ISSN: 1859-2171
e-ISSN: 2615-9562 TNU Journal of Science and Technology 208(15): 209 - 214

TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC MÁY TA-RÔ REN TỰ ĐỘNG

Cao Thanh Long, Trần Văn Quân*, Hà Đức Thuận
Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả tính toán động học nhằm thiết kế máy ta-rô ren tự động, phục vụ sản xuất hàng loạt đai ốc trong các thiết bị điện. Máy thực hiện các chức năng: định hướng và cấp phôi, kẹp chặt, gia công lỗ ren M4 bằng ta-rô liên tục và hoàn toàn tự động. Các thông số động học được tính toán thiết kế bao gồm: xích tốc độ và tốc độ quay trục chính, xích động học điều khiển nhằm đạt năng suất yêu cầu. Kết quả gia công thử nghiệm với các thông số đã xác định cho thấy năng suất gia công có thể đạt được 35 đai ốc/phút. Sản phẩm có khả năng ứng dụng tốt cho các mô hình sản xuất hàng loạt.

Từ khóa: *Cơ khí chế tạo; ta-rô ren; gia công tự động; ren lỗ thông; cấp phôi tự động*

Ngày nhận bài: 23/11/2019; Ngày hoàn thiện: 28/11/2019; Ngày đăng: 29/11/2019

KINEMATIC CALCULATION OF AN AUTOMATIC TAPPING MACHINE

Cao Thanh Long, Tran Van Quan*, Ha Duc Thuan
University of Technology - TNU

ABSTRACT

This paper presents the results of the kinetic design of an automatic tapping machine, which produces threading nuts for electrical devices. The machine performs all functions of separating and feeding the workpieces, clamping and tapping the M4 nuts automatically. The determined kinetic papameters includes cutting velocity, kinetic transmission chains, spindle speed and kinetic control with subject to demanded production rate. The pilot operations showed that the production rate can reach 35 nuts per minute. The machine designed is promising for mass producing of small nuts.

Keywords: *Manufacturing; thread tapping; automation; through thread; automatic feeding*

Received: 23/11/2019; Revised: 28/11/2019; Published: 29/11/2019

* Corresponding author. *Email: tvquan@tnut.edu.vn*

1. Đặt vấn đề

Gia công ren là một trong những nguyên công quan trọng trong công nghiệp chế tạo. Ren được sử dụng hoặc để cố định các chi tiết máy với nhau, hoặc để truyền tải, truyền chuyển động giữa các bộ phận máy. Gia công ren bằng ta-rô là một quá trình gia công dùng ta-rô để tạo ren lỗ tiêu chuẩn. Biên dạng ren được tạo giống biên dạng ren của ta-rô. Có hai dạng gia công bằng ta-rô là ta-rô bằng tay và ta-rô bằng máy [1]. Ta-rô máy được sử dụng khi sản lượng, năng suất yêu cầu lớn. Điểm cần lưu ý là khi cắt ren bằng ta-rô, nhiều lưỡi cắt đồng thời tham gia cắt, dẫn đến điều kiện cắt gọt khắc nghiệt, điều kiện thoát nhiệt, thoát phoi khó khăn nên phát sinh mômen xoắn lớn, có thể gây gãy ta-rô. Do vậy, không thể gia công với vận tốc cắt lớn. Nâng cao năng suất gia công là một trong những chỉ tiêu quan trọng khi gia công ren bằng ta-rô.

