



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Phương pháp mô phỏng để xây dựng đồ thị lực kẹp của cơ cấu kẹp cơ khí theo khoảng cách má kẹp

Nguyễn Đăng Tấn *, Maik Berger

Khoa Cơ khí, Trường Đại học kỹ thuật Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, CHLB Đức

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 15/6/2017
Chấp nhận 20/7/2017
Đăng online 27/4/2018

Từ khóa:

Cơ cấu kẹp cơ khí
Đặc tính lực kẹp
Mô phỏng
Hành trình kẹp

TÓM TẮT

Khi cơ cấu kẹp dẫn động cơ khí được sử dụng cho các chi tiết lắp ráp có kích thước cũng như khối lượng khác nhau thì lực kẹp phải tính cho mỗi trường hợp cụ thể. Vì nó thay đổi theo khoảng cách má kẹp, mặc dù lực dẫn động cơ cấu kẹp không thay đổi. Trong nghiên cứu này, đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp sẽ được xây dựng bằng phương pháp mô phỏng nhờ công cụ Motion Skeleton của phần mềm PTC Creo. Thông qua phác thảo cũng như khai báo các thông số của cơ cấu kẹp, Motion Skeleton cho phép mô phỏng chuyển động cũng như xây dựng được đường đặc tính quan hệ lực kẹp và khoảng cách má kẹp cho các loại cơ cấu kẹp cơ khí khác nhau. Hơn nữa, để kiểm tra lại tính chính xác của phương pháp này, các biểu thức toán học xác định quan hệ lực kẹp và khoảng cách má cũng được thiết lập. Các biểu thức này cho phép tính toán cũng như vẽ các đồ thị trên bằng phần mềm tính toán thiết kế Mathcad. Nhờ phương pháp mô phỏng này mà người thiết kế không những xây dựng đồ thị lực kẹp mà còn có thể dùng để thiết kế và tối ưu các thông số cơ cấu kẹp khác nhau.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Hệ thống lắp ráp tự động bao gồm chuỗi sơ đồ động học, trong đó cơ cấu kẹp là khâu cuối cùng của chuỗi. Khi thiết kế cơ cấu kẹp phải chú ý đến các yếu tố như lực kẹp, các khâu truyền động đến má kẹp, cảm biến vị trí má kẹp và điều khiển cơ cấu kẹp. Khi lựa chọn cơ cấu kẹp từ Catalog, lực kẹp là yếu tố ưu tiên hàng đầu, vì nó đảm bảo chi tiết luôn được giữ chặt trong quá trình thao tác (Hesse, 1991). Đồng thời tại vị trí tiếp xúc má kẹp và vật thể không được phép làm hư hỏng vật thể.

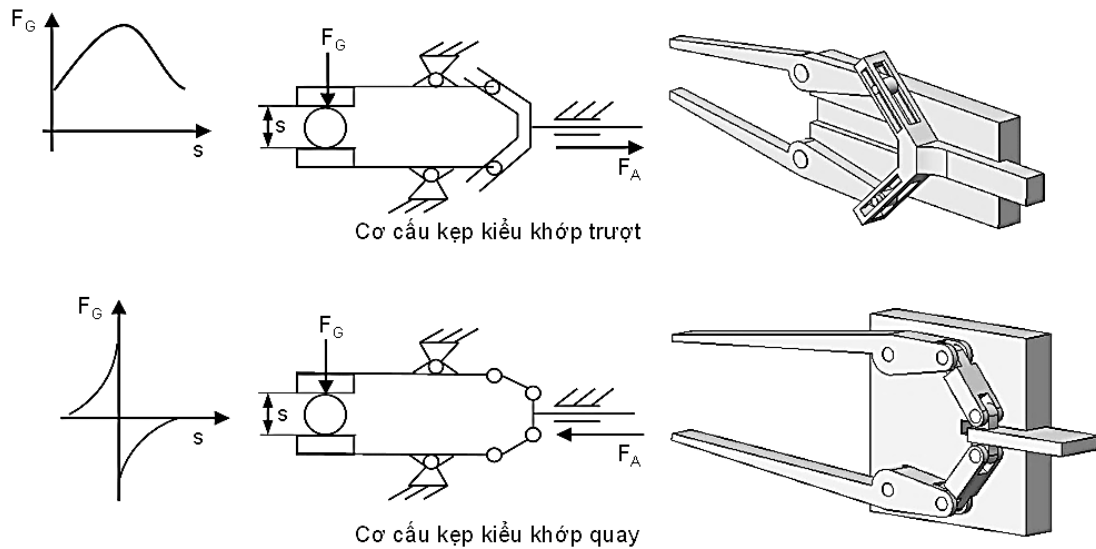
Tùy thuộc vào hình dáng cũng như độ nhạy cảm của bề mặt vật thể mà người sử dụng chọn loại má kẹp cũng như lực kẹp phù hợp (Hesse, 2011).

