

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**



**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG**

**TỐI ƯU ĐƯỜNG CONG NURBS TRONG TÍNH TOÁN THIẾT
KẾ CƠ CẤU CAM CẢN LẮC ĐÁY CON LĂN**

Mã số: T2020-B80

Chủ nhiệm đề tài: TS. NGUYỄN THỊ THANH NGÀ

THÁI NGUYÊN, NĂM 2021

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

**TỐI ƯU ĐƯỜNG CONG NURBS TRONG TÍNH TOÁN THIẾT
KẾ CƠ CẤU CAM CẦN LẮC ĐÁY CON LĂN**

Mã số: T2020-B80

Xác của tổ chức chủ trì
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS. TS. Vũ Ngọc Pi

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ tên)



TS. Nguyễn Thị Thanh Nga

NỘI DUNG

DANH MỤC HÌNH VẼ	3
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	5
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	6
INFORMATION ON RESEARCH RESULTS.....	8
MỞ ĐẦU.....	10
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	10
2. Nội dung nghiên cứu	10
3. Kết quả nghiên cứu.....	10
4. Cấu trúc của đề tài	11
CHƯƠNG I	12
NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ THIẾT KẾ CƠ CẤU CAM.....	12
1. Giới thiệu về cơ cấu cam	12
2. Các khái niệm cơ bản về cơ cấu cam	13
2.1. Khái niệm cơ cấu cam.....	13
2.2. Các khái niệm cơ bản của cơ cấu cam	17
3. Tổng quan về thiết kế cam.....	19
Các hàm toán học cơ bản mô tả chuyển động của cần	19
4. Tính toán thiết kế cơ cấu cam.....	22
CHƯƠNG 2.....	25
TỐI ƯU THAM SỐ CỦA ĐƯỜNG CONG NURBS TRÊN CƠ SỞ TÍNH CHẤT ĐỘNG HỌC CỦA CƠ CẤU CAM CẦN LẮC ĐÁY CON LĂN .	25
1. Phương trình toán học mô tả chuyển động của cần.....	25
2. Hàm mục tiêu.....	27
3. Thuật giải mô phỏng luyện kim.....	28
4. Tính toán biên dạng cam	29
5. Result and discussion.....	30
6. Kết luận chương.....	34
CHƯƠNG 3.....	36
TỐI ƯU THAM SỐ NURBS TRÊN CƠ SỞ TÍNH CHẤT ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ THỐNG CAM VỚI CẦN LẮC ĐÁY CON LĂN	36

1. Mô tả đường cong NURBS cho chuyển động của cần.....	36
2. Bài toán tối ưu	37
3. Kết quả và thảo luận	38
4. Kết luận.....	41
CHƯƠNG 4.....	42
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	42
1. Kết luận.....	42
2. Hướng nghiên cứu tiếp theo	43
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	44

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. (a) Cam đĩa; (b) Cam tịnh tiến; (c) Cam thùng; (d) Cam mặt.	15
Hình 2. Cam đĩa với: (a) Cam lệch tâm và cần đáy nhọn; (b) Cam chính tâm và cần đáy bằng; (c) Cam cần lắc đáy con lăn; (d) Cam cần lắc đáy cong.	16
Hình 3. Các kiểu ràng buộc tiếp xúc của cam và cần	16
Hình 4. Cơ cấu cam cần đẩy, đáy con lăn	17
Hình 5. Chuyển vị của cần	19
Hình 6. Hàm đa thức bậc 3, 5 và bậc 7 mô tả chuyển động của cần giai đoạn đi xa: chuyển vị, vận tốc, gia tốc và xung	20
Hình 7. Hàm điều hòa và cycloit mô tả chuyển động của cần giai đoạn đi xa: chuyển vị, vận tốc, gia tốc và xung	20
Hình 8. Hàm piecewise polynomial thỏa mãn 5 điều kiện biên của đường cong biểu thị chuyển vị của cần	21
Hình 9. Hàm Bezier mô tả chuyển động của cần [23]	22
Hình 10. Cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn	25
Hình 11. Đồ thị chuyển vị	33
Hình 12. Đồ thị vận tốc	33
Hình 13. Đồ thị gia tốc	33
Hình 14. Đồ thị xung	34
Hình 15. Biên dạng cam	34
Hình 16. Mô hình động lực học của hệ thống cam một bậc tự do	38

