các trục có thể biểu diễn theo công thức toán học sau:

$$r\Delta\phi_1 = -\Delta x - \Delta y \quad (1)$$

Trong đó, Δx , Δy , và $\Delta\phi_1$ là các chuyển vị theo phương X, Y, và góc quay của động cơ 1; r là bán kính của puli dẫn động lắp trên động cơ.

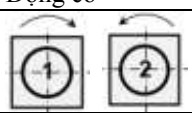
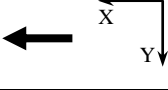
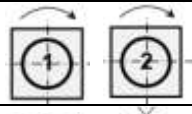

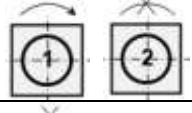

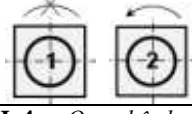

- Tương tự, khi cho động cơ (2) quay theo chiều dương, động cơ (1) được giữ cố định thì cơ cấu chấp hành sẽ có dịch chuyển theo hướng +X và -Y; và ngược lại khi động cơ (2) quay chiều âm, động cơ (1) được giữ cố định thì cơ cấu chấp hành sẽ dịch chuyển theo hướng -X và +Y. Lúc này, các chuyển vị có thể biểu diễn theo mối quan hệ toán học:

$$r\Delta\phi_2 = \Delta x - \Delta y \quad (2)$$

Giải (1) và (2) để xác định Δx , Δy , và có thể xác định được mối quan hệ động học giữa Δx , Δy như sau:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}r & \frac{1}{2}r \\ -\frac{1}{2}r & -\frac{1}{2}r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\phi_1 \\ \Delta\phi_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Quan hệ chuyển động của các động cơ và cơ cấu chấp hành cũng có thể biểu diễn như ở hình 4.

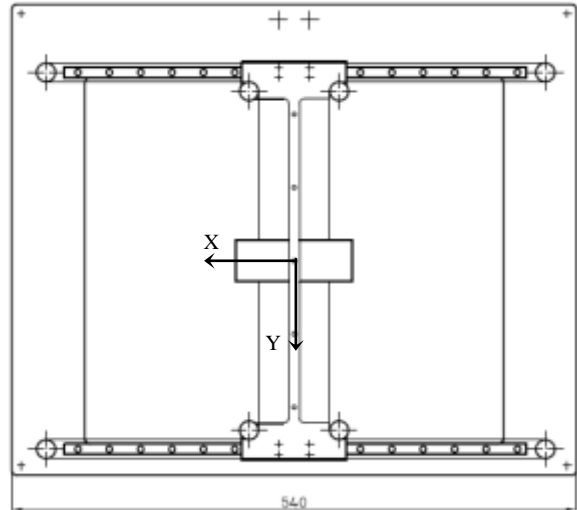
Động cơ	Cơ cấu chấp hành
	
	
	
	

H. 4 Quan hệ chuyển động giữa động cơ và cơ cấu chấp hành

Như vậy, có thể thấy kết cấu H-bot tương đối đơn giản nhờ vào việc bố trí hai động cơ trên thân máy và chỉ cần một bộ truyền đai răng hờ để dẫn động cơ cấu chấp hành theo cả hai phương X, Y. Điều này cho phép giảm khối lượng đặt trên trục X, do vậy, có thể tăng được tốc độ dịch chuyển của cơ cấu chấp hành. Nhờ ưu điểm này mà kết cấu H-bot được đề xuất sử dụng trong thiết kế và chế tạo máy in ba chiều trong nghiên cứu này.

