

# PHÂN TÍCH RUNG ĐỘNG CỦA TẤM MỎNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

VIBRATIONS ANALYSIS OF THE SHIELD SHEET BY FINITE ELEMENT METHOD

Nguyễn Quang Cường\*, Nguyễn Thiết Lập

## TÓM TẮT

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng rung động của một vài mô hình tấm mỏng tương tự trên thân vỏ ô tô con. Các mô hình gồm tấm mỏng không gia cường và tấm mỏng có gia cường. Kết quả tính toán, mô phỏng nhằm so sánh trạng thái rung động của hai mô hình tấm mỏng khác nhau, trong trường hợp khảo sát rung động riêng và trong trường hợp có kích thích từ bên ngoài.

**Từ khóa:** Kết cấu khung vỏ ô tô; rung động kết cấu vỏ mỏng; tiếng ồn ô tô; phân tích mô hình trạng thái; phương pháp phần tử hữu hạn.

## ABSTRACT

In this paper, authors use the finite element method to simulate the vibrations of several thin-sheet models similar on the car body. Models include unreinforced and reinforced laminates. The results of calculation and simulation aim to compare the vibration state of two different thin-sheet models, in the case of individual vibrations and in the case of external influences.

**Keywords:** Car body structure; shield sheet vibrations; car noise; modal analysis; FEM.

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

\*Email: nqcuongoto@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/6/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2021

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thân vỏ ô tô con thường được tạo nên từ các tấm mỏng, có gia cường để tăng độ cứng và giảm tiếng ồn. Trong quá trình làm việc của kết cấu tấm mỏng, kết cấu tấm vỏ sẽ rung động dưới tác dụng kích thích của các nguồn khác nhau. Nếu tần số kích thích của các nguồn rung động này gần với tần số rung động riêng của tấm mỏng, sẽ dẫn đến hiện tượng cộng hưởng, sinh ra rung động lớn và tiếng ồn tăng cao, thậm chí có thể phá hỏng kết cấu.

Hiện nay, có ba phương pháp phân tích kết cấu tấm mỏng: Phương pháp phần tử hữu hạn, phân tích mô hình trạng thái thực nghiệm và phương pháp phân tích tổng hợp [1-11]. Trong đó phương pháp phân tích mô hình trạng thái sử dụng phần tử hữu hạn được ứng dụng phổ biến nhất. Thông qua phân tích đạt được các tham số của mô

hình trạng thái, có thể tiến hành đánh giá đặc tính độ cứng và giảm chấn của kết cấu tấm mỏng.

Trong bài báo, nhóm tác giả sẽ dùng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích, mô phỏng đặc tính rung động riêng và rung động kết cấu tấm mỏng có kể đến kích thích từ bên ngoài, đồng thời khảo sát thêm lớp giảm chấn để giảm rung cho kết cấu tấm mỏng, từ đó đánh giá sơ bộ kết cấu tấm mỏng đơn (không có lớp giảm chấn) và kết cấu tấm mỏng kép (có lớp giảm chấn), làm cơ sở tính toán cho các kết cấu thân vỏ ô tô.

## 2. LÝ THUYẾT PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH RUNG ĐỘNG CỦA KẾT CẤU

### 2.1. Phương trình vi phân tổng quát của hệ nhiều bậc tự do có kích thích

Dưới sự kích thích, phương trình động học kết cấu khung vỏ ô tô con như sau:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

Trong đó:

$[M]$  là ma trận khối lượng.

$[C]$  là ma trận cản giảm chấn.

$[K]$  là ma trận độ cứng.

$\{\ddot{x}\}$ ,  $\{\dot{x}\}$ ,  $\{x\}$  lần lượt là véc tơ gia tốc, vận tốc và chuyển vị

$\{F(t)\}$  là véc tơ lực kích thích

### 2.2. Phân tích rung động riêng

Đối với phương trình (1) không khảo sát giảm chấn và lực kích thích thì ta có phương trình rung động riêng:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \quad (2)$$

Giả sử hệ dao động điều hòa:

$$\{x\} = \{X\}\sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

Thay (3) vào (2) và biến đổi ta được:

$$[K] - \omega^2[M]\{X\} = \{0\} \quad (4)$$

Phương trình thỏa mãn:

$$([K] - \omega^2[M]) = 0 \quad (5)$$

Giải phương trình trên ta được tần số rung động riêng  $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$

Thay vào phương trình (5) ta được hình dạng đặc tính rung động riêng.

### 2.3. Phân tích rung động có lực kích thích trực tiếp

Trong phân tích phản ứng tần số trực tiếp, thông qua việc sử dụng đại số số phức để giải hệ phương trình ma trận tương tác, có thể tính toán được phản ứng kết cấu với tần số kích thích rời rạc. Bắt đầu bằng phương trình chuyển động rung động cưỡng bức có lực cản và kích thích sóng điều hòa.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{P(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (6)$$

Tải trọng được giới thiệu trong phương trình (6) là một véc tơ số phức. Từ góc độ vật lý cho thấy, tải trọng có thể là tải trọng thực hoặc tải trọng ảo hoặc cả hai.