Hình 17. Ảnh hưởng của giá trị các nút của NURBS tới chuyển vị của cần	40
Hình 18. Đặc tính động học của của cần: chuyển vị, vận tốc, gia tốc và xung	40
Hình 19. Biểu đồ biểu diễn lực tiếp xúc giữa cam và cần	41

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Các ký hiệu	12
Bảng 2. Thuật giải mô phỏng luyện kim để tìm kiếm giá trị tối ưu tham số NURBS	28
Bảng 3. Các điều kiện biên trong giai đoạn đi xa của cơ cấu cam trong máy cắt.	32
Bảng 4. Input parameters and their value range	39

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

Tên đề tài: *Tối ưu đường cong NURBS trong tính toán thiết kế cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn*

- Mã số: T2020-B80

- Chủ nhiệm đề tài: *TS. Nguyễn Thị Thanh Nga*

- Tổ chức chủ trì: Trường Đại học kỹ thuật Công nghiệp

- Thời gian thực hiện: Từ tháng 9 năm 2020 đến tháng 9 năm 2021

2. Mục tiêu:

Xây dựng đường cong NURBS cho chuyển động của cần. Tiếp theo đó là xây dựng bài toán tối ưu về động học, động lực học của cơ cấu cam. Từ đó tìm ra các thông số tối ưu của đường cong NURBS cho thiết kế cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn.

3. Tính mới và sáng tạo:

Đã đề xuất một phương pháp mới cho việc tính toán thiết kế cam cần lắc đáy con lăn.

4. Kết quả nghiên cứu:

- Nghiên cứu tổng quan về cơ cấu cam, các biệt thiết kế cơ cấu cam;
- Nghiên cứu áp dụng đường cong NURBS để mô tả chuyển động của cần trong cơ cấu cam;
- Các hàm đa mục tiêu về động học và động lực học cũng được đưa ra;
- Phương pháp mô phỏng luyện kim được trình bày để giải các phương trình hàm mục tiêu phi tuyến;

- Ví dụ về tính toán thiết kế cơ cấu cam cần lắc đẩy con lăn cũng được đưa ra với các kết quả đạt được cải thiện hơn so với cơ cấu cam ban đầu.

5. Sản phẩm:

02 bài báo trong danh mục Scopus Q4

1. Nguyen Thi Thanh Nga, optimization of NURBS parameters for calculating cam mechanisms with oscillating roller follower, Lecture Notes in Mechanical Engineering, the 12th International Conference on Materials Processing and Characterization 2021, accepted on September 24, 2021;
2. Nguyen Thi Thanh Nga, Nguyen Van Sy, Tran Minh Quang, Knot vector optimization for high speed cam mechanisms based on dynamic characteristics, the 4th International Conference Engineering Research and Applications 2021, Lecture Notes in Networks and Systems, accepted.

6. Khả năng áp dụng và phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu:

- Áp dụng cho việc nâng cao chất lượng giảng dạy và học tập các học phần Nguyên lý máy cho ngành Kỹ thuật cơ khí;
- Dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, cho thiết kế liên quan đến tính toán thiết kế cơ cấu cam.

Cơ quan chủ trì

Ngày tháng năm 2021

K.T. HIỆU TRƯỞNG

Chủ nhiệm đề tài

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS. TS. Vũ Ngọc Pi

TS. Nguyễn Thị Thanh Nga

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

- Title: *NURBS parameter optimization for designing cam mechanisms*

- Code number: **T2020-B80**

- Group leader: Nguyen Thi Thanh Nga, Ph.D.

- Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

- Duration: from 9/2020 to 9/2021

2. Objective(s):

The characteristics of kinematics and dynamics of cam systems play an important role in cam design. The optimization of kinematic characteristics and dynamics is still essential for investigation of cam systems. An optimization of NURBS parameters for calculating cam mechanisms was proposed. In this research, the NURBS function is used to describe motion curves. In order to obtain a good kinematic and dynamic characteristics of the cam follower systems, the parameters of NURBS including weights and knots are considered to optimize the maximum values of acceleration and jerk and the contact force. The cam profile was also established with the examination of the pressure angle. Examples demonstrate that the results obtained by optimal NURBS bring an important significance for the cam follower systems.

3. Creativeness and innovativeness:

This project proposed a new method to design cam mechanisms for cam follower systems.

4. Research results:

1. Literature review for cam mechanisms in synthesis and design;
2. Applying the NURBS curve for description of the follower motion;

3. Bringing the multi-objective function in kinematics and dynamics of the cam systems;
4. Using simulated annealing algorithm for solving the non-linear equation;
5. Examples for design cam demonstrate that the kinematic and dynamic characteristics are improved.

5. Products:

02 papers, Scopus Q4

1. Nguyen Thi Thanh Nga, optimization of NURBS parameters for calculating cam mechanisms with oscillating roller follower, Lecture Notes in Mechanical Engineering, the 12th International Conference on Materials Processing and Characterization 2021, accepted on September 24, 2021;
2. Nguyen Thi Thanh Nga, Nguyen Van Sy, Tran Minh Quang, Knot vector optimization for high speed cam mechanisms based on dynamic characteristics, the 4th International Conference Engineering Research and Applications 2021, Lecture Notes in Networks and Systems, accepted.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Cơ cấu cam là cơ cấu rất linh hoạt bởi nó có thể tạo ra chuyển động đầu ra bất kỳ mà người thiết kế mong muốn. Vì vậy, cho đến nay việc tính toán thiết kế cơ cấu cam vẫn được nhiều nghiên cứu quan tâm. Một số nghiên cứu trình bày các hàm toán học cơ bản để mô tả chuyển động của cơ cấu cam. Nhiều nghiên cứu đã đưa ra phương pháp tạo ra đường cong trơn cho các đồ thị SVAJ sử dụng hàm đa thức. Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đề cập đến hàm spline để mô tả chuyển động của cần, Một số nghiên cứu đã mô tả chuyển động của cần bằng đường B-spline, các điểm điều khiển được đề cập đến để tính toán thỏa mãn cho các yêu cầu đầu ra. Đường cong NURBS cũng được sử dụng cho chuyển vị của cần. Việc tính toán trọng số của đường cong NURBS với các điều kiện biên trong cơ cấu cam cũng được đề cập đến những năm gần đây.

Có thể thấy rằng việc tính toán tối ưu cho cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn chưa được đề cập đến. Hơn nữa tìm các thông số tối ưu của đường cong NURBS cho thiết kế cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn cũng chưa có nghiên cứu nào đưa ra. Vì vậy, trong nghiên cứu này tác giả đề cập đến việc tính toán đường cong NURBS để thiết kế cơ cấu cam cần lắc đáy con lăn.

2. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan về cơ cấu cam, thiết kế cơ cấu cam, động học và động lực học cơ cấu cam;
- Thiết lập phương trình NURBS cho chuyển động của cần;
- Xây dựng bài toán tối ưu dựa trên các yêu cầu về động học và động lực học để tối ưu các tham số của đường cong NURBS;

3. Kết quả nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan về cơ cấu cam, các biệt thiết kế cơ cấu cam;

- Nghiên cứu áp dụng đường cong NURBS để mô tả chuyển động của cần trong cơ cấu cam;
- Các hàm đa mục tiêu về động học và động lực học cũng được đưa ra;
- Phương pháp mô phỏng luyện kim được trình bày để giải các phương trình hàm mục tiêu phi tuyến;
- Ví dụ về tính toán thiết kế cơ cấu cam cần lắc đẩy con lăn cũng được đưa ra với các kết quả đạt được cải thiện hơn so với cơ cấu cam ban đầu.

