

PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH TĨNH VÀ ĐỘNG CỦA Lò XO TRỤ XẺ RÃNH

ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SLOTTED CYLINDRICAL SPRINGS

ThS. Nguyễn Thọ Sơn

Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: ntson@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Lò xo trụ có xẻ rãnh là một loại lò xo độc đáo và khác thường với hình dạng 3D đặc biệt. Có rất ít hoặc thậm chí không có tài liệu nào về hành vi ứng xử của loại lò xo này dưới các tải trọng tĩnh và động. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu đặc tính của lò xo dưới tải trọng tĩnh và động bằng phương pháp phần tử hữu hạn với sự trợ giúp của phần mềm Abaqus. Các trường hợp nghiên cứu bao gồm lò xo xẻ 3 rãnh và lò xo xẻ 4 rãnh, phân tích va đập và tải trọng tĩnh, từ đó so sánh kết quả. Kết quả cho thấy lò xo trụ có xẻ rãnh phức tạp hơn khi chịu nén liên quan đến độ võng do tác dụng của tải trọng tĩnh hoặc động. Loại lò xo đặc biệt này có khả năng hấp thụ tải trọng đến một phạm vi mà lò xo thông thường không thể thực hiện được. Có thể thấy rõ rằng loại lò xo 4 rãnh có độ cứng cao hơn so với lò xo 3 rãnh. Trong trường hợp chịu tải trọng va đập, kết quả cho thấy quá trình biến dạng tăng đều theo đường cong xác định. Điều này thể hiện tính ưu việt khi chịu tải trọng động của lò xo xẻ rãnh.

Từ khóa: Lò xo trụ có rãnh; Phương pháp phần tử hữu hạn; Tĩnh học; Động học; Tải trọng va đập.

ABSTRACT

Slotted cylindrical springs are a unique and unusual type of spring with a special 3D shape. There is little or no literature on the behavior of this type of spring under static and dynamic loads. In this study, the authors studied the characteristics of springs under static and dynamic loads using the finite element method with the help of Abaqus software. The case studies include a 3-slot sawn spring and a 4-slot sawn spring, impact and static load analysis, and compare the results. The results show that slotted cylindrical springs are more complicated when subjected to compression related to deflection due to static or dynamic loads. This special type of spring is capable of absorbing loads to a range that conventional springs cannot. It can be clearly seen that the 4-groove spring has higher stiffness than the 3-groove spring. In the case of impact loading, the results show that the deformation process increases steadily according to the determined curve. This demonstrates the superiority of slotted springs when subjected to dynamic loads.

Keywords: Slotted cylindrical springs; Finite element method; Statics; Kinematics; Impact loads.



1. GIỚI THIỆU

Lò xo trụ có xẻ rãnh được sử dụng trong trường hợp lắp ráp nối tiếp các ống trụ theo phương dọc trục. Nó có khả năng tương đương với các loại lò xo thông thường khác về khả năng chịu nén hoặc kéo. Đôi khi còn sử dụng trong các trường hợp nối các ống có đường kính khác nhau. Có thể coi loại lò xo này như một khớp nối trục đàn hồi có khả năng truyền chuyển động quay và moment xoắn. Cấu tạo của lò xo có xẻ rãnh bao gồm một hình trụ rỗng có xẻ rãnh đối xứng theo phương hướng kính. Các thông số cụ thể của lò xo phụ thuộc vào hình dáng hình học, thông số vật liệu và khả năng chịu tải.

Lò xo trụ có xẻ rãnh cũng được quy định chịu lực dọc trục, tức là có độ cứng như các lò xo thông thường khác. Nó được sử dụng nhiều trong lĩnh vực công nghiệp như khớp nối, bộ chuyển đổi để tạo sóng, sử dụng trong xây dựng để giảm chấn khi động đất, sử dụng trong máy ép cỡ lớn để giảm tác động của chày lên khuôn.

Nhiệm vụ của lò xo nói chung được sử dụng để lưu trữ năng lượng và sử dụng năng lượng đó cho một mục đích cụ thể hoặc giải phóng năng lượng đó khi cần thiết. Tuy nhiên, trong một số trường hợp yêu cầu chiều dài của lò xo là cố định, khả năng đáp ứng yêu cầu làm việc trong một không gian nhỏ và có khả năng chịu lực cục bộ lớn thì đây là một ưu điểm lớn của loại lò xo có xẻ rãnh so với các loại lò xo thông thường. Việc sử dụng loại lò xo có xẻ rãnh trong lĩnh vực khuôn mẫu giúp ích nhiều cho những người nghiên cứu tính toán thiết kế khuôn với các dạng đặc thù mà không thể lựa chọn các loại lò xo truyền thống sẵn có.