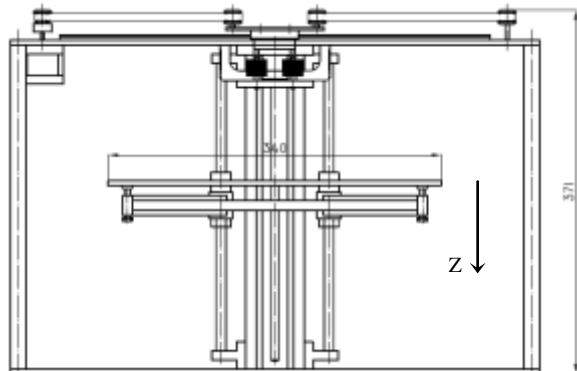
3. Thiết kế máy in ba chiều sử dụng kết cấu H-bot

Sử dụng nhôm tấm và nhôm định hình để chế tạo khung máy, ở đó cơ cấu truyền động cho hai trục X, Y được thiết kế và lắp đặt trên tấm nhôm được gia công bằng máy phay CNC (hình 5).

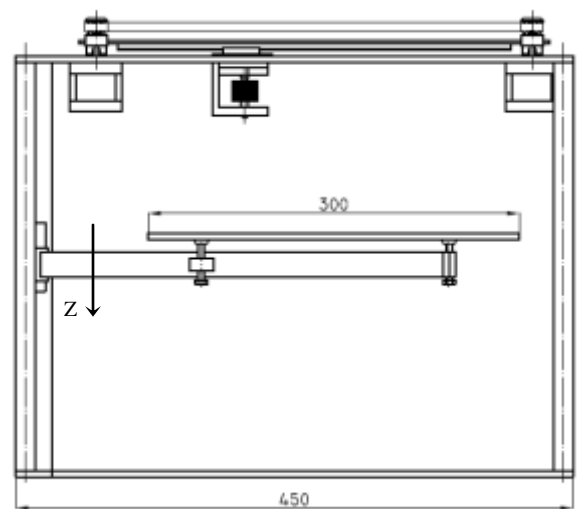


H. 5 Thiết kế hai trục X, Y theo kết cấu H-bot

Bàn máy để in sản phẩm có phương dịch chuyển theo phương Z, có chiều dương hướng từ trên xuống dưới (hình 6, 7), cơ cấu truyền động cho trục Z được lắp đặt trên thanh nhôm định hình.



H. 6 Hình chiếu đứng của thiết kế tổng thể máy, bàn máy chuyển vị theo phương Z

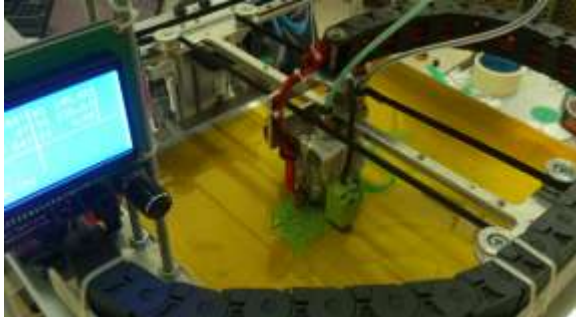


H. 7 Hình chiếu cạnh của thiết kế tổng thể máy

4. Chế tạo máy in ba chiều

4.1 Kết cấu máy

Hai trục X, Y được thiết kế và chế tạo dựa trên kết cấu H-bot (hình 8), ở đó các trục được dẫn hướng nhờ các thanh trượt vuông có ổ trượt tuyến tính, cơ cấu chấp hành có thể chuyển động theo hai phương nhờ vào bộ truyền đai răng hờ.



H. 8 Hai trục X, Y được chế tạo theo kết cấu H-bot

Trục Z được dẫn hướng bằng hai thanh trụ tròn có ổ trượt tròn tuyến tính. Bộ đèn sợi nhựa gồm hai đầu đèn lắp đặt trên cơ cấu chấp hành thuộc trục X, Y. Nhằm giảm tải trọng đặt trên cơ cấu chấp hành, bộ đèn vật liệu được tách làm hai phần riêng biệt: động cơ và cơ cấu đèn sợi nhựa (hình 9) được gắn cố định trên thân máy, phần dẫn hướng và làm nóng sợi nhựa (hình 10) đặt trên cơ cấu chấp hành.