4. Cấu trúc của đề tài

Cấu trúc của đề tài gồm: Chương 1 trình bày tổng quan về cơ cấu cam và tính toán thiết kế cơ cấu cam. Chương 2 trình bày tính toán tối ưu các tham số của đường cong NURBS với mục tiêu là gia tốc và xung là đạt giá trị nhỏ nhất. Tiếp theo, chương 3 trình bày tính toán tối ưu véc tơ nút của đường cong NURBS nhằm cực tiểu hóa giá trị lực tiếp xúc giữa cam và cần. Cuối cùng, chương 4 sẽ ghi lại những kết luận đã làm được trong đề tài này.

CHƯƠNG I

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ THIẾT KẾ CƠ CẤU CAM

1. Giới thiệu về cơ cấu cam

Cơ cấu cam được sử dụng rộng rãi trong nhiều loại máy như sử dụng cho việc đóng mở súp páp của động cơ đốt trong, sử dụng trong nhiều loại máy gia công cơ khí. So sánh với cơ cấu dạng thanh, cơ cấu cam dễ thiết kế khi cho yêu cầu cụ thể của yêu cầu đầu ra; tuy nhiên cơ cấu cam khó chế tạo hơn so với cơ cấu dạng thanh.

Chương này sẽ đề cập đến các khái niệm cơ bản về cơ cấu cam. Các loại cơ cấu cam và những cơ cấu cam thông dụng thường dùng trong các hệ thống cơ khí.

Bảng 1. Các ký hiệu

t	Thời gian (s)
θ	Góc quay trục cam ($^{\circ}$ hoặc rad)
ω	Vận tốc góc của trục cam (rad/s)
β	Góc quay ở một giai đoạn của cam (đi xa, đứng xa, về gần hoặc đứng gần)
L	Hành trình của cần (chiều dài)
$S(y)$	Chuyển vị của cần (chiều dài)
$V(y')$	Vận tốc của cần (chiều dài/rad)
$v(\dot{y})$	Vận tốc dài của cần (chiều dài/s)
$A(y'')$	Vận tốc của cần (chiều dài/rad ²)
$a(\ddot{y})$	Gia tốc dài của cần (chiều dài/s ²)
$J(y''')$	Xung (chiều dài/rad ³)
R_b	Bán kính vòng tròn cơ sở thực (chiều dài)
R_p	Bán kính vòng tròn cơ sở lý thuyết (chiều dài)
R_f	Bán kính con lăn (chiều dài)

ε	Tâm sai (chiều dài)
ρ	Bán kính cong của bề mặt cam thực (chiều dài)
ρ_p	Bán kính cong của bề mặt cam lý thuyết (chiều dài)

2. Các khái niệm cơ bản về cơ cấu cam

2.1. Khái niệm cơ cấu cam

Cơ cấu cam là một cơ cấu trong đó khâu bị dẫn (được gọi là cần) nối với khâu dẫn (cam) bằng khớp cao và chuyển động qua lại theo quy luật do hình dạng của bề mặt tiếp xúc trên khâu dẫn quyết định.

Cơ cấu cam có thể được phân loại theo nhiều cách như: theo chuyển động của cần, theo hình dạng của cam, phân loại theo dạng đáy cần, cam chính tâm và lệch tâm.

Phân loại theo chuyển động của cần

Tùy thuộc vào chuyển động của cần: cần chuyển động tịnh tiến (Hình 1.1a, b, d; Hình 1.2a, b), cần chuyển động quay hay lắc (Hình 1.1c; Hình 1.2c, d).

Phân loại theo hình dạng của cam

Tùy theo hình dạng của cam, trên Hình 1.1 phân ra 4 loại cam như sau:

- Cam phẳng hay còn gọi là cam đĩa (Hình 1.1a).
- Cam tịnh tiến (Hình 1.1b).
- Cam thùng (Hình 1.1c).
- Cam mặt (Hình 1.1d).

Trong các loại cam nêu trên hình Hình 1.1a thì cam cam đĩa được dùng phổ biến nhất, còn cam tịnh tiến hiếm khi được sử dụng bởi vì đầu vào thường sử dụng dạng chuyển động quay liên tục.