Đây là lĩnh vực không mới do đã được các nhà nghiên cứu từ rất lâu năm nghiên cứu

tới như bài báo của Wilhem A.Schneider, 1963 [1] là người nghiên cứu đầu tiên và duy nhất về lò xo trụ có xẻ rãnh. Trong nghiên cứu của ông chỉ ra tính độc đáo về khả năng chịu tải cao, chuyển vị nhỏ của loại lò xo trụ có xẻ rãnh. Ngoài ra có một số nghiên cứu liên quan như B.Vijaya Lakshmi và I. Satyanarayana (2012) [2] đã nghiên cứu và phân tích tĩnh và động học trên lò xo lá composite trong xe hạng nặng. Ngoài ra còn nhiều công trình nghiên cứu của các nhà nghiên cứu trên thế giới về quá trình chuyển vị, các hàm tải – chuyển vị tuyến tính, phi tuyến như báo cáo khoa học của nhóm tác giả Christine Vehar Jutte và Sridhar Kota (2008) [3] hay nhóm tác giả KA Saianuraag & Bitragunta Venkata Sivaram (2012) [4].

Hầu hết các nghiên cứu đều chỉ ra các đặc tính, cơ tính của lò xo xoắn truyền thống hoặc lò xo dưới dạng lá nhíp. Chưa có nghiên cứu thấu đáo nào về dạng lò xo trụ có xẻ rãnh về các đặc tính tải tĩnh và động. Bài báo này trình bày quá trình nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng phân tích để dự đoán đặc tính cơ học của lò xo trụ có xẻ rãnh.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp tính toán phân tích

Theo nghiên cứu đã công bố của Wilhem A.Schneider, 1963 [1], mức độ lệch tổng thể của lò xo trụ có xẻ rãnh được tính toán theo công thức dưới đây:

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{n_{ss} \cdot L_s^3 \cdot P}{n_s \cdot 16 \cdot b \cdot h^3 \cdot E}$$

Trong đó:

- P là tổng lực tác dụng lên lò xo;
- E là modul đàn hồi của lò xo;
- L_s là chiều dài của rãnh xẻ;
- n_{ss} là số lượng của mặt cắt chứa rãnh;

- n_s là số lượng của rãnh trên một mặt cắt;
- b là chiều dày của khối trụ lò xo;
- h là chiều dày của phần vật liệu giữa hai rãnh;
- δ_{tot} là mức độ lệch tổng thể.

2.2. Phương pháp mô phỏng số

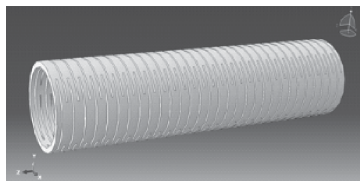
Abaqus là một phần mềm phân tích mô phỏng số sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Đây là phương pháp mới hạn chế cho việc chế thử và thí nghiệm đắt tiền, đôi khi là không cần thiết hoặc không có tính khả thi về mặt tiến hành hay kinh tế. Phần mềm đưa ra các lệnh để xây dựng một mô hình, xác định dạng phần tử chia lưới, áp điều kiện biên và tiến hành mô phỏng số. Bảng 1 và 2 dưới đây thể hiện tính chất vật liệu của lò xo xoắn rãnh và thông số hình dáng hình học của lò xo.

Bảng 1. Đặc tính cơ học của vật liệu sử dụng.

Vật liệu	Giới hạn chảy (Mpa)	Hệ số Poisson's	Khối lượng riêng (Kg/m ³)	Modul đàn hồi (Gpa)
Thép 65Mn	1030	0.33	7850	210

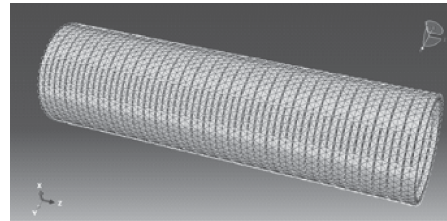
Bảng 2. Thông số hình dáng hình học của lò xo xoắn rãnh

Đường kính ngoài D_0	Đường kính trong D_i	Khoảng cách các rãnh	Chiều cao các rãnh	Số lượng rãnh
50.8mm	44.45mm	2.38mm	0.78mm	60



Hình 1. Mô hình hóa lò xo có xoắn rãnh bằng phần mềm Abaqus.

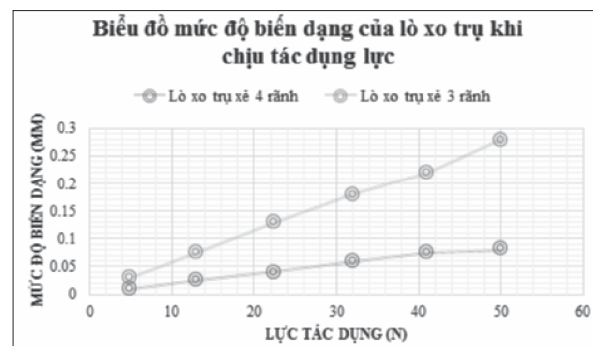
Sau đó chia lưới mô hình đã tạo. Phần tử lưới được chọn là dạng tứ diện do chi tiết có hình dạng phức tạp, đặc biệt có biên dạng tròn xoay. Việc chia lưới phù hợp là rất cần thiết, liên quan trực tiếp đến kết quả và thời gian mô phỏng. Chi tiết được chia thành 24189 phần tử tứ diện dạng C3D10.



Hình 2. Chia lưới lò xo trụ xoắn rãnh.