Với cơ cấu kẹp cơ khí, lực dẫn động sẽ được truyền qua các khâu liên kết đến vị trí má kẹp. Xác định quan hệ giữa lực dẫn động và lực kẹp cũng như quan hệ lực kẹp và khoảng cách má là điều quan trọng trong quá trình thiết kế cơ cấu kẹp. Qua đó mới có thể xác định được lực dẫn động cũng như kích thước cơ cấu kẹp (Volmer, 1992).

Trong phạm vi cho phép, mỗi loại cơ cấu kẹp có thể được sử dụng để kẹp các vật thể có khối lượng và kích thước khác nhau. Khi thay đổi các vật thể khác nhau thì phải xác định lại lực kẹp cho

*Tác giả liên hệ

E-mail: tan.nguyen-dang@s2011.tu-chemnitz.de



Hình 1. Đặc tính lực kẹp và hành trình kẹp.

mỗi trường hợp cụ thể, nghĩa là lực kẹp đó có gây hư hại vật thể hay nó có đủ lớn để giữ vật thể trong quá trình thao tác hay không. Tính lực kẹp hiện nay vẫn dựa vào mối quan hệ hình học và kích thước các khâu của cơ cấu kẹp. Việc xác định theo phương pháp truyền thống này trở nên khó khăn hơn nếu cơ cấu kẹp phức tạp với nhiều khâu liên kết (Volmer, 1995).

Nghiên cứu này sẽ đề cập đến giải pháp nhanh chóng và thuận lợi cho việc tính toán cũng như thiết kế cơ cấu kẹp nhờ công cụ mô phỏng Motion Skelette của phần mềm PTC Creo. Thông qua công cụ này sẽ giúp người thiết kế phác thảo nhanh cơ cấu kẹp và xác định trực quan được quan hệ lực dẫn động và lực kẹp cũng như quan hệ lực kẹp và khoảng cách má kẹp. Xuất phát từ yêu cầu xây dựng đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp cho các loại cơ cấu kẹp khác nhau bằng biện pháp mô phỏng, bài báo tập trung vào nghiên cứu hai nội dung sau:

Thứ nhất: Mối liên hệ giữa lực dẫn động và lực kẹp cũng như liên hệ giữa lực kẹp và vị trí má kẹp. Các thông số này bị ảnh hưởng như thế nào nếu thay đổi kích thước của các khâu truyền động cũng như cơ cấu kẹp.