Theo hình dạng đáy cần

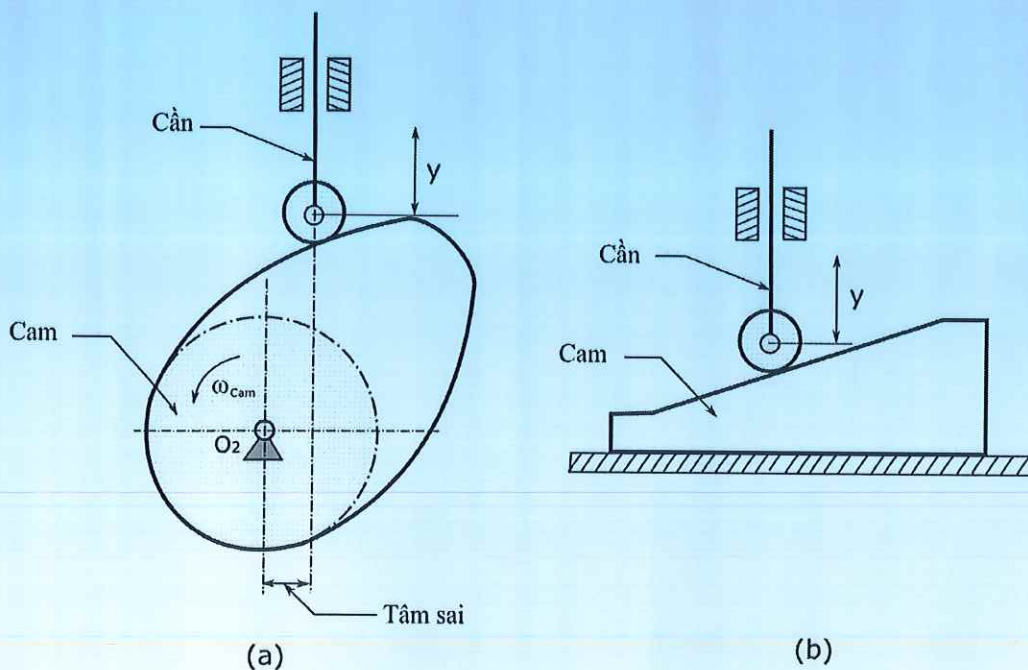
Trên hình Hình 1.2 chỉ ra các loại hình dạng đáy cần như sau:

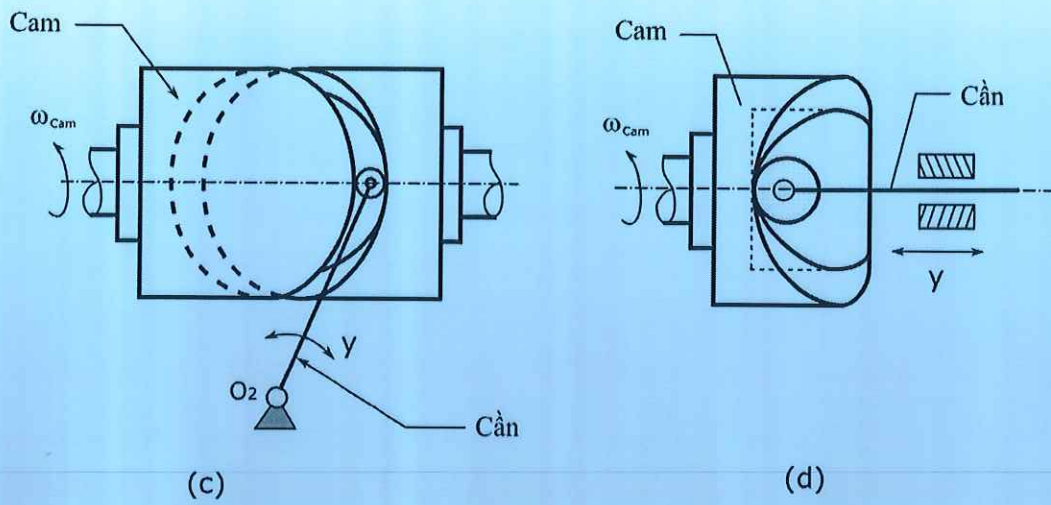
- Cần đáy nhọn (Hình 1.2a).
- Cần đáy bằng (Hình 1.2b).