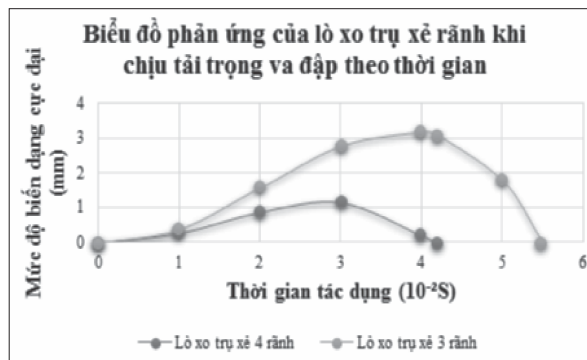
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Biểu đồ ở Hình 3 thể hiện mối quan hệ giữa lực tác dụng và mức độ biến dạng của lò xo trụ có rãnh. Kết quả cho thấy lò xo trụ xoắn 4 rãnh có độ cứng cao hơn so với lò xo trụ xoắn 3 rãnh, thể hiện qua giá trị biến dạng nhỏ hơn tại cùng một mức lực tác dụng. Sự khác biệt này chứng tỏ số lượng rãnh ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chịu tải của lò xo, trong đó lò xo có nhiều rãnh hơn sẽ có cấu trúc cứng vững và khả năng kháng biến dạng tốt hơn. Mối quan hệ gần tuyến tính giữa lực và biến dạng cũng cho thấy đặc tính đàn hồi của vật liệu được duy trì ổn định trong phạm vi khảo sát.



Hình 3. Mức độ biến dạng của lò xo trụ khi chịu tác dụng lực.

Biểu đồ ở Hình 4 mô tả phản ứng của lò xo trụ xẻ rãnh khi chịu tải trọng và đập theo thời gian. Có thể thấy lò xo trụ xẻ 3 rãnh có biên độ biến dạng cực đại lớn hơn đáng kể so với lò xo trụ xẻ 4 rãnh, chứng tỏ khả năng hấp thụ năng lượng và đập tốt hơn. Độ biến dạng của lò xo 3 rãnh tăng nhanh đến cực đại và giảm dần theo thời gian, phản ánh quá trình phân tán năng lượng xung lực hiệu quả. Trong khi đó, lò xo 4 rãnh có biên độ biến dạng nhỏ và thời gian phục hồi nhanh hơn, phù hợp với đặc tính của một hệ đàn hồi có độ cứng cao. Kết quả này cho thấy lò xo xẻ 3 rãnh có ưu thế trong các ứng dụng yêu cầu khả năng giảm chấn, còn lò xo 4 rãnh phù hợp với các cơ cấu cần phản hồi nhanh và ổn định hình dạng.



Hình 4. Mức độ biến dạng của lò xo trụ khi chịu tác dụng tải trọng và đập.

4. KẾT LUẬN

Dựa vào kết quả bài báo, có thể kết luận rằng số lượng rãnh ảnh hưởng rõ rệt đến đặc tính cơ học của lò xo trụ. Lò xo xẻ 4 rãnh có độ cứng cao, biến dạng nhỏ, thích hợp cho các tải trọng tĩnh lớn; trong khi lò xo xẻ 3 rãnh mềm hơn, có khả năng hấp thụ xung lực tốt hơn khi chịu tải và đập. Có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Quá trình sản xuất lò xo trụ có xẻ rãnh phức tạp hơn so với các loại lò xo truyền thống,

nhưng lò xo trụ có xẻ rãnh có các đặc tính đặc biệt mà các lò xo thông thường không có.

- Từ quá trình phân tích tĩnh có thể thấy được rằng độ cứng của lò xo trụ có xẻ rãnh trong trường hợp 4 rãnh lớn hơn 3 rãnh do mức độ biến dạng nhỏ hơn khi chịu cùng một lực tác dụng.

- Khi chịu tải trọng và đập, có thể thấy mức độ biến dạng tăng đều và mềm mại, chứng tỏ khả năng hấp thụ xung lực của lò xo xẻ rãnh là rất tốt, ngoài ra lò xo trụ xẻ 4 rãnh có mức độ biến dạng nhỏ hơn khi chịu tác dụng tải trọng và đập so với lò xo trụ xẻ ba rãnh. ❖

Ngày nhận bài: 21/10/2025

Ngày phản biện: 03/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Wilhelm A. Schneider, “*Design and application of slotted cylinder springs*”. United States Army, USAELRDL Technical Report 2327,1963.
- [2]. B.Vijaya Lakshmi and I. Satyanarayana , “*Static And Dynamic Analysis on Composite Leaf Spring In Heavy Vehicle*”. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, IJAERS/ Vol. II / Issue I/Oct.-Dec. ,/80 84.2012.
- [3]. Christine Vehar Jutte and Sridhar Kota , “*Design of Nonlinear Springs for Prescribed Load-Displacement Functions*”. Journal of Mechanical Design, ASME August, Vol. 130.2008.
- [4]. K.A. Saianuraag &BitraguntaVenkataSivaram, “*Comparison of Static, Dynamic & Shock Analysis for Two & Five Layered Composite Leaf Spring*”. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issue 5, September- October 2012, pp.692-697,2012.