H. 9 Động cơ và cơ cấu đèn sợi nhựa



H. 10 Phần dẫn hướng và làm nóng sợi nhựa của bộ đèn vật liệu

Ngoài ra, bộ truyền vít me - đai ốc được sử dụng dẫn động cho trục Z.

Nhằm tăng độ chính xác cho chi tiết gia công, cảm biến tiệm cận được gắn bên cạnh cụm đầu đèn (hình 11) để đo độ lệch theo phương Z tại các vị trí có tọa độ được thiết lập trước trong phần mềm. Độ lệch này sau đó được xử lý trong chương trình gia công để bù lại sai lệch bàn máy trong quá trình in chi tiết.



H. 11 Cảm biến tiệm cận dùng để đo độ lệch của bàn máy



H. 12 Kết cấu tổng thể máy gia công

Hình 12 biểu diễn tổng thể của máy chế tạo được với các số kỹ thuật:

- Hành trình trục X, Y, và Z: 290x250x200mm
- Tốc độ của các trục:
 - Trục X,Y: chạy không (150mm/s), tốc độ gia công tối đa (70mm/s);
 - Trục Z: (10mm/s).
- Kích thước máy
 - Chiều rộng tổng thể: 550 mm
 - Chiều dài tổng thể: 460 mm
 - Chiều cao tổng thể: 700 mm
 - Khối lượng tổng thể: 10kg

4.2 Nguyên lý hoạt động của máy

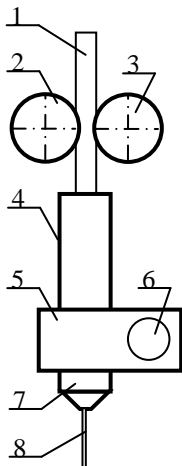
Trước khi gia công máy sẽ được thiết lập về hệ tọa độ ban đầu của các trục X, Y, và Z, cảm biến tiệm cận gắn cơ cấu chấp hành (hình 11) sẽ được sử dụng để đo

độ nghiêng của bàn máy và được sử dụng để bù sai số do độ nghiêng bàn máy trong suốt quá trình in.

Chương trình gia công được lưu dưới dạng G-code để điều khiển máy in ba chiều thông qua phần mềm điều khiển cài đặt trên máy tính hoặc sử dụng thẻ nhớ SD gắn trên máy in ba chiều. Ở lớp in đầu tiên, đầu đùn có khoảng cách so với bàn máy theo phương Z một khoảng nhỏ hơn hoặc bằng với đường kính sợi nhựa đùn ra. Giá trị này được thiết lập trong phần mềm cắt lớp và xuất dữ liệu gia công. Sau khi nhiệt độ của phần làm nóng của bộ đùn vật liệu và bàn máy đạt giá trị thiết lập, lớp vật liệu đầu tiên của sản phẩm được hình thành nhờ vào sự di chuyển của đầu đùn theo hai phương X, Y. Sau khi kết thúc lớp đầu tiên, trục Z mang bàn máy di chuyển một lượng bằng với đường kính sợi nhựa đùn ra theo chiều dương để đầu đùn hình thành lớp vật liệu tiếp theo. Cứ như vậy, sản phẩm được hình thành từ các lớp vật liệu đắp chồng lên nhau theo các tiết diện của sản phẩm.

