

# ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN ĐỂ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG LÀM VIỆC CỦA CƠ CẤU VÍT ME - ĐAI ỐC TRONG THIẾT BỊ THỬ NGHIỆM Lò XO

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TO ASSESS THE  
WORKABILITY OF THE BALLCREW AND NUT ACCESORY IN SPRING  
TESTING DEVICE

Phạm Ngọc Nguyên, Trần Hồng Quân, Chu Kim Hùng  
Trung tâm Công nghệ Cơ khí chính xác, Viện Khoa học - Công nghệ Quân sự

## TÓM TẮT

*Bài báo trình bày phương pháp tính toán ảnh hưởng của ngoại lực trong quá trình làm việc đến khe hở giữa trục vít và đai ốc của bộ truyền động trong thiết bị thử nghiệm lò xo.*

**Từ khóa:** Chuyển vị; Thiết bị thử lò xo.

## ABSTRACT

*This article presents the method of calculating the influence of external forces during operation on the clearance between the screw and the nut of the actuator in spring test equipment.*

**Keywords:** Displacement, spring test equipment.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thiết bị thử nghiệm lò xo điều khiển bằng máy tính có hệ thống truyền động nhằm biến chuyển động quay của động cơ thành chuyển động tịnh tiến tạo lực kéo - nén lò xo. Điều kiện hoạt động trơn, êm của hệ thống là chuyển vị của hệ thống tại vị trí liên kết đai ốc phải nhỏ hơn khe hở trục vít - đai ốc theo chỉ tiêu đã công bố của nhà sản xuất. Trong bài toán này, ta đi tính toán chuyển vị của hệ dưới tác dụng của lực kéo - nén lò xo. Sau đó, so sánh kết quả tính toán với giá trị cho phép.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Xây dựng mô hình kết cấu, xác định vị trí, phương và giá trị lực. Đặt các giả thiết, điều kiện biên để tính toán chuyển vị tại vị trí đã xác định bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Nghiên cứu một số ảnh hưởng đến biến dạng của hệ.

Xuất phát từ chỉ tiêu kỹ thuật khe hở cho phép cụm vít me - đai ốc của hãng Hiwin thể hiện trong (Bảng 1).

Việc tính toán, lựa chọn thông số về kích thước, khả năng chịu tải của hệ thống dẫn hướng, cụm trục vít me đai ốc bi đã được thực hiện trong nội dung nghiên cứu. Kết quả lựa chọn thông số của cụm cơ cấu trục vít đai ốc bi là: Đường kính danh nghĩa = 25 mm; Bước vít me, đai ốc = 5 mm.

Ta tiến hành xây dựng mô hình kết cấu và đặt bài toán tính chuyển vị tại vị trí lắp, so sánh với chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu.

Bảng 1. Khe hở hướng kính cho phép của đai ốc bi và trục vít:

Kích thước danh nghĩa (mm)	Khe hở hướng kính cho phép lớn nhất giữa trục vít và đai ốc (mm)	Khe hở hướng kính cho phép lớn nhất giữa giá đai ốc và giá lắp đai ốc (mm)
Ø4 ÷ Ø14 cỡ nhỏ	0.05	0.015
Ø15 ÷ Ø40 cỡ vừa	0.08	0.025
Ø50 ÷ Ø100 cỡ lớn	0.12	0.05

Thực hiện tính toán khe hở giữa trục vít và đai ốc trong 2 trường hợp: Lực kéo lớn nhất và lực nén lớn nhất bằng cách tính chuyển vị tương đối giữa trục vít và đai ốc trong khoảng chiều dài tiếp xúc của hai chi tiết. So sánh kết quả chuyển vị lớn nhất với giá trị đã cho trong bảng 1.