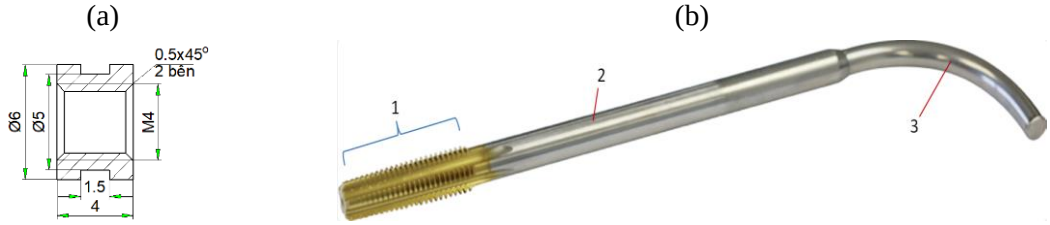
Gia công đai ốc điện tại các làng nghề tại Việt Nam đòi hỏi năng suất khá lớn. Chẳng hạn, tạo ren cho đai ốc cấy M4 dùng trong các thiết bị điện dân dụng như đế âm, phích cắm nhằm cung cấp cho nhà máy SINO và LiOA theo số liệu điều tra của nhóm nghiên cứu khoảng 15 triệu chiếc mỗi tháng. Một số máy ta-rô tự động do Nhật Bản sản xuất đang được sử dụng tại một số làng nghề áp dụng nguyên lý cắt liên tục bằng ta-rô đuôi cong. Các mẫu máy này có thể đạt năng suất gia công đai ốc đến 28 chiếc/phút. Nhu cầu gia công mong muốn có máy ta-rô ren chuyên dùng với năng suất cao hơn. Đồng thời, cũng cần chủ động về thiết bị do khả năng mua sắm và sửa chữa máy nhập của Nhật Bản rất khó khăn, chi phí lớn. Bài báo này trình bày tính toán thiết kế động học máy ta-rô đai ốc nhằm đạt năng suất 35 chiếc/phút, nhằm giải quyết nhu cầu thực tế nói trên.

Hiện nay, trên thị trường có khá nhiều mẫu máy ta-rô bán tự động, chẳng hạn xem tại [2,3]. Một số nghiên cứu cũng được thực hiện nhằm thiết kế và chế tạo máy gia công bán tự động kết hợp khoan và ta-rô [4-6]. Các mẫu máy này thực hiện đảo chiều quay trục chính sau khi cắt xong nhằm tháo ta-rô ra khỏi chi tiết. Quá trình này một mặt làm giảm năng suất gia công, một mặt đòi hỏi bổ sung cơ cấu đảo chiều chính xác, làm tăng giá thành máy. Hệ thống kẹp chi tiết gia công cũng chưa được tự động hóa, dẫn đến năng suất gia công không cao. Các máy này cũng sẽ được phân tích đối chứng trong phần sau của bài báo.

2. Cơ sở lý thuyết

Để thực hiện được quá trình cắt khi ta-rô ren đai ốc đòi hỏi phải có tối thiểu hai chuyển động chính, đó là phôi gia công hoặc ta-rô phải quay tròn để tạo nên chuyển động cắt và phải tịnh tiến (chuyển động chạy dao dọc) để gia công hết chiều dài ren tạo thành sản phẩm. Xuất phát từ đây, nghiên cứu này lựa chọn phương án dùng ta-rô chuôi cong chuyển động tịnh tiến còn phôi gia công sẽ thực hiện chuyển động là quay tròn.

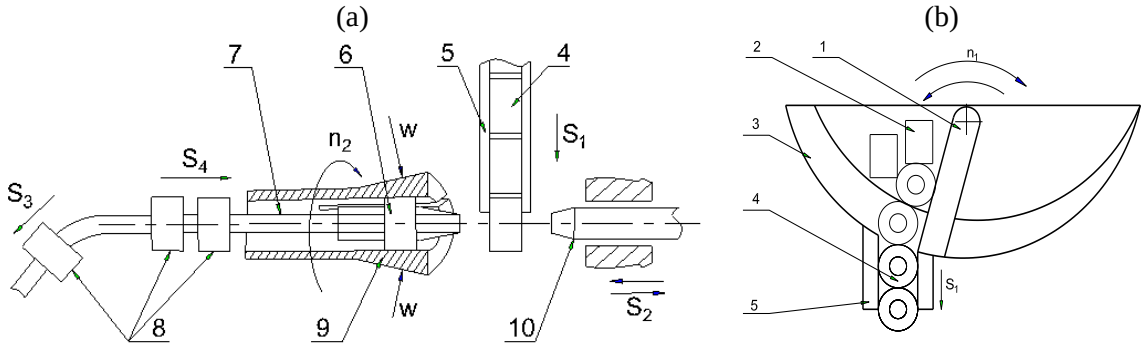
(a) (b)