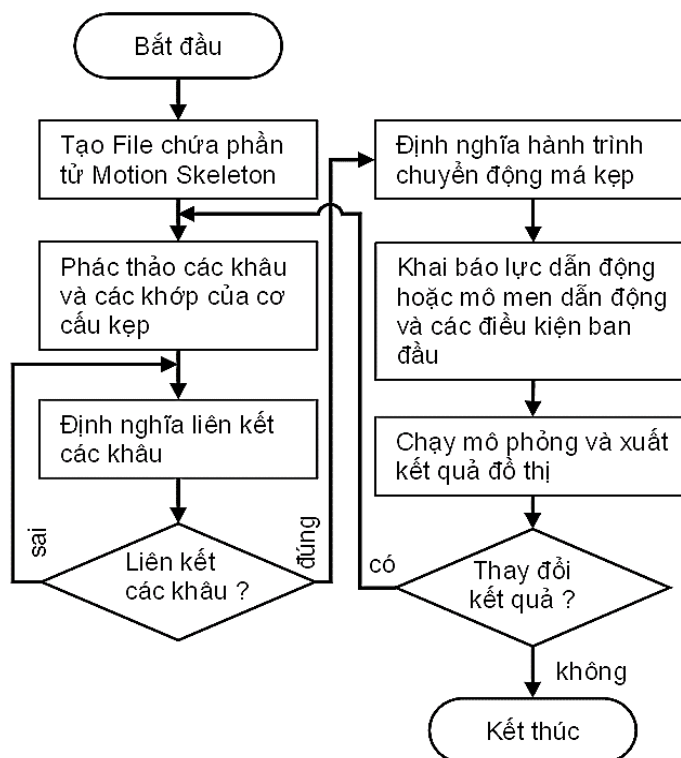
Thứ hai: Xây dựng đồ thị lực kẹp và hành trình kẹp bằng mô phỏng thông qua biện pháp phác thảo và khai báo các thông số đầu vào.

2. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Hiện nay có nhiều loại cơ cấu kẹp cơ khí khác

nhau được sử dụng trong công nghệ lắp ráp, tùy thuộc vào đối tượng lắp ráp mà người dùng có thể chọn hoặc thiết kế cơ cấu kẹp phù hợp. Để tính lực kẹp cho mỗi loại cần phải xây dựng sơ đồ động học của cơ cấu kẹp, sau đó thiết lập biểu thức toán học và giải các phương trình toán (Park và nnk., 2004), (Wang, 2002). Để tránh làm hư hại vật lắp ráp trên bề mặt má kẹp có thể gắn thêm các túi cao su và thay đổi áp suất của các túi cho mỗi vật thể khác nhau (Choi và Koc, 2006). Bằng việc phân tích, đánh giá ảnh hưởng của các thông số hình học giữa khâu truyền động đến vị trí má kẹp mà có thể tìm ra kích thước tối ưu cho cơ cấu kẹp (Huang và nnk., 2011), (Datta và Deb, 2011). Ứng với mỗi loại cơ cấu kẹp có thể thay đổi các má kẹp có chiều dài khác nhau để dùng cho các vật thể có kích thước khác nhau. (Wolf và nnk., 2005) nghiên cứu chiều dài của má kẹp ảnh hưởng đến lực kẹp cũng như mô men trong sơ đồ động học của cơ cấu kẹp. Qua đó xác định chiều dài lớn nhất cho phép của má kẹp. Tuy nhiên nghiên cứu này lại không chỉ ra mối quan hệ của lực kẹp theo hành trình má kẹp.

S. Hesse (Hesse, 2011) chỉ ra rằng, với cơ cấu kẹp cơ khí thì điều quan trọng nhất là lực truyền động từ cơ cấu dẫn động đến má kẹp, tức là sự biến đổi như thế nào giữa lực dẫn động và lực kẹp qua hành trình má kẹp (như Hình 1). Để có thể xác định giá trị lực kẹp F_G (N) ứng với hành trình má kẹp s (mm) ứng với lực dẫn động F_A (N) cho trước thì cần phải có số liệu thực tế trên đồ thị này. Tuy nhiên Hesse chỉ đưa ra mối quan hệ tổng thể giữa lực kẹp và hành trình má kẹp.



Hình 2. Các bước thực hiện mô phỏng.