Hệ thống làm việc tốt (không bị kẹt) nếu giá trị chuyển vị lớn nhất thỏa mãn điều kiện:

$$\delta_{\max} = \text{Max}(\delta_i) \leq [\delta] \quad (1)$$

Trong đó,  $[\delta]$ - Giới hạn chuyển vị, hay

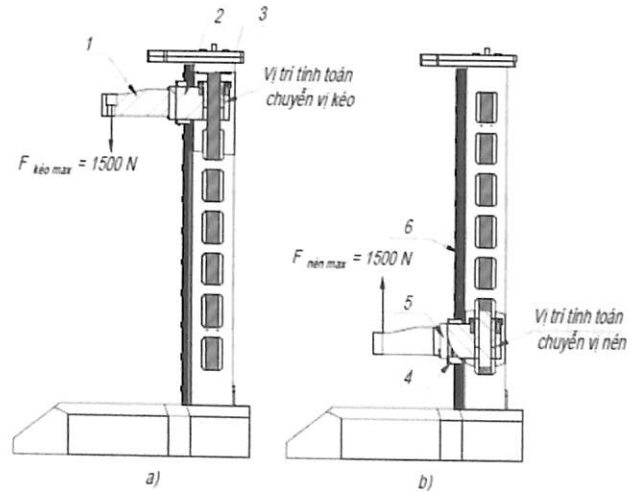
khe hở hướng kính cho phép lớn nhất giữa vít me và đai ốc (tra trong bảng 1).

Từ kết quả thiết kế bản vẽ sản phẩm, ta có kết cấu của hệ thống như hình vẽ (Hình 1) và trường hợp chịu tải tương ứng. Hệ thống bao gồm các bộ phận:

Tấm giá (5) liên kết cứng với 2 con trượt (4) bởi 8 bu lông M8 dài 20. Con trượt bi tuần hoàn chuyển động tịnh tiến so với ray trượt dẫn hướng (6), ở trạng thái tĩnh ta coi đây là liên kết ngàm. Hai ray trượt này được liên kết cứng với thân máy bởi 10 bu lông M6 dài 20.

Chi tiết tay đòn (1) và giá đỡ đai ốc (2) được liên kết cứng và đồng phẳng trên tấm giá (5).

Đai ốc bi (7) lắp đồng tâm với lỗ trên giá đỡ. Mỗi ghép với vít me là mỗi ghép chuyển động tương đối qua rãnh bi tuần hoàn có khe hở.



Hình 1. Kết cấu của thiết bị và vị trí chịu tải:

a) Mô hình tính toán trong trường hợp kéo;

b) Mô hình tính toán trong trường hợp nén;

1 - Tay đòn; 2 - Giá lắp đai ốc;

3 - Đai ốc; 4 - Con trượt;

5 - Tấm giá; 6 - Ray trượt dẫn hướng.

Xây dựng mô hình, đặt điều kiện và tính toán chuyển vị tuyệt đối giữa trục vít me và đai ốc trên một mặt cắt sau khi có tác dụng lực.

Các điều kiện, giả thiết:

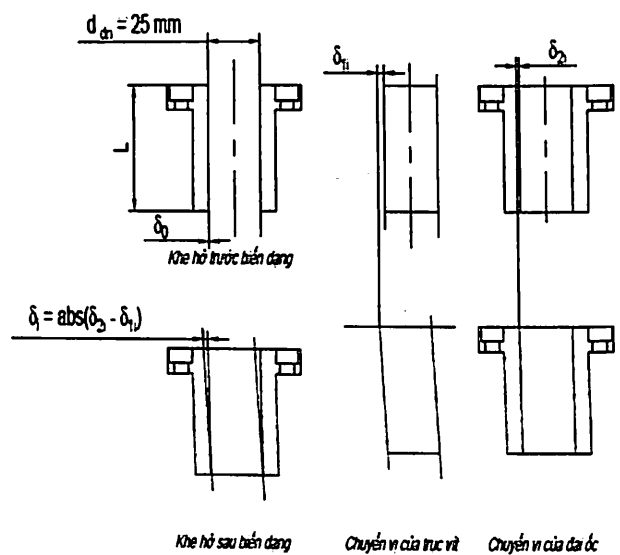
Điều kiện: Vị trí đặt lực là tâm của lỗ bu lông lắp cơ cấu nối đối tượng thử nghiệm là lò xo. Chiều đặt lực là chiều phản lực đàn hồi của lò xo lên hệ. Cụ thể, đối với lò xo nén, chiều đặt lực hướng lên trên và ngược lại, chiều đặt lực hướng xuống dưới trong trường hợp kéo. Giá trị phản lực lớn nhất đạt được khi hành trình kéo lớn nhất hoặc nén nhỏ nhất. Giá trị lực để tính toán ta chọn 1.500 N theo thiết kế.

Sai số về hình dáng hình học, dung sai kích thước đã được đảm bảo từ yếu tố công nghệ chế tạo máy.