4.3 Nguyên lý của bộ đùn vật liệu

Sợi nhựa được sử dụng làm nguyên liệu chế tạo các chi tiết trên máy in ba chiều, mỗi lớp của chi tiết được hình thành nhờ vào sợi nhựa đùn ra từ bộ đùn vật liệu. Một bộ đùn vật liệu gồm hai phần chính: phần dẫn động sợi nhựa và phần làm nóng để đùn nhựa ra dưới dạng sợi. Đường kính sợi nhựa đưa vào bộ đùn vật liệu là 1,75mm hay 3mm, sợi nhựa được đùn ra khỏi bộ đùn vật liệu có đường kính dao động từ 0,3 đến 0,5mm. Nhiệt độ làm nóng sợi nhựa tùy thuộc vào loại vật liệu, ví dụ: 190°C – 210°C đối với PLA và 230°-250°C đối với nhựa ABS. Ngoài ra còn có thể sử dụng sợi được làm từ các vật liệu khác như nylon, sợi nhựa gia cường sợi cacbon, sợi nhựa trộn bột gỗ...



H. 13 Nguyên lý bộ đùn vật liệu

Nguyên lý làm việc của bộ đùn (hình 13): sợi nhựa ban đầu (1) được tạo lực đẩy đi vào bộ phận làm nóng (5) nhờ vào hai con lăn (2) và (3) được dẫn động bởi động cơ bước. Phần (5) được làm nóng nhờ điện trở đốt nóng (6). Ống dẫn (4) được làm bằng vật liệu cách nhiệt hoặc làm mát cưỡng bức bằng quạt nhằm cách ly phần nóng và phần tạo lực đùn cho sợi nhựa. Sợi nhựa sau khi được làm nóng và dưới áp lực tạo ra nhờ các con lăn được đùn qua đầu đùn (7). Nhiệt độ tại bộ

làm nóng được kiểm soát bởi nhiệt điện trở gắn trên phần làm nóng.

Bộ đùn vật liệu cũng là một trong những cơ cấu ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của chi tiết in trên máy. Vì vậy, để sản phẩm gia công ra có độ chính xác cao, bộ đùn vật liệu của hãng Micron 3DP (hình 9, 10) được chọn để sử dụng cho máy chế tạo. Thông số kỹ thuật của bộ đùn:

- Động cơ bước: 200 bước/vòng, 1,8°/bước;
- Hộp giảm tốc gắn trên động cơ có tỉ số truyền 13,76;
- Nhiệt độ của làm nóng sợi nhựa có thể đạt 280°C;
- Đường kính sợi nhựa sử dụng: 1,75mm;
- Đường kính sợi nhựa ra khỏi đầu đùn: có thể thay thế với đường kính 0,3 hay 0,5mm.

4.4 Động cơ và mạch điều khiển

Động cơ bước

Với ưu điểm có thể điều khiển vị trí chính xác, động cơ bước được sử dụng để điều khiển các cơ cấu chấp hành. Động cơ được lựa chọn: Nema17 hai cực (hình 14), 1,8°/bước, độ chính xác mỗi bước 5%, momen xoắn 40Ncm, điện thế 3,4V, và dòng 1,7A.



H. 14 Động cơ bước nema17

Mạch điều khiển

Hiện nay có nhiều loại mạch điều khiển sử dụng cho máy in ba chiều được bán sẵn với giá thành phù hợp như: RAMPS, Sanguinololu, Printrboard.

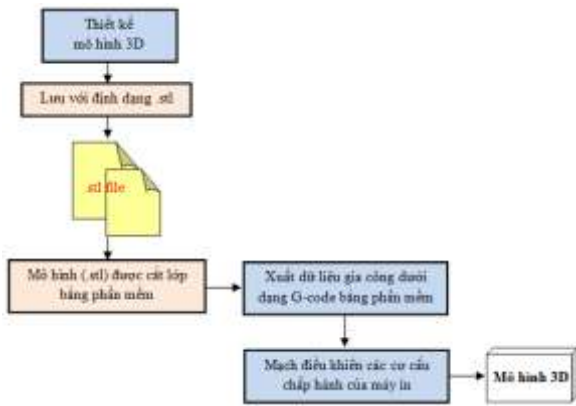


H. 15 Mạch RAMPS 1.4 và các mạch điều khiển động cơ bước

Với ưu điểm về khả năng nâng cấp về sau, mạch RAMPS (hình 15) được lựa chọn. RAMPS được kết nối với các mạch điều khiển cho động cơ bước, và có các cổng kết nối để cung cấp nguồn cho bộ đùn vật liệu, nhiệt điện trở làm nóng bàn máy, thu nhận tín hiệu từ các công tắc hành trình, cảm biến tiệm cận điều chỉnh độ lệch bàn máy...