Trong bài giảng Công nghệ Lắp ráp và Robot (Berger, 2011), các cơ cấu kẹp cũng như đường đặc tính lực kẹp được sử dụng để giảng dạy cho sinh viên ngành Cơ khí, Đại học Kỹ thuật Chemnitz. Tuy nhiên, trong giáo trình này cũng không chỉ ra phương pháp xây dựng các đường đặc tính này.

Do vậy, xây dựng đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp bằng phương pháp mô phỏng là giải pháp đơn giản và thuận lợi mà không phải tính toán bằng thủ công hay viết chương trình tính.

3. Phương pháp nghiên cứu

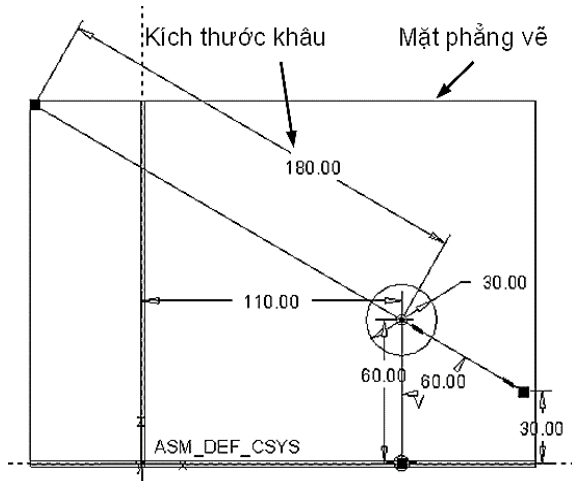
3.1. Xây dựng đồ thị bằng phương pháp mô phỏng bởi công cụ Motion Skeleton

Motion Skeleton của PTC/Creo Parametric là công cụ cho phép phác thảo các khâu và khớp liên kết. Nó cho phép người dùng có thể phác họa nhiều khâu liên kết cơ khí đơn giản và nhanh chóng. Ngoài ra Motion Skeleton còn cho phép định nghĩa liên kết các khâu này và mô phỏng chuyển động các khâu (Heine, 2009). Vì vậy, bài báo này sử dụng Motion Skeleton để phác thảo cơ cấu kẹp cơ khí cũng như xây dựng các đồ thị của nó. Để phác thảo mô hình cũng như mô phỏng thì

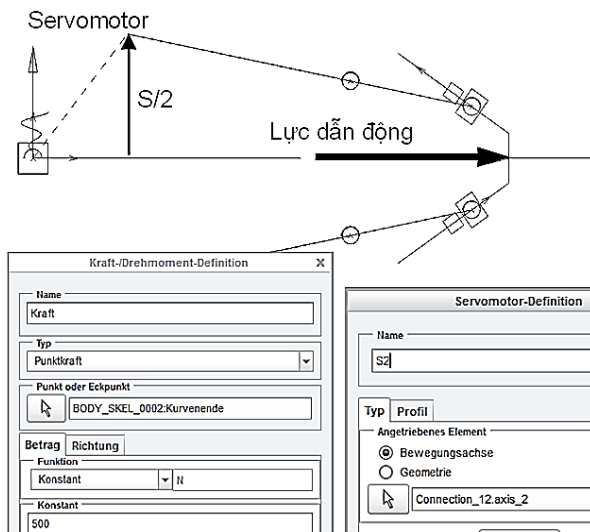
cần thực hiện qua các bước như trên Hình 2.

Trước tiên cần tạo File phác thảo cơ cấu bằng Motion Skeleton và xác định các khâu cũng như khớp thuộc những mặt phẳng nào để định nghĩa mặt phẳng phác thảo. Bản phác thảo sẽ được tạo ra trên mặt phẳng của Motion Skeleton bằng „Skizze“. Motion Skeleton hiển thị các thông số hình học của cơ cấu phác thảo và cho phép người dùng có thể thay đổi các kích thước bằng nhập số liệu từ bàn phím hoặc dùng chuột di chuyển các khâu một cách dễ dàng (như Hình 3).