Hình 1. *Đai ốc M4 (a) và kết cấu một ta-rô chuôi cong (b)*

Hình 1a mô tả kích đai ốc cần gia công ren. Chi tiết cần tạo ren lỗ hàng loạt có vật liệu là đồng (Copper), đã được gia công thành dạng trụ rỗng chiều dài 4 mm, đường kính ngoài 6 mm, xấn rãnh rộng 1,5 mm với chiều sâu 0,5 mm. Để gia công ren M4 tiêu chuẩn có bước ren p = 0,7mm, đường kính lỗ tạo trước trên phôi được lựa chọn là 3,3 mm. Các thông số này sẽ được sử dụng cho quá trình tính toán động học máy sau này. Hình 1b mô tả kết cấu của một ta-rô chuôi cong, dụng cụ cắt được sử dụng trên máy ta-rô tự động sẽ thiết kế, gồm phần lưỡi cắt (1), phần cán (2) và phần chuôi cong (3). Sau khi đã được tạo lỗ sẵn, phôi cần ta-rô ren sẽ được cấp chuyển động

quay tương đối với các lưỡi cắt (1) của ta-rô. Sau khi gia công xong, sản phẩm đai ốc sẽ đẩy nhau dịch chuyển sang phần cán (2) và cuối cùng đến phần chuôi cong (3). Rõ ràng, việc sử dụng ta-rô chuôi cong không đòi hỏi quay đảo chiều ta-rô nhằm tháo đai ốc ra sau khi kết thúc quá trình cắt ren. Điều này sẽ làm giảm đáng kể thời gian chạy không, từ đó tạo điều kiện để nâng cao năng suất gia công.



Hình 2. *Sơ đồ nguyên lý ta-rô tự động (a) và cấp phôi tự động vào ổ tích (b)*

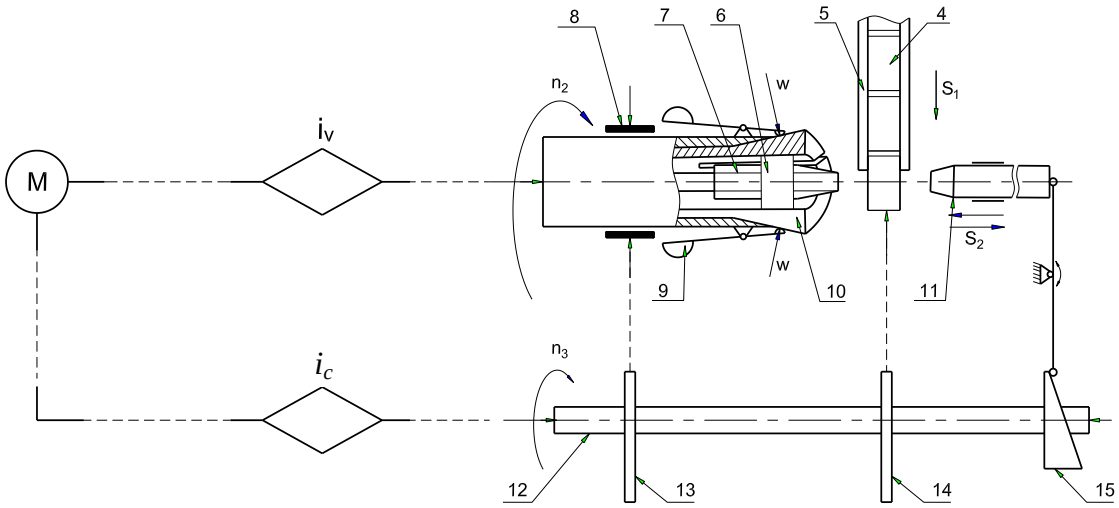
Xuất phát từ ý tưởng đó, trên Hình 2a, nghiên cứu này đề xuất cần thực hiện năm chuyển động gồm S_1, S_2, S_3, S_4 và n_2 để hoàn thành tiến trình ta-rô ren lỗ M4 từ lúc cấp phôi đến khi nhận được sản phẩm. Trước hết, các phôi (4) được cấp liên tục vào ổ tích phôi (5) và có chuyển động S_1 từ trên xuống dưới nhờ trọng lực. Khi bắt đầu gia công, ty đẩy phôi (10) sẽ thực hiện chuyển động S_2 để đẩy phôi (4) vào san-ga kẹp (9). San-ga kẹp chặt phôi với lực w đồng thời thực hiện chuyển động quay n_2 quanh trục để tạo nên chuyển động cắt chính. Trong khi đó, ta-rô chuôi cong (7) sẽ thực hiện chuyển động tiến dao dọc S_4 để gia công hết chiều dài đai ốc. Rõ ràng, quá trình cắt xảy ra ở đây cũng tương tự như quá trình ăn khớp của cặp vít me – đai ốc nên ta-rô (7) sẽ tự động thực hiện chuyển động chạy dao dọc S_4 để cắt ren trên toàn bộ chiều dài đai ốc phải gia công. Kết thúc quá trình gia công, các sản phẩm đai ốc (8) sẽ lần lượt tự đẩy nhau thực hiện chuyển động S_3 đến phần chuôi cong có kích thước nhỏ hơn và thoát ra ngoài.