- Cần đáy con lăn (Hình 1.2c).
- Cần đáy cong (Hình 1.2d).

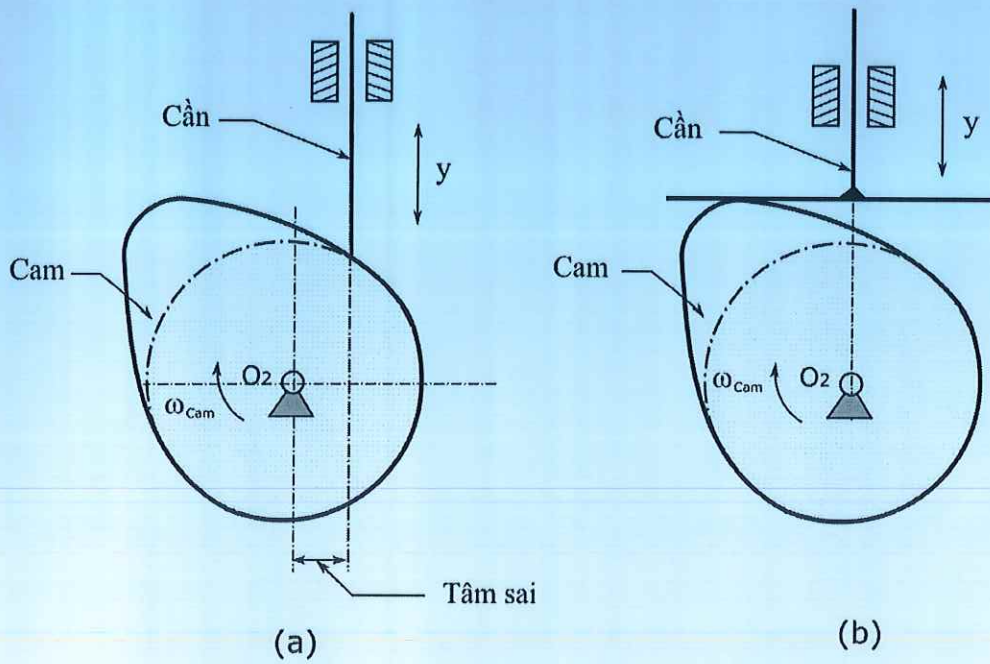
Loại cam: Cam chính tâm (Hình 1.2b), cam lệch tâm (Hình 1.2a).

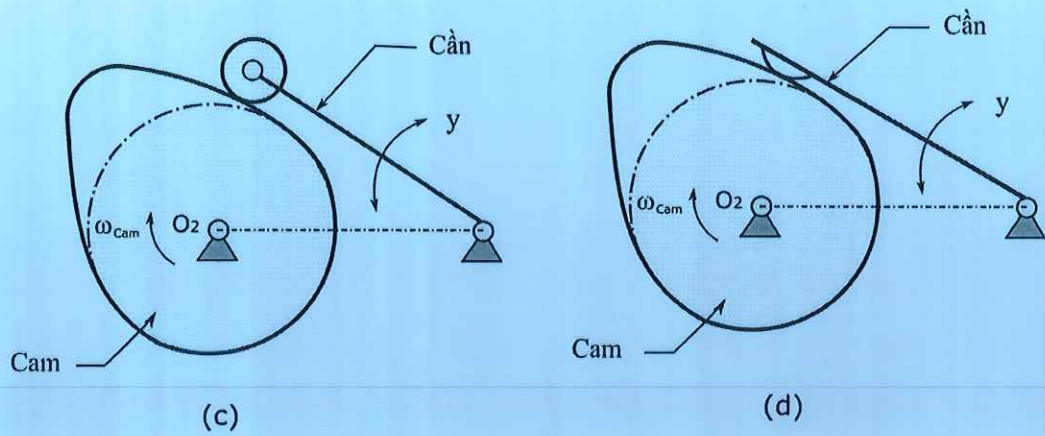
Trong quá trình làm việc của cơ cấu cam phải luôn đảm bảo rằng cam và cần luôn tiếp xúc với nhau. Điều này có thể được thực hiện bởi phụ thuộc và trọng lượng, hoặc sử dụng lực lò xo, hoặc là được ràng buộc bởi kết cấu. Chẳng hạn như Hình 1.1c sự tiếp xúc liên tục của cam và cần được thực hiện nhờ vào kết cấu của rãnh cam; hoặc kết cấu của cần như Hình 1.3c. Một cách khác để luôn giữ tiếp xúc giữa cam và cần là sử dụng cam đều cũ như Hình 1.3a.