Giả thiết: Bỏ qua biến dạng của bu lông, các mối ghép là mối ghép cứng. Chuyển vị tại các bề mặt tiếp xúc của 2 chi tiết là bằng nhau.

Khe hở ban đầu của trục vít, đai ốc bị  $\delta = 0$  mm. Do hệ thống làm việc với tốc độ chậm ( $0 \div 1200$ ) mm/ph và thời gian dừng đọc giá trị là  $1 \div 5$  giây. Ta coi như lực tác dụng là lực tĩnh.

Sử dụng phương pháp tính toán sức bền với hệ có dạng dầm liên tục một đầu ngàm. Giải bài toán chuyển vị bằng phương pháp phân tử hữu hạn với sự hỗ trợ của phần mềm Solidworks theo các điều kiện biên là các giả thiết đã chọn ta được mô hình tính như sau (Hình 2):



Hình 2. Mô hình tính chuyển và khe hở cụm trục vít - đai ốc vị dưới tác dụng của tải trọng

Xác định tiết diện chứa phương của ngoại lực và đường tâm của chi tiết trục vít như hình 2.

Trước khi có ngoại lực tác dụng, khe hở  $\delta_0$  giữa đai ốc và trục vít  $\delta_0 = 0$  mm theo giả thiết.

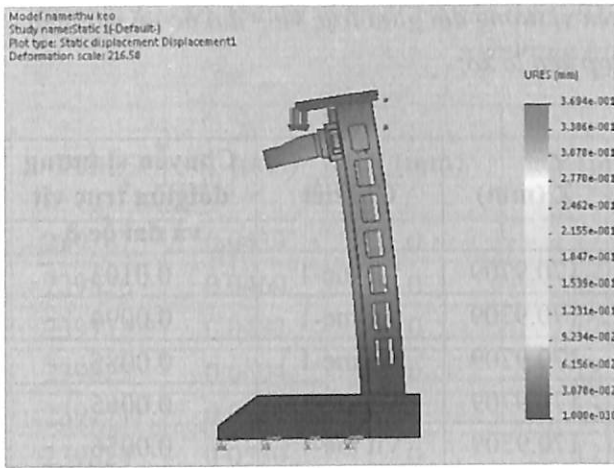
Dưới tác dụng của ngoại lực, hệ bị biến dạng và gây ra chuyển vị với:  $\delta_{1i}$  là chuyển vị tuyệt đối của trục vít;  $\delta_{2i}$  là chuyển vị tuyệt đối của đai ốc tại điểm bất kỳ trên chiều dài tiếp xúc (L) trục vít - đai ốc.

Chuyển vị tương đối giữa trục vít và đai ốc tại điểm thứ i được xác định bởi công thức:

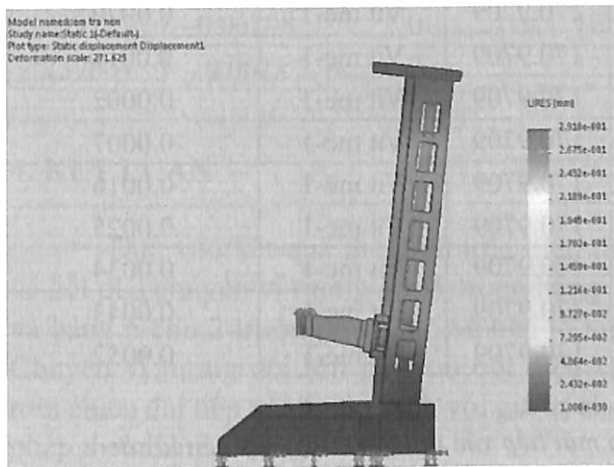
$$\delta_i = |\delta_{2i} - \delta_{1i}| \quad (2)$$

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

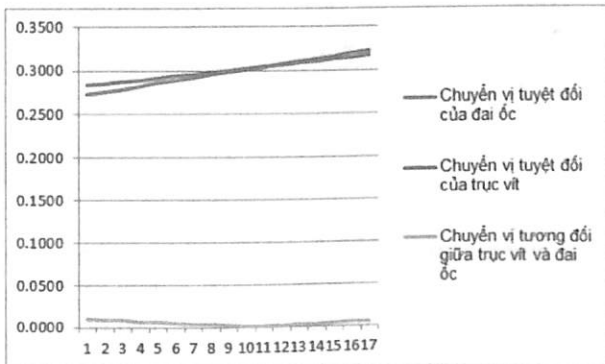
Kết quả ứng suất, chuyển vị của trục vít và đai ốc trong hai trường hợp kéo và nén lò xo tại chiều dài L được thể hiện trên bảng 2 và biểu đồ.