Để cấp phôi tự động, sơ đồ nguyên lý cấu tạo cơ cấu cấp phôi tự động vào ổ tích phôi được nghiên cứu này lựa chọn như trên Hình 2b. Phễu chứa phôi có độ dốc, đáy được tạo rãnh (3) có chiều rộng 4,5mm nên phôi chưa định hướng (2) luôn có xu hướng di chuyển về phía rãnh. Do kích thước phôi (d x L = 6 x 4, mm) nên chỉ có phôi tự định hướng đúng mới có khả năng rơi vào rãnh. Để đảm bảo cấp được 35 phôi/ph đòi hỏi tay gạt định hướng phôi (1) phải chuyển động lắc qua lại quanh chốt bản lề với tần suất 35 chu kỳ/ph, nghĩa là ứng với mỗi hành trình lắc của tay gạt (1) sẽ chỉ có một phôi gia công được rơi vào ổ tích phôi (5).

3. Tính toán động học

3.1. Lựa chọn sơ đồ động học máy ta-rô ren tự động

Để máy tự động hoàn toàn thì việc cấp phôi, ta-rô ren và thu hồi sản phẩm đai ốc sau khi gia công phải tự động hoàn toàn. Để thực hiện và dễ dàng điều khiển các chuyển động S_1, S_2 và n_2 có thể sử dụng hai phương án. Phương án dẫn động độc lập trong đó mỗi chuyển động trên sẽ được thực hiện bằng một động cơ riêng biệt. Phương án này rõ ràng làm tăng chi phí của máy và giảm hiệu suất sử dụng đáng kể do việc sử dụng nhiều động cơ điện. Trong nghiên cứu này, phương án dẫn động chung được nhóm tác giả lựa chọn. Ưu điểm của phương án dẫn động chung là chỉ sử dụng chung một động cơ (M) để thực hiện đồng thời các chuyển động thông qua các bộ truyền và kết cấu cơ khí. Phương án dẫn động chung được thể hiện bởi sơ đồ động học như trên Hình 3, trong đó i_v là xích tốc độ và i_c là xích điều khiển.



Hình 3. *Sơ đồ động học máy ta-rô ren tự động: (4) Phôi đã định hướng; (5) Ổ tích phôi; (6) Phôi đang ta-rô; (7) Mũi ta-rô; (8) Phanh; (9) Quả văng kẹp; (10) San-ga; (11) Ty đẩy; (12) Trục Cam; (13) Cam phanh trục chính; (14) Cam đẩy phôi đã định hướng; (15) Cam ty đẩy.*

Sơ đồ động học của máy ta-rô ren tự động được chia ra hai khối cơ bản: (i) khối gia công đảm bảo kẹp chặt được phôi để thực hiện chuyển động cắt chính; (ii) khối điều khiển thực hiện các chức năng chính là cấp phôi vào ổ tích trước vùng đẩy, đẩy phôi vào san-ga kẹp đồng thời cấp tín hiệu điều khiển để nhả phôi ra khỏi san-ga.

3.2. Động học khối gia công và kẹp phôi

Trong quá trình gia công, động cơ chính (M) với tốc độ n_{motor} sẽ truyền chuyển động đến trục chính của máy ta-rô thông qua xích tốc độ i_v để tạo nên chuyển động cắt n_2. Ta có:

$$n_2 = n_{motor} \times i_v \text{ hay } i_v = \frac{n_2}{n_{motor}} \quad (1)$$

Theo [7], tốc độ quay của trục chính tạo nên chuyển động khi ta-rô ren được xác định theo công thức sau:

$$n_2 = \frac{97{,}028 \times v_r}{d_{tap}} = \frac{97{,}028 \times 80}{4} = 1940\,(vg/ph) \quad (2)$$

Trong đó, v_r là tốc độ cắt khuyến nghị, thường chọn trong khoảng 60÷80 SFM (Surface feet per minute); d_{tap} là đường kính ta-rô, tính bằng mm. Vận tốc v_r được chọn 80 SFM, đường kính ta-rô d_{tap} = 4 mm được sử dụng như trong công thức (2).