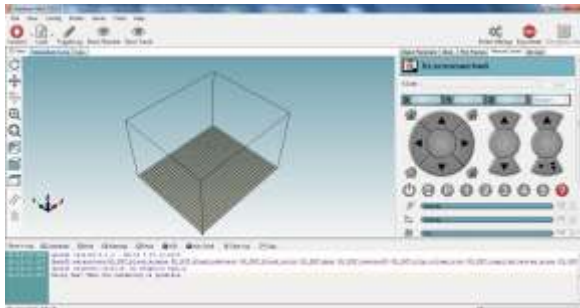
4.5 Phần mềm mã nguồn mở và firmware

Một sản phẩm được hình thành trên máy in được thực hiện thông qua các bước như sơ đồ bên dưới (hình 16).



H. 16 Quy trình hình thành sản phẩm

Một trong những yếu tố làm giảm giá thành chế tạo máy in ba chiều là sử dụng các phần mềm mã nguồn mở. Chi tiết được thiết kế và lưu dưới định dạng STL bằng các phần mềm thiết kế mã nguồn mở như SketchUp hay các phần mềm chuyên nghiệp. Sau đó phần mềm mã nguồn mở Slic3r, Skeinforge, Cura hoặc SFACT được sử dụng để cắt mô hình theo các tiết diện song song và biên dịch sang mã điều khiển G-code để gửi đến máy in ba chiều thông qua phần mềm điều khiển. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng phần mềm Repetier (hình 17) để điều khiển máy.



H. 17 Giao diện phần mềm Pronterface

Ngoài các phần mềm mã nguồn mở được sử dụng để tạo mô hình cắt lớp, xuất mã lệnh điều khiển, firmware được sử dụng để thiết lập cấu hình của máy trên mạch điều khiển. Firmware có thể xem như một phần mềm cố định liên quan đến những thông số cơ bản của một thiết bị. Ví dụ như dùng để cấu hình hành trình của các trục X, Y, và Z; hay dùng để khai báo các thông số điều khiển cho động cơ bước. Một số thông số được sử dụng để khai báo trong firmware sẽ được giới thiệu trong phần sau. Hình 18 thể hiện một vài khai báo trên firmware.



H. 18 Các thông số khai báo trong firmware

4.6 Một số tính toán cho các thông số khai báo trong firmware

Ngoài việc khai báo giá trị hành trình các trục X, Y, Z, thông số linh kiện điện tử sử dụng trên máy như nhiệt điện trở, cảm biến nhiệt độ..., một số thông số khác cần được tính toán trước khi khai báo trên firmware. Trong phần này sẽ giới thiệu các tính toán thông số điều khiển của các động cơ dẫn động bộ đùn và 3 trục X, Y, Z. Các giá trị này được tính toán dựa trên đặc điểm của động cơ, thông số hình học của các bộ truyền vít me - đai ốc, đai răng. Ví dụ bên dưới là khai báo thông số điều khiển các động cơ sử dụng trong máy.

- Định nghĩa số bước/mm của các động cơ điều khiển trục X, Y, Z:

```

#define XAXIS_STEPS_PER_MM 160
#define YAXIS_STEPS_PER_MM 160
#define ZAXIS_STEPS_PER_MM 400
    
```

- Định nghĩa số bước/mm của động cơ điều khiển bộ đùn vật liệu 1 và 2:

```

#define EXT0_STEPS_PER_MM 1274,16
#define EXT1_STEPS_PER_MM 1274,16
    
```

Gọi $P_X, P_Y, P_Z, P_{E1}, P_{E2}$ lần lượt là các thông số khai báo cho các động cơ điều khiển trục X, Y, Z và hai bộ đùn 1, 2.