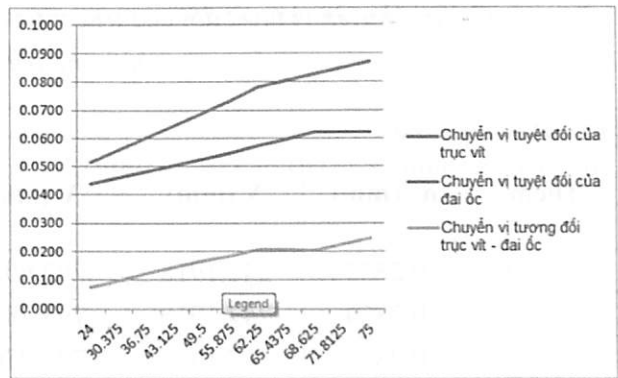
Hình 3. Chuyển vị của hệ thống khi chịu tác động của ngoại lực trong trường hợp kéo lò xo.



Hình 4. Chuyển vị của hệ thống khi chịu tác động của ngoại lực trong trường hợp nén lò xo.



Hình 5. Chuyển vị tương đối của trục vít so với đai ốc trên chiều dài tiếp xúc trong trường hợp kéo lò xo.



Hình 6. Chuyển vị tương đối của trục vít so với đai ốc trên chiều dài tiếp xúc trong trường hợp nén lò xo.

Bảng 2. Giá trị chuyển vị tuyệt đối của đai ốc tại mặt tiếp xúc trong trường hợp kéo lò xo:

Điểm	$\delta_{11}$ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Chi tiết
2141	0.2730	247.1918	195.59	792.6018	Dai ốc-1
2653	0.2760	247.1918	195.59	795.7894	Dai ốc-1
2182	0.2790	247.1918	195.59	798.9769	Dai ốc-1
2652	0.2830	247.1918	195.59	802.1643	Dai ốc-1
2178	0.2860	247.1918	195.59	805.3519	Dai ốc-1
2651	0.2890	247.1918	195.59	808.5393	Dai ốc-1
2181	0.2920	247.1918	195.59	811.7269	Dai ốc-1
2650	0.2950	247.1918	195.59	814.9144	Dai ốc-1
2176	0.2980	247.1918	195.59	818.1018	Dai ốc-1
2649	0.3010	247.1918	195.59	821.2894	Dai ốc-1
2180	0.3040	247.1918	195.59	824.4769	Dai ốc-1
2648	0.3070	247.1918	195.59	827.6643	Dai ốc-1
2177	0.3100	247.1918	195.59	830.8519	Dai ốc-1
2647	0.3130	247.1918	195.59	834.0393	Dai ốc-1
2179	0.3160	247.1918	195.59	837.2269	Dai ốc-1
2646	0.3190	247.1918	195.59	840.4144	Dai ốc-1
2154	0.3220	247.1918	195.59	843.6018	Dai ốc-1

## NGHIÊN CỨU - TRAO ĐỔI

Bảng 3. Giá trị chuyển vị tuyệt đối của trục vít và chuyển vị tương đối giữa trục vít – đai ốc tại mặt tiếp xúc trong trường hợp kéo lò xo:

Điểm	$\delta_{21}$ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Chi tiết	Chuyển vị tương đối giữa trục vít và đai ốc $\delta_1$
216796	0.2833	247.1918	792.6018	170.9709	Vít me-1	0.0103
216952	0.2854	247.1918	795.7894	170.9709	Vít me-1	0.0094
216810	0.2875	247.1918	798.9769	170.9709	Vít me-1	0.0085
216953	0.2895	247.1918	802.1643	170.9709	Vít me-1	0.0065
216808	0.2916	247.1918	805.3519	170.9709	Vít me-1	0.0056
216954	0.2937	247.1918	808.5393	170.9709	Vít me-1	0.0047
216811	0.2958	247.1918	811.7269	170.9709	Vít me-1	0.0038
216955	0.2979	247.1918	814.9144	170.9709	Vít me-1	0.0029
216807	0.3000	247.1918	818.1018	170.9709	Vít me-1	0.0020
216956	0.3021	247.1918	821.2894	170.9709	Vít me-1	0.0011
216812	0.3042	247.1918	824.4769	170.9709	Vít me-1	0.0002
216957	0.3063	247.1918	827.6643	170.9709	Vít me-1	0.0007
216809	0.3084	247.1918	830.8519	170.9709	Vít me-1	0.0016
216958	0.3105	247.1918	834.0393	170.9709	Vít me-1	0.0025
216813	0.3126	247.1918	837.2269	170.9709	Vít me-1	0.0034
216959	0.3147	247.1918	840.4144	170.9709	Vít me-1	0.0043
216798	0.3168	247.1918	843.6018	170.9709	Vít me-1	0.0052