Với bước ren ta-rô p = 0,7mm và tốc độ quay n_2 = 1940 vg/ph như trên, thời gian cần thiết để ta-rô được một đai ốc là:

$$t = \frac{L}{p \times n_2} = \frac{60 \times (l_{nut} + l_{tap})}{p \times n_2} = \frac{60 \times (4+18)}{0{,}7 \times 1940} \approx 0{,}97\,(s) \quad (3)$$

Trong đó, l_{nut} = 4mm là chiều dài đai ốc; l_{tap} = 18mm là chiều dài phần có lưỡi cắt của ta-rô.

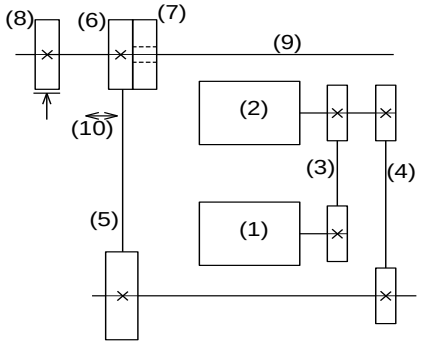
Như vậy, về mặt lý tưởng, trong một phút có thể gia công được khoảng 62 đai ốc. Tuy nhiên, quá trình thực tế cần phải có thời gian tháo chi tiết ra khỏi san-ga kẹp nên nghiên cứu lựa chọn số lượng sản phẩm ta-rô được trong một phút là 35 để tiến hành thiết kế và tính toán động học.

3.2.1. Thiết kế xích tốc độ cắt chính i_v

Chuyển động cắt chính từ động cơ được cấp đến trục chính của máy có thể được thực hiện theo nhiều phương án như dùng các cặp bánh răng, dùng các bộ truyền đai cho xích tốc độ i_v. Trong đó, trục chính có thể nhận được nhiều tốc độ khác nhau. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, máy ta-rô tự động được thiết kế với mục tiêu chuyên dùng để gia công một cỡ đai ốc (Hình 1a) nên trục chính tạo chuyển động cắt chỉ cần một cấp tốc độ. Do tốc độ quay lớn nên nhóm tác giả lựa chọn xích tộc

độ gồm các bộ truyền đai, có ưu điểm là phù hợp với khoảng cách trục lớn, làm việc êm ở vận tốc cao. Động cơ điện ở trong sơ đồ này được lựa chọn là loại 3 pha có công suất 0,375kW, tốc độ quay 1450 vg/ph.

Sơ đồ truyền động được thể hiện như trên Hình 4. Trong sơ đồ này, động cơ điện (1) truyền chuyển động đến trục chính (9) thông qua ba bộ truyền đai. Bộ truyền đai thang (3) có tỉ số truyền i_{belt1}; bộ truyền đai thang (4) có tỉ số truyền i_{belt2} và bộ truyền đai dẹt (5) có tỉ số truyền i_{belt3}. Trong bộ truyền đai (5), pu-ly bị động được thiết kế thành hai khối, trong đó pu-ly (6) lắp cố định với trục chính còn pu-ly (7) lắp với trục chính bằng ổ lăn. Khi gia công, bộ truyền đai (5) sẽ truyền chuyển động cho pu-ly (6) làm trục chính quay. Khi gia công xong, tín hiệu điều khiển (10) sẽ tác động làm đai dẹt truyền chuyển động cho pu-ly (7), đồng thời phanh (8) sẽ phanh trục chính lại.