Sau khi các khâu và khớp được phác thảo thì chúng cần phải được định nghĩa các liên kết. Việc định nghĩa các liên kết này rất quan trọng vì nó đảm bảo đúng số lượng bậc tự do của cơ cấu cũng như liên kết các khâu. Ngay sau khi phác thảo cơ cấu thì Motion Skeleton đã tự động định nghĩa liên kết các khâu. Tuy nhiên phần lớn những tự động định nghĩa liên kết này là siêu liên kết, tức là khống chế quá bậc tự do của các liên kết, do đó cơ cấu sẽ không chuyển động được. Do vậy, phải phân tích liên kết các khâu cũng như loại khớp để định nghĩa lại những liên kết này và phải xóa đi các liên kết thừa. Sau khi định nghĩa lại các liên kết này, cần phải kiểm tra chuyển động các khâu của mô hình để xác định lại những liên kết đã định nghĩa.



Hình 3. Phác thảo cơ cấu bằng Skizze.



Hình 4. Khai báo Servomotor và lực dẫn động.

Tiếp theo cần phải định nghĩa mặt phẳng chuyển động chứa má kẹp. Tùy vào kích thước của đối tượng kẹp mà hành trình má kẹp s sẽ được xác định và khai báo bằng Servomotor. Sau đó, chiều và độ lớn lực dẫn động F_A được định nghĩa (như Hình 4).

Tùy thuộc vào độ lớn của cơ cấu kẹp mà khối lượng các khâu của mô hình có thể khai báo hoặc bỏ qua. Trong ví dụ này, khối lượng các khâu nhỏ nên gán khối lượng của chúng bằng 10^{-6} kg.

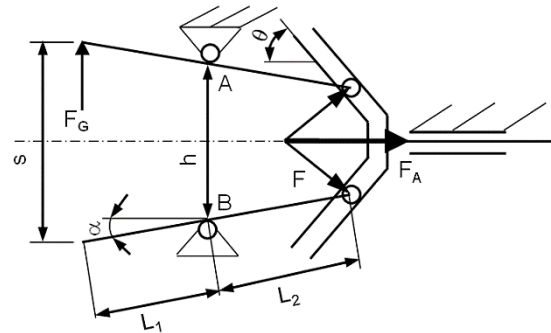
Cuối cùng cần phải hiển thị đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp. Motion Skeleton cho phép xác định không những các thông số động học mà còn động lực học các khâu của cơ cấu kẹp. Để xác định quan hệ giữa lực kẹp và hành trình kẹp cần các thông số khai báo như Bảng 1.

Bảng 1. Thông số khai báo cho mô phỏng.

Tên	Kiểu	Tham số
Lực kẹp	Phản lực tại má kẹp	Dựa vào giá trị Servomotor „S/2“, theo chiều trục Y tại vị trí má kẹp tiếp xúc với vật kẹp.
S/2	Vị trí	Hành trình lớn nhất của má kẹp.
s	Tự định nghĩa	Khoảng cách giữa hai má kẹp (mm) và được xác định $s = 2 \cdot (S/2)$.

Bảng 2. Khai báo thông số cho đồ thị.

Kiểu đồ thị	Thông số trên trục x	Thông số trên trục y
Độ lớn	s (biểu diễn hành trình trên trục x)	Lực kẹp



Hình 5. Sơ đồ cấu tạo kẹp kiểu khớp trượt.

Để xuất kết quả đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp sau khi chạy mô phỏng ra màn hình cần chọn các thông số cần xuất ra đồ thị, nó được xác định như sau (Bảng 2).

Nhờ vào đồ thị mà có thể xác định độ lớn của lực kẹp F_G và hành trình s . Bằng cách thay đổi lực dẫn động F_A hoặc thay đổi lại kích thước hoặc kết cấu của cơ cấu kẹp sẽ được các đồ thị khác nhau.