Vì trục X, Y được điều khiển bằng hai động cơ Nema 17 và một bộ truyền đai răng (kết cấu H-bot) nên thông số khai báo cho hai trục có thể tính như sau:

$$P_{X,Y} = \frac{P_{mpr} \cdot P_s}{p_b \cdot Z_p} \cdot 2 \quad (4)$$

Trong đó:

$P_{mpr} = 200$: số bước trên mỗi vòng quay của động cơ

$P_s = 1/16$: thông số được định nghĩa bởi mạch điều khiển động cơ bước hay còn gọi là vi bước, nghĩa là với động cơ có góc bước $1,8^\circ$, mạch có thể điều khiển để động cơ thực hiện 16 bước trong $1,8^\circ$.

$p_b = 2mm$: bước răng trên dây đai

$Z_p = 20$: số răng trên puli gắn trên động cơ

Do đó:

$$p_{x,y} = \frac{200.16}{2.20} 2 = 160$$

Giá trị của p_z

Giá trị p_z được tính theo thông số hình học của vít me - đai ốc :

$$p_z = \frac{p_{mpr} \cdot P_s}{t \cdot p_{sc}} \quad (5)$$

Trong đó:

$p_{sc} = 2mm$: bước ren trên trục vít me

$t = 4$ số đầu mối của trục vít me, do vậy:

$$p_z = \frac{200 \times 16}{4.2} = 400$$

Giá trị của p_{E1}, p_{E2} dùng để điều khiển 1mm nhựa được đùn ra và được tính theo công thức:

$$p_E = \frac{P_{mpr} \times P_s \times i}{\pi \cdot D} \quad (6)$$

Trong đó:

$i = 13,76$: tỉ số truyền hộp giảm tốc gắn trên động cơ của bộ đùn vật liệu,

$D = 11mm$: đường kính của con lăn chủ động đùn sợi nhựa

Do đó:

$$p_E = \frac{200.16.13,76}{\pi.11} = 1274,16$$

Sau khi thiết lập các thông số cho mạch điều khiển, độ chính xác dịch chuyển của các cơ cấu chấp hành sẽ được kiểm tra và đánh giá lại nhờ phương pháp đo trực tiếp bằng thước cặp và hiệu chỉnh nếu có sai lệch.

5. Thực nghiệm và kết quả

5.1 Thực nghiệm tốc độ in của máy

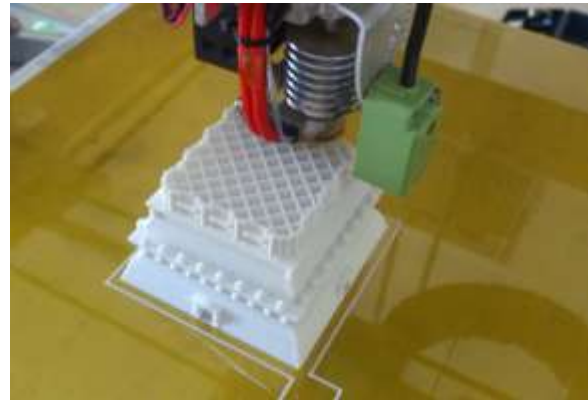
Ngoài sự đơn trong việc bố trí các cơ cấu chấp hành trên trục X, Y nhờ kết cấu H-bot, tốc độ truyền động hai trục X, Y còn được nâng cao đáng kể so với máy in được chế tạo với kết cấu truyền thống. Để đánh giá hiệu quả sử dụng kết cấu H-bot, một vài gia công thực nghiệm đã được tiến hành trên máy chế tạo.