Hình 4. *Sơ đồ động học xích tốc độ của máy ta-rô tự động*

Theo biểu thức (1) và sơ đồ động học (Hình), ta có có thể xác định được xích tốc độ như sau:

$$i_v = i_{belt1} \times i_{belt2} \times i_{belt3} \quad (4)$$

Tỉ số truyền của các bộ truyền trong xích tốc độ được lựa chọn lần lượt như sau:

$$i_{belt1} = \frac{n_{shaft1}}{n_{motor}} = \frac{1450}{1450} = 1;$$

$$i_{belt2} = \frac{n_{shaft2}}{n_{shaft1}} = \frac{1450}{1450} = 1;$$

$$i_{belt3} = \frac{n_{shaft2}}{n_2} = \frac{1450}{1940} = 0{,}747$$

Từ đó, xích tốc độ của máy ta-rô là:

$i_v = 1 \times 1 \times 0{,}74 = 0{,}74$

3.2.2. Động học cơ cấu kẹp phôi và tháo sản phẩm ra khỏi vùng kẹp

Để tự động kẹp phôi vào san-ga khi ta-rô và nhả sản phẩm sau khi gia công xong, nghiên cứu này sử dụng cơ cấu kẹp chặt phôi theo nguyên lý đòn bẩy (Hình) vào lực ly tâm trong quá trình quay của trục chính. Như vậy, trục chính của động cơ phải đảm bảo xen kẽ giữa chu làm việc (tạo lực ly tâm để kẹp chặt phôi) và dừng chuyển động (để tháo sản phẩm ra). Để thực hiện được quá trình này, pu-ly đai bị động trên trục chính được thiết kế thành hai khối làm việc độc lập. Trong đó, một pu-ly được lắp lồng không với trục chính, một pu-ly được lắp cố định với trục chính (Hình 4). Dây đai từ pu-ly chủ động sẽ được khối điều khiển gạt sang truyền chuyển động cho các pu-ly bị động theo đúng yêu cầu làm việc.

Lực ly tâm kẹp phôi được xác định theo biểu thức (5). Rõ ràng, lực ly tâm sẽ lớn nhất khi đạt tốc độ cắt n_2, nghĩa là phôi gia công đảm bảo được kẹp chặt trong quá trình ta-rô.

$$P_{cent} = mr\omega^2 = m \times r \times \left(\frac{2\pi n_2}{60}\right)^2 \quad (5)$$

Tuy nhiên, trục chính phải giảm nhanh tốc độ và dừng hẳn ($n_2 = 0$) thì lực ly tâm kẹp mới triệt tiêu hoàn toàn để tháo được sản phẩm sau khi ta-rô xong ra khỏi vùng gia công. Vì vậy, cần thiết phải tiến hành phanh trục chính. Nghiên cứu này sử dụng phanh bằng dây đai thang để chống giật và điều khiển quá trình phanh bằng cơ cấu cam thông qua khối điều khiển.

3.3. Động học khối điều khiển

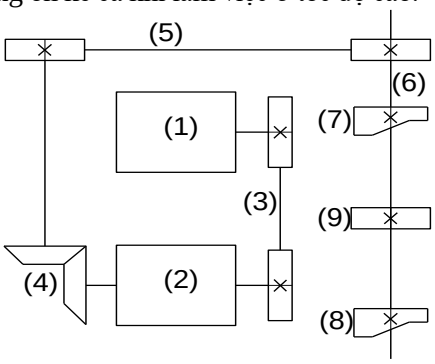
Để thực hiện quá trình điều khiển các chức năng như cấp phôi vào ổ tích trước vùng đẩy, đẩy phôi vào san-ga kẹp đồng thời cấp tín hiệu điều khiển để nhả phôi ra khỏi san-ga một cách hoàn toàn tự động và liên tục, trong nghiên cứu này, các cơ cấu cam và hệ đòn được kết hợp sử dụng. Theo Hình 3, chuyển động sẽ được truyền từ trục động cơ đến trục cam (14), với năng suất gia công lựa chọn là 35 đai ốc/ph thì trục cam phải đảm bảo quay