3.2. Xây dựng đồ thị bằng phương pháp toán học

Cùng với việc thiết lập đồ thị bằng phương pháp mô phỏng, căn cứ vào mối quan hệ hình học của các khâu của cơ cấu kẹp mà biểu thức toán học cho mối liên hệ giữa lực kẹp và hành trình má kẹp sẽ được xây dựng. Nhờ việc sử dụng phần mềm PTC Mathcad sẽ tính lực kẹp cũng như vẽ đồ thị. Trong ví dụ này sẽ thiết lập cho cơ cấu kẹp kiểu khớp trượt trên Hình 1. Sơ đồ tính được chỉ ra ở Hình 5.

Trong đó: $L_1, L_2, h, \alpha, \theta$: các thông số hình học của cơ cấu kẹp; s : khoảng cách hai má kẹp; F_A : lực dẫn động; F_G : lực kẹp hay phản lực tại má kẹp; F : thành phần lực phân tích trên mỗi tay đòn.

Căn cứ thông số hình học ở Hình 5 thì lực tác động lên mỗi cánh tay đòn được xác định như sau:

$$F = \frac{F_A}{2 \cdot \cos(90^\circ - \theta)} = \frac{F_A}{2 \cdot \sin\theta} \quad (1)$$

Lực F gây ra mô men tại gối đỡ A:

$$M_F(A) = \frac{F_A}{2 \cdot \sin\theta} \cdot L_2 \cdot \cos(\theta - \alpha) \quad (2)$$

Lực kẹp F_G gây ra mô men quanh gối đỡ A:

$$M_{F_G}(A) = F_G \cdot L_1 \cdot \cos\alpha \quad (3)$$

Từ phương trình (2) và (3) thì lực F_G được xác định:

$$F_G = \frac{F_A}{2 \cdot \sin\theta \cdot L_1 \cdot \cos\alpha} \cdot L_2 \cdot \cos(\theta - \alpha) \quad (4)$$

Quan hệ hành trình s phụ thuộc thông số hình học của cơ cấu và được xác định như sau:

$$s = h + 2 \cdot L_1 \cdot \sin\alpha \quad (5)$$

Với cơ cấu kẹp loại này thì góc má kẹp phải thuộc phạm vi cho phép, tức là hành trình má kẹp nhỏ nhất $s_{\min} = 0$ và hành trình má kẹp lớn nhất bị ràng buộc bởi góc θ của khâu dẫn. Do đó, góc nghiêng của má kẹp α bị hạn chế như sau:

$$\alpha_{\max} = \theta, \alpha_{\min} = -\arcsin \frac{h}{2 \cdot L_1} \quad (6)$$

Căn cứ vào công thức (4), (5) và (6) ứng với các giá trị của cơ cấu cho trước $L_1, L_2, h, \alpha, \theta$ và lực kẹp F_A thì sẽ tính được lực kẹp F_G và hành trình kẹp s . Do đó sẽ vẽ được đồ thị của lực kẹp và hành trình má kẹp.

Ứng với mỗi loại kẹp khác nhau có cấu trúc khác nhau, do đó mối quan hệ giữa lực kẹp và má kẹp khác nhau. Muốn xác định phải căn cứ vào liên kết các khâu của cơ cấu cũng như hình dáng hình học của chúng. Trong bài báo chỉ ví dụ cho một trường hợp, còn cho các trường hợp khác cũng xác định tương tự.