Bảng 4. Giá trị chuyển vị tuyệt đối của đai ốc tại mặt tiếp xúc trong trường hợp nén lò xo:

Điểm	$\delta_{11}$ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Chi tiết
3898	0.0514	0	12.5	24	Đai ốc-1
4131	0.0559	0	12.5	30.375	Đai ốc-1
3896	0.0603	0	12.5	36.75	Đai ốc-1
4127	0.0648	0	12.5	43.125	Đai ốc-1
3895	0.0692	0	12.5	49.5	Đai ốc-1
4128	0.0737	0	12.5	55.875	Đai ốc-1
3897	0.0781	0	12.5	62.25	Đai ốc-1
4129	0.0804	0	12.5	65.4375	Đai ốc-1
3869	0.0826	0	12.5	68.625	Đai ốc-1
4130	0.0848	0	12.5	71.8125	Đai ốc-1
3868	0.0870	0	12.5	75	Đai ốc-1

Bảng 5. Giá trị chuyển vị tuyệt đối của trục vít và chuyển vị tương đối giữa trục vít - đai ốc tại mặt tiếp xúc trong trường hợp nén lò xo:

Điểm	$\delta_{ii}$ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Chi tiết	Chuyển vị tương đối giữa trục vít và đai ốc $\delta_i$
239767	0.0439	0	12.5	24	Trục vít-1	0.00758
239826	0.0460	0	12.5	30.375	Trục vít-1	0.00987
239773	0.0482	0	12.5	36.75	Trục vít-1	0.01213
239825	0.0504	0	12.5	43.125	Trục vít-1	0.01435
239771	0.0527	0	12.5	49.5	Trục vít-1	0.01654
239824	0.0550	0	12.5	55.875	Trục vít-1	0.01869
239772	0.0573	0	12.5	62.25	Trục vít-1	0.02081
239823	0.0597	0	12.5	65.4375	Trục vít-1	0.02066
239770	0.06206	0	12.5	68.625	Trục vít-1	0.02052
239717	0.06208	0	12.5	71.8125	Trục vít-1	0.02272
239664	0.0621	0	12.5	75	Trục vít-1	0.02493

#### 4. KẾT LUẬN

Dựa vào kết quả thể hiện trên biểu đồ và kết quả chuyển vị tương đối  $\delta_i$  trong bảng 3 và bảng 5 cho 2 trường hợp kéo và nén lò xo. Chuyển vị tương đối lớn nhất tại tiết diện và trên chiều dài tiếp xúc L. So sánh với giá trị cho phép theo bảng 1 là:

-Trường hợp kéo lò xo: Chuyển vị tương đối lớn nhất.

$$\delta_{\max} = \text{Max}(\delta_i) = 0.0103 \text{ mm} < 0.08 [\delta].$$

-Trường hợp nén lò xo: Chuyển vị tương đối lớn nhất.

$$\delta_{\max} = \text{Max}(\delta_i) = 0.0249 \text{ mm} < 0.08 [\delta].$$

Chuyển vị thực tế nhỏ hơn khe hở cho phép của cụm chi tiết truyền động trục vít - đai ốc đã được nhà sản xuất công bố.

Với kết cấu và tải đã lựa chọn, hệ đảm bảo yêu cầu làm việc trơn, êm. ❖

Ngày nhận bài: 12/10/2018

Ngày phản biện: 20/10/2018

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển; *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*, NXB. Giáo dục, 2006.
- [2]. Paul M. Kurowski, Ph.D., P.Eng: *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation*, 2011.
- [3]. Hiwin Ballscrew Technical Information.