đều với tốc độ n_3 = 35 vg/ph. Như vậy, xích động học điều khiển i_c được xác định như sau:

$$n_3 = n_{motor} \times i_c$$

hay $$i_c = \frac{n_3}{n_{motor}} = \frac{35}{1450} = 0{,}024 \qquad (6)$$

Sơ đồ động của xích điều khiển được thể hiện trên Hình 5. Trong đó, động cơ (1) truyền chuyển động đến trục cam (6) thông qua bộ truyền đai thang (3), dùng chung với xích tốc độ, có tỉ số truyền $i_{belt1} = 1$; qua hộp giảm tốc trục vít – bánh vít (2) có tỉ số truyền $i_{worm} = 1/30$ và bộ truyền bánh răng côn (4) có tỉ số truyền $i_{gear} = 1$. Từ đây, chuyển động được truyền đến trục cam (6) qua bộ truyền đai 5 có tỉ số truyền i_{belt4}. Việc lựa chọn hộp giảm tốc trục vít - bánh vít không những cho phép giảm tốc độ nhanh mà còn giúp máy làm việc rất êm, không ồn kể cả khi làm việc ở tốc độ cao.



Hình 5. *Sơ đồ động xích điều khiển*

Như vậy, từ xích điều khiển có thể xác định được tỉ số truyền cần thiết của bộ truyền đai như sau:

$$i_c = i_{belt1} \times i_{worm} \times i_{gear} \times i_{belt4} \qquad (7)$$

$$i_{belt4} = \frac{i_c}{i_{belt1} \times i_{womr} \times i_{gear}} = \frac{0{,}024 \times 30}{1 \times 1 \times 1} = 0{,}72$$

Trên trục cam (6) bố trí ba cam điều khiển (7), (8) và (9). Cam (7) được dùng để điều khiển đồng thời dây đai dẹt và phanh trục chính (trên sơ đồ động học xích tốc độ, Hình 2). Cam (8) được dùng để đẩy phôi từ ổ tích phôi vào vùng gia công (sơ đồ động học, Hình 2a). Cam (9) được dùng để điều khiển cơ cấu cấp phôi tự động vào ổ tích phôi (sơ đồ cơ cấu cấp phôi tự động, b), đảm bảo tạo ra chuyển động n_1 với tần suất 35 hành trình mỗi phút.

4. Kết luận

Sơ đồ động học máy ta-rô ren tự động phục vụ sản xuất hàng loạt đai ốc dùng trong các thiết bị điện đã được nghiên cứu, đề xuất và tính toán. Máy đảm bảo thực hiện các chức năng định hướng và cấp phôi, kẹp chặt, gia công lỗ ren M4 với chiều dài 4 mm bằng ta-rô liên tục và hoàn toàn tự động từ khâu cấp phôi đến khi ra sản phẩm. Các thông số động học tính toán thiết kế được, bao gồm: xích tốc độ i_v = 0,74 và tốc độ quay trục chính n_2 = 1940 vg/ph; xích động học điều khiển nhằm đạt năng suất yêu cầu i_c = 0,024. Thời gian cắt ren tính cho một sản phẩm đai ốc với chiều dài 4mm là t = 0,97 s. Kết quả chế tạo máy ta-rô tự động và gia công thử nghiệm với các thông số đã xác định cho thấy năng suất ta-rô đạt được 35 đai ốc/ph.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được Đại học Thái Nguyên tài trợ kinh phí thông qua đề tài mã số ĐH2018-TN01-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. H. A. Youssef and H. El-Hofy, Machining Technology: Machine Tools and Operations: CRC Press, 2008.

[2]. 24h-Mechanical, "Automatic tapping machine", available at http://maykhoanban.com/may-taro-tu-dong, accessed at 8/2019.

[3]. EminVN, "Automatic tapping machine", available: https://emin.vn/ktkt-360-may-ta-ro-tu-dong-ktk-t-360-1252/pr.html, accessed at 8/2019.

[4]. N. U. Kakade, P. Bhake, S. Dandekar, et al., "Fabrication Of Combine Drilling And Tapping Machine," International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 4, pp. 305-308, 2017.

[5]. N. G. Lokhande, V. B. Emche, V. M. Khanke, et al., "Fabrication Of Drilling Cum Tapping Machine," International Journal of Creative Research Thoughts, vol. 5, pp. 44-48, 2017.

[6]. N. Venkatesh, G. Thulasimani, S. Naveenkumar, et al., "Combined Drilling and Tapping Machine by using Cone Mechanism," International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 7, pp. 11-15, 2016.

[7]. VikingDrill Tools, "How to Tap Effectively and Optimize Tool Life", available at http://www.vikingdrill.com/viking-Tap-FeedandSpeed.php, accessed at 8/2019.