4. Kết quả và thảo luận

Để so sánh cũng như đánh giá giữa phương pháp mô phỏng và phương pháp tính bằng biểu thức toán học, các thông số cho trước của cơ cấu kẹp được khai báo giống nhau (như Bảng 3). Khai báo các thông số trong Bảng 3 cho phương pháp mô phỏng bằng Motion Skeleton sẽ thu được đồ thị như Hình 6. Với loại kẹp này thì lực kẹp tăng

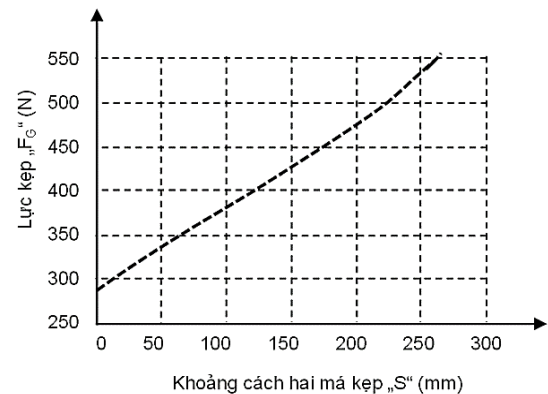
Bảng 3. Thông số hình học cơ cấu kẹp kiểu khớp trượt.

Thông số	Độ lớn
L_1	150 mm
L_2	80 mm
h	100 mm
θ	35°
F_A	500 N

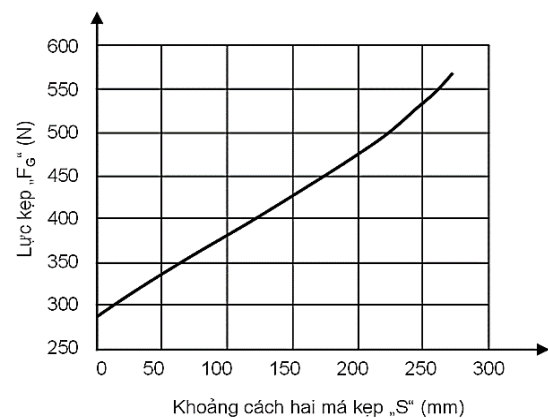
theo khoảng cách hai má kẹp.

Để viết chương trình tính cũng như vẽ đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp bằng phần mềm Mathcad thì các thông số ban đầu trên bảng 3 phải được khai báo cũng như phải căn cứ vào biểu thức (4), (5) và (6). Kết quả đồ thị được tạo ra bằng Mathcad được thể hiện trên Hình 7.

So sánh kết quả ở Hình 6 và Hình 7 cho thấy hai đồ thị hoàn toàn giống nhau về hình dáng cũng như giá trị. Tuy nhiên, để kiểm nghiệm cũng như đánh giá phương pháp này thì không chỉ loại kẹp này mà các loại kẹp khác trong tài liệu Hesse (Hesse, 2011) cũng được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp toán học.



Hình 6. Đồ thị bằng Motion Skeleton.



Hình 7. Đồ thị bằng Mathcad.

So sánh kết quả thu được từ Hình 6 với đồ thị trên Hình 1 (cơ cấu kẹp kiểu khớp trượt) cho thấy hình dáng đường đặc tính lực kẹp khác nhau. Trên Hình 1, lực kẹp tăng dần theo khoảng cách má kẹp và đến một khoảng cách nào đó thì lực kẹp lại giảm đi. Do đó, có thể kết luận đồ thị trên Hình 1 là không chính xác.

Kết quả thu được là tất cả các đồ thị bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp toán học cho những loại kẹp khác trong tài liệu Hesse (Hesse, 2011) đều có kết quả giống nhau. Do đó, có thể khẳng định phương pháp mô phỏng bằng Motion Skeleton hoàn toàn tin cậy.

5. Kết luận

Sử dụng công cụ Motion Skeleton của PTC Creo cho phép người dùng phác thảo cơ cấu kẹp nhanh chóng, mô phỏng chuyển động các khâu cũng như xây dựng đồ thị quan hệ lực kẹp và má kẹp.