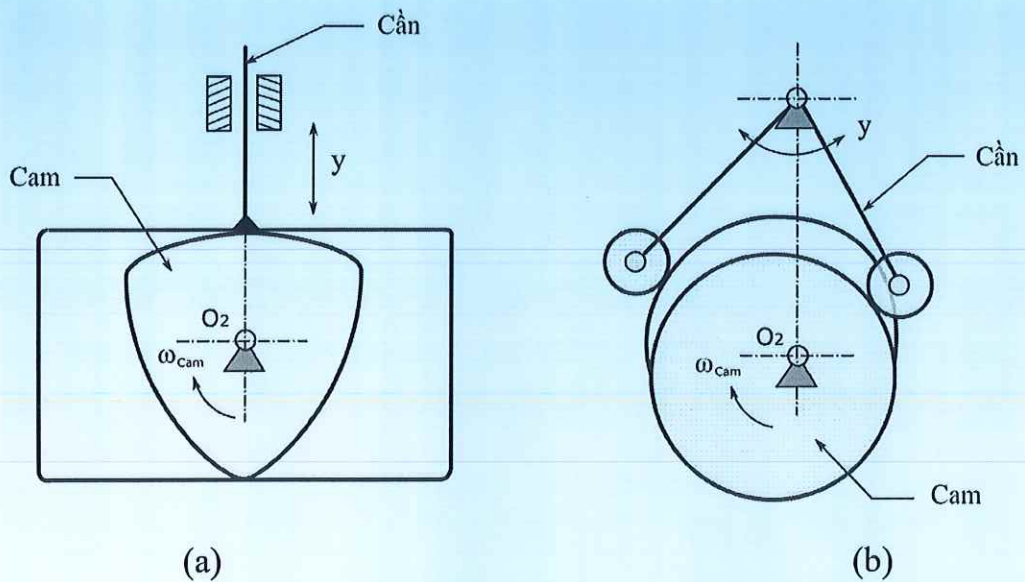
Hình 1. (a) Cam đĩa; (b) Cam tịnh tiến;
 (c) Cam thùng; (d) Cam mặt.





Hình 2. Cam đĩa với:

- (a) Cam lệch tâm và cần đáy nhọn;
- (b) Cam chính tâm và cần đáy bằng;
- (c) Cam cần lắc đáy con lăn;
- (d) Cam cần lắc đáy cong.