Đối với rung động sóng điều hòa (đây là cơ sở phân tích phản ứng tần số), giả thiết phương án giải quyết có dạng sóng điều hòa:

$$\{x\} = \{u(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (7)$$

Trong đó:

$\{u(\omega)\}$  là véc tơ chuyển vị phức

Áp dụng đạo hàm bậc nhất, bậc hai của phương trình (7) ta thu được:

$$\{\dot{x}\} = i\omega\{u(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (8)$$

$$\{\ddot{x}\} = -\omega^2\{u(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (9)$$

Sau khi thay vào phương trình (7) và đơn giản hóa ta được:

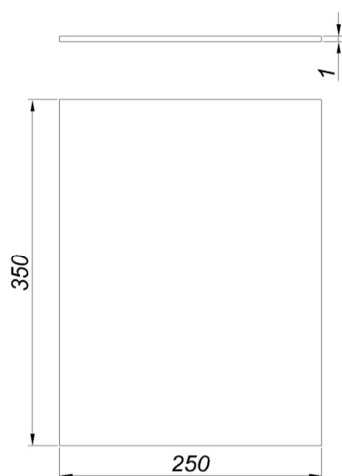
$$[-\omega^2 M + i\omega C + K]\{u(\omega)\} = \{P(\omega)\} \quad (10)$$

Thông qua việc thêm tần số cưỡng bức  $\omega$  vào phương trình chuyển động để giải phương trình chuyển động tìm được tần số của hệ khi có lực kích thích.

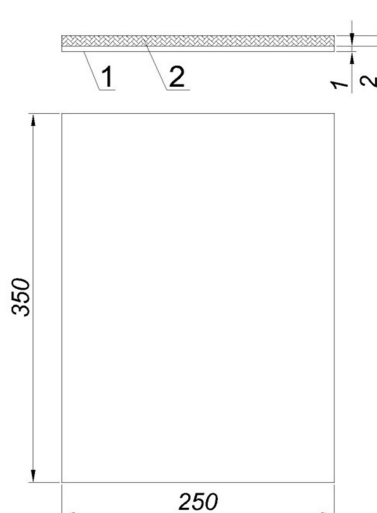
## 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN KHUNG VỎ Ô TÔ CON

### 3.1. Kết cấu tấm mỏng

Kết cấu tấm thép mỏng CT3 đơn như trên hình 1 là tấm kim loại phẳng có kích thước 350x250 (mm), dày 1mm. Kết cấu tấm mỏng kép có lớp giảm chấn như trên hình 2, vẫn là tấm thép mỏng của kết cấu đơn có dám thêm lớp giảm chấn cao su non.



Hình 1. Kết cấu tấm mỏng



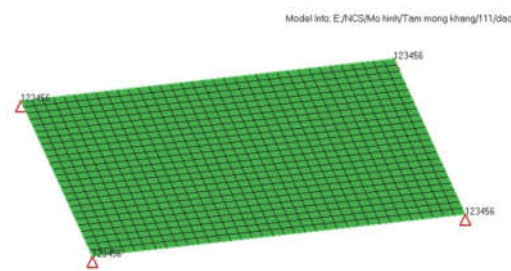
Hình 2. Kết cấu hỗn hợp tấm mỏng có lớp giảm chấn

1. Tấm kim loại mỏng; 2. Lớp giảm chấn

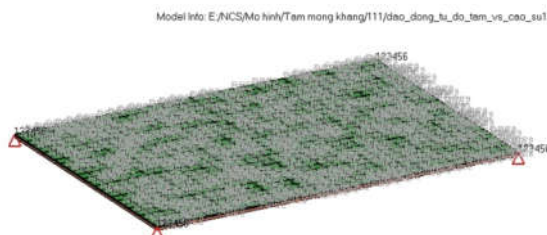
### 3.2. Xây dựng mô hình

Mô hình tính toán hệ thống kết cấu tấm mỏng đơn như trên hình 3 và 5. Khi tiến hành xây dựng mô hình giả thiết tấm kim loại là đồng nhất và đồng tính các hướng. Tấm kim loại áp dụng mô hình phần tử vỏ. Mô hình đàn hồi áp dụng trong khoảng tần số (1 ÷ 200)Hz;  $E = 7,1.10^6 Pa$ ; hệ số passon  $\nu = 0,45$ , khối lượng riêng  $\rho = 7860 kg/m^3$ .