Kết cấu máy và thông số được thiết lập cho gia công thực nghiệm :

- Hành trình các trục X, Y, Z lần lượt: 300x250x200mm
- Sợi nhựa sử dụng: PLA, đường kính 1,75mm
- Đường kính sợi nhựa ra khỏi đầu đùn vật liệu: 0,3mm
- Nhiệt độ bộ đùn vật liệu và bàn máy lần lượt: 200°C và 60°C
- Tốc độ trục X, Y : 40-60mm/giây (gia công), 100-130mm/giây (chạy không)
- Tốc độ trục Z : 5mm/giây (gia công), 10mm/giây (chạy không)

Chi tiết để tượng đài (hình 19) có kích thước theo 3 phương X, Y, Z lần lượt: 71x71x83mm, thể tích 238cm³ được tiến hành gia công với tốc độ

60mm/giây đối trục X, Y và 5mm/giây đối với trục Z, thời gian hoàn thành chi tiết: 2 giờ 46 phút. Trong khi đó nếu in với tốc độ tối đa 40mm/giây (trục X, Y) với máy có kết cấu truyền động trục X, Y theo kiểu thông dụng [1] thì thời gian hoàn thiện là 3 giờ 46 phút.



H. 19 Quá trình gia công một sản phẩm

Bên cạnh đó một số mô hình khác (hình 20, 21) cũng được tiến hành gia công để đánh giá độ chính xác, độ ổn định của máy gia công.

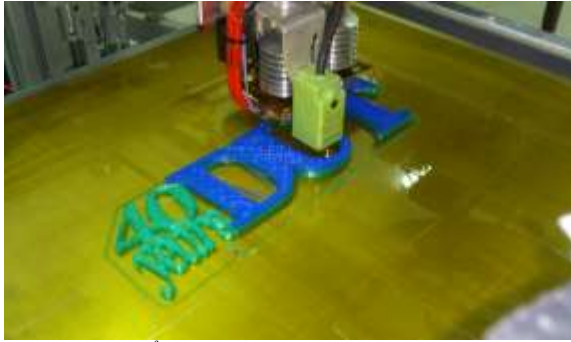
Trong thời gian thử nghiệm ban đầu, chế độ hai đầu đùn cũng được thực nghiệm với hai loại nhựa ABS và PLA với hai màu khác nhau (hình 22).



H. 20 Sản phẩm gia công trên máy sử dụng một bộ đùn



H. 21 Sản phẩm gia công trên máy sử dụng một bộ đùn



H. 22 Sản phẩm gia công sử dụng hai loại nhựa (ABS, PLA) có hai màu khác nhau

5.2 Thảo luận kết quả gia công

Bước đầu gia công thực nghiệm trên máy chế tạo có sử dụng kết cấu H-bot, chất lượng và thời gian gia công của các sản phẩm có thể được phân tích như sau:

- Sử dụng thước cặp để kiểm tra dịch chuyển của các cơ cấu chấp hành theo phương X, Y, Z cho thấy độ chính xác đạt đến 50 μm ;
- Sợi nhựa đùn ra khỏi đầu đùn có độ đồng đều cao, không có bọt khí;
- Chất lượng các sợi nhựa trên từng lớp được đều đặn và đều;
- Tốc độ gia công sản phẩm được cải thiện một cách đáng kể nhờ vào so sánh giữa phiên bản trong nghiên cứu lần này và phiên bản trong nghiên cứu trước.

6. Kết luận

Bài báo trình bày một thiết kế và chế tạo máy in ba chiều sử dụng kết cấu H-bot trong truyền động hai trục X, Y. Kết quả ban đầu đạt được cho thấy khi sử dụng kết cấu H-bot trong cơ cấu truyền động cho phép tăng tốc độ gia công một cách đáng kể nhờ giảm được khối lượng trên cơ cấu chấp hành. Bên cạnh đó, bài báo cũng giới thiệu tổng quan về phân tích động học của kết cấu H-bot.