Căn cứ vào thông số hình học, bài báo đã thiết lập biểu thức toán học cũng như vẽ đồ thị quan hệ lực kẹp và má kẹp bằng Mathcad. Mục đích để kiểm tra lại tính chính xác của phương pháp mô phỏng bằng Motion Skeleton cho những cơ cấu kẹp cơ khí khác nhau.

Phương pháp mô phỏng có thể ứng dụng cho nhiều loại cơ cấu kẹp khác nhau từ đơn giản đến phức tạp. Mô phỏng bằng Motion Skeleton là công cụ đơn giản nhưng hiệu quả và chính xác. Nó là biện pháp hữu hiệu để để xác định lực kẹp theo hành trình má kẹp cho những cơ cấu kẹp khác nhau cũng như lực dẫn động khác nhau mà không phải thiết lập công thức toán học để tính toán cũng như lập trình để vẽ đồ thị.

Ứng với mỗi loại cơ cấu kẹp có thể cung cấp đường đồ thị lực kẹp và hành trình má kẹp. Do đó người dùng có thể tra trực tiếp giá trị lực kẹp ứng với khoảng cách má kẹp

Tài liệu tham khảo

Berger, M., 2011. Montage, Handhabungstechnik und Robotik. Vorlesung Wintersemester 2011/2012, Technische Universität Chemnitz.

Choi, H; Koc, M., 2006. Design and feasibility tests of a flexible gripper based on inflatable rubber pockets. *International Journal of Machine Tools & Manufacture, Science Direct*. p. 1350-1361.

Datta, R.; Deb, K., 2011. Optimizing and deciphering design principles of robot gripper configuration using an evolutionary multi-objective optimization method. *KanGAL Report Number 2011002*, India. p. 1-10.

Heine, A., 2009. Kinematische Analyse ebener und räumlicher Getriebestrukturen mit Hilfe von Motion-Skeletonen. Saxsim 28.04.2009, Technische Universität Chemnitz. p. 1-25.

Hesse, S., 1991. Greifer-Praxis. *Vogel Fachbuch*, Würzburg.

Hesse, S., 2011. Greifertechnik - Effektoren für Roboter und Automaten. *Carl Hanser Verlag*, München.

Huang, M. S.; Lin, T. Y., Fung, R. F., 2011. Key design parameters and optimal design of a five-point double-toggle clamping mechanism. *Applied mathematical Modelling, Science Direct*. p. 4304-4320.

Park, B. J., Yi, B. J., Kim, W. K., 2004. Design and analysis of a new parallel grasper having spherical motion. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on intelligent Robots and Systems*. p. 106-111.

Volmer, J., 1992. Industrieroboter - Funktion und Gestaltung. *Verlag Technik GmbH Berlin*, München.

Volmer, J., 1995. Getriebetechnik - Grundlage. *Verlag Technik GmbH Berlin*, München.

Wang, J., 2002. Intelligent gripper design and application for automated part recognition and gripping. *Port Elizabeth Technikon*, South Africa.

Wolf, A., Steinmann, R., Schunk, H., 2005. Grippers in Motion. *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.

ABSTRACT

A method for the simulation of gripping force vs. finger displacement for mechanical grippers

Tan Nguyen Dang, Maik Berger

*Faculty of Mechanical Engineering, Chemnitz University of Technology, No. 70 Reichenhainer Str,
09126 Chemnitz, Germany*

When a mechanical gripper is used to grasp objects of different weights and dimensions, the gripping force must be shrewdly calculated in each specific scenario, due to its dependence on the finger opening while the driving force is unchanged. In this paper, the movement of translational linkage grippers is simulated using Motion Skeleton of PTC Creo, based on which a graph of the gripping force vs. finger displacement is depicted. To evaluate the accuracy of this method, a mathematical model is established, describing the relationship between these two quantities, whose corresponding graph is then drawn using Mathcad. The results of these approaches indeed prove to be identical. This simulation method allows gripper designers to develop and optimize their products owing to the simple verification of the quality of the gripper dimensions.