Hình 3. Các kiểu ràng buộc tiếp xúc của cam và cần

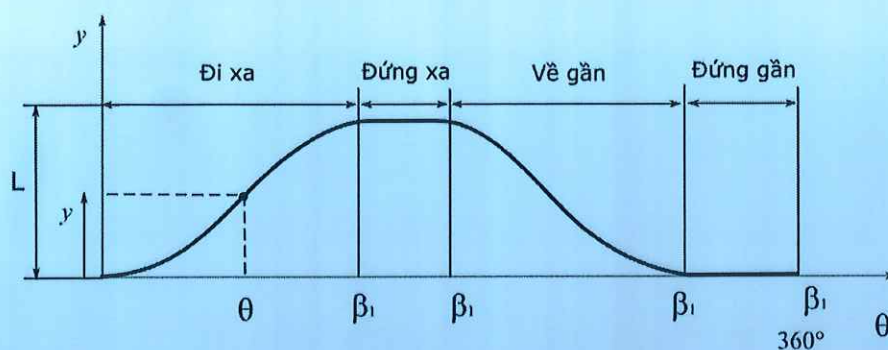
- Giai đoạn đi xa (rise): là giai đoạn cần chuyển động dần dần xa tâm cam (đoạn CB trên Hình 1.4).
- Giai đoạn về gần (return or fall): là giai đoạn cần chuyển động về gần tâm cam (đoạn AD trên Hình 1.4).

Tùy thuộc vào yêu cầu làm việc của hệ thống, chuyển động của cơ cấu cam có thể có hai giai đoạn đi xa - về gần; có thể có ba giai đoạn như đi xa – về gần – dừng; hoặc có bốn giai đoạn như đi xa – đứng xa – về gần – đứng gần; hoặc có nhiều hơn bốn giai đoạn là sự kết hợp của các giai đoạn trên tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế.

Chuyển vị của cần (displacement diagram)

Thông thường hệ thống sử dụng cơ cấu cam có một bậc tự do. Thường dẫn động cho trục cam quay với vận tốc góc không đổi để tạo ra chuyển động mong muốn của cần. Khi cam qua hết một vòng thì cần sẽ vạch lên một quỹ đạo là mối quan hệ góc quay của cam $\theta(t)$ và chuyển vị của cần y và được gọi là chuyển vị của cần. Trên Hình 1.5 chỉ ra chuyển vị của cần cho cơ cấu cam với cần chuyển động tịnh tiến gồm bốn giai đoạn: đi xa – đứng xa – về gần – đứng gần. Giá trị lớn nhất của chuyển vị cần trong giai đoạn đi xa được gọi là hành trình của cần (L) như chỉ ra trên Hình 1.4 và Hình 1.5.

Các góc quay của cam ứng với các giai đoạn chuyển động của cần được gọi là các góc định kỳ, ký hiệu là β_i . Trên Hình 1.5 các góc định kỳ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ tương ứng với 4 giai đoạn chuyển động của cần: đi xa, đứng xa, về gần và đứng gần.



Hình 5. Chuyển vị của cần

3. Tổng quan về thiết kế cam

Các hàm toán học cơ bản mô tả chuyển động của cần

Phương trình chuyển vị của cần quyết định rất nhiều đến động học và động lực học của cam được thiết kế. Có nhiều nghiên cứu đã đưa ra các phương trình toán học cơ bản cho chuyển vị của cần như hàm đa thức, hàm điều hòa, hàm cycloid [1–3]. Hàm đa thức được sử dụng rộng rãi trong thiết kế. Nhiều nghiên cứu sử dụng hàm đa thức bậc $p = 3$, $p = 5$ và $p = 7$ mô tả chuyển động của cần [1,2,4,5]. Với hàm đa thức bậc 3 phải thỏa mãn 4 điều kiện biên, với hàm bậc 5 thì 6 điều kiện biên và hàm đa thức bậc 7 thỏa mãn 8 điều kiện biên. Hình 6 mô tả đồ thị chuyển vị, vận tốc, gia tốc và xung của cần sử dụng hàm đa thức bậc 3, 5 và bậc 7. Nhiều nghiên cứu sử dụng hàm đa thức để thiết kế tối ưu động học cơ cấu cam [6–8]. Hàm lượng giác cũng được sử dụng cho thiết kế cam [9–13]. Đối với hàm điều hòa có nhược điểm là đường cong mô tả gia tốc không liên tục ở điểm đầu và điểm cuối. Do đó, đường cong xung sẽ nhận giá trị vô cùng tại hai vị trí này. Điều này không mong muốn trong thiết kế cam. Hình 7 mô tả đường cong chuyển vị, vận tốc, gia tốc và xung của cần sử dụng hàm điều hòa và hàm cycloid.