Với thiết kế được đề xuất và máy in được chế tạo hoàn chỉnh, kết quả gia công thực nghiệm ban đầu trên hai bộ đùn vật liệu rất khả quan, dịch chuyển của cơ cấu chấp hành có độ chính xác đến 50 μm và thời gian gia công giảm đáng kể. Bên cạnh đó máy còn cho phép gia công với hai loại vật liệu khác nhau (chất liệu, màu sắc) cho cùng một sản phẩm. Một trong những ưu điểm khi sử dụng hai loại vật liệu khác nhau có thể kể đến là việc cho phép tạo ra các sản phẩm có độ phức tạp với độ chính xác cao, ví dụ sử dụng sợi PVA (tan trong nước) làm giá đỡ giúp hình thành bộ phận hay bề mặt của chi tiết chính xác hơn.

Hơn nữa, hiện nay có rất nhiều loại vật liệu có thể sử dụng cho máy in ba chiều như: nylon, sợi nhựa gia cường sợi cacbon, ... Vì vậy, khi sử dụng hai bộ đùn vật liệu cho phép tạo ra các sản phẩm có độ bền, độ đàn hồi được gia cường ở những vị trí cần thiết. Việc này cho phép tối ưu hóa kết cấu của sản phẩm và sử dụng hiệu quả vật liệu để tạo ra sản phẩm. Đây cũng là một hướng phát triển công nghệ in ba chiều mà tác

giả sẽ hướng đến trong các nghiên cứu trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện nhờ sự hỗ trợ từ nguồn kinh phí nghiên cứu khoa học nằm trong chuỗi sự kiện hướng đến kỷ niệm 40 năm ngày thành lập trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bùi Minh Hiền, Lê Cung, *Từ công nghệ đắp lớp vật liệu đến chế tạo máy gia công theo công nghệ đắp lớp vật liệu*, Hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2013, pp. 419-426, 2013.
- [2] K. Itoh, M. Iwasaki, and N. Matsui, *Robust fast and precise positioning of ball screw-driven table system on machine stand*, Proceeding of 8th IEEE International Workshop Advanced Motion Control, 2004, pp. 511-515.
- [3] R. M. Dougans, *ABCs of x-y positioning*, Power Conversion and Intelligent Motion, vol. 12, no. 5, pp. 71-74, May 1986.
- [4] Klaus S. Sollmann, Musa K. Jouaneh, *Dynamic modeling of a two-axis, parallel, H-frame-type XY positioning system*, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 15, No. 2, pp. 280-290, 2010.
- [5] S. Weikert, R. Ratnaweera, O. Zirn, and K. Wegener. *Modeling and measurement of h-bot kinematic systems*. American Society for Precision Engineering, 2011.
- [6] A. Zaki, K. Sollmann, M. Jouaneh, E. Anderson, *Nonlinear control of a belt driven two-axis positioning system*, Proceeding of IMECE2008 – 2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, pp.1-8, 2008.



Bùi Minh Hiền sinh năm 1979, tốt nghiệp kỹ sư Cơ khí chuyên ngành chế tạo máy năm 2003 và nhận bằng thạc sỹ cùng chuyên ngành năm 2007 tại trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng. Năm 2011, anh bảo vệ thành công luận án Tiến sỹ Cơ khí tại Đại học Grenoble, Cộng hòa Pháp. Hướng nghiên cứu chính hiện nay: xác định và mô phỏng các sai số trong gia công, nghiên cứu công nghệ gia công đắp lớp (additive manufacturing) hay in ba chiều, xác định hư hỏng bằng phương pháp đo và phân tích dao động. Tiến sỹ Bùi Minh Hiền tham gia giảng dạy tại trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng từ năm 2004 đến nay. Hiện là giảng viên thuộc Bộ môn Nguyên lý – Chi tiết máy; giữ chức vụ Tổ trưởng bộ môn Nguyên lý – Chi tiết máy và Phó trưởng phòng Đào tạo trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.