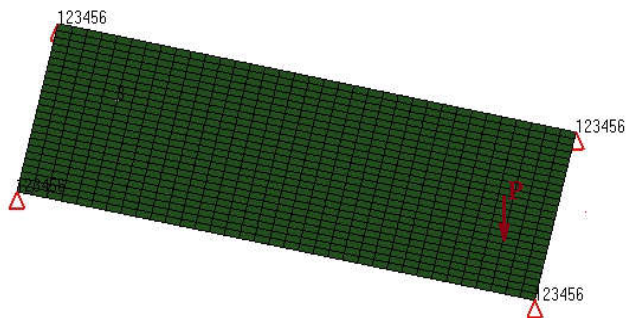
Mô hình tính toán hệ thống kết cấu tấm mỏng kép có lớp giảm chấn như trên hình 4 và 6. Tấm kim loại áp dụng mô hình phần tử vỏ, lớp giảm chấn thì áp dụng phần tử khối 3D để xây dựng mô hình, giữa lớp đàn hồi và lớp giảm chấn áp dụng phương pháp pháp điểm nút chung để mô phỏng tác dụng liên kết. Trong mô hình, khối lượng riêng lớp giảm chấn là  $1,2.10^3 kg/m^3$ ; khối lượng riêng của thép tấm là  $7860 kg/m^3$ ; mô hình đàn hồi áp dụng trong khoảng tần số (1 ÷ 200)Hz;  $E = 7,1.10^6 Pa$ ; hệ số passon  $\nu = 0,45$ . Lực kích thích  $P = 10N$ .



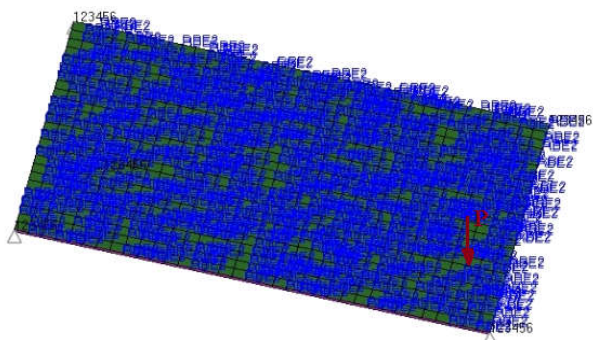
Hình 3. Mô hình tính toán rung động riêng tấm mỏng đơn



Hình 4. Mô hình tính toán rung động riêng tấm mỏng kép có lớp giảm chấn



Hình 5. Mô hình tính toán rung động tấm mỏng đơn có lực kích thích



Hình 6. Mô hình tính toán rung động tấm mỏng kép có lực kích thích

#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

##### 4.1. Kết quả tính toán rung động riêng

Bảng 1. Kết quả tính toán rung động

Kết quả tính toán rung động riêng tấm đơn		
Bậc modal	Tần số (Hz)	Hình dạng rung động
1	23,4	
2	48,3	
3	59,1	

Kết quả tính toán rung động riêng tấm kép có lớp giảm chấn		
Bậc modal	Tần số (Hz)	Hình dạng rung động
1	24,4	
2	50,0	
3	62,1	

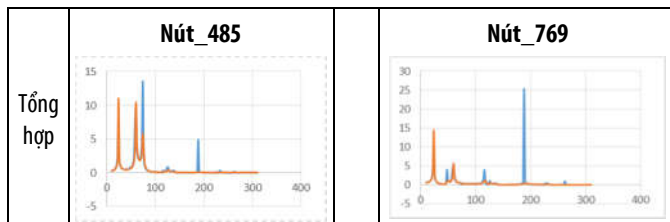
Nhận xét: Từ bảng 1 ta thấy, hình dạng rung động của các tấm mỏng đơn và tấm mỏng kép khi có lớp giảm chấn đều giống nhau, nhưng tần số rung động riêng của tấm mỏng kép khi có lớp giảm chấn tăng lên.

##### 4.2. Kết quả tính toán rung động có lực kích thích

Qua kết quả phân tích rung động riêng, ta có thể thấy rằng, tại một số vị trí các những rung động lớn hơn, rõ ràng hơn những nơi khác. Vì vậy, phần phân tích ảnh hưởng của tác động kích thích sẽ chọn một số nút đặc biệt để khảo sát và có kết quả như bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán rung động tại một số nút đặc biệt

Kết quả tính toán rung động tấm đơn		Kết quả tính toán rung động tấm kép có lớp giảm chấn	
Nút	Đồ thị rung động	Nút	Đồ thị rung động
485		485	
769		769	



Nhận xét: Khi có lực kích thích từ bên ngoài, tại các nút 485 và 769 thì biên độ rung động của tấm mỏng kép có lớp giảm chấn đều giảm đi khá nhiều.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo ứng dụng phần mềm CAD để xây dựng mô hình tấm mỏng. Sau đó, ứng dụng phương pháp phân tích CAE để tiến hành phân tích mô hình trạng thái của kết cấu tấm mỏng có kể đến điều kiện biên và lớp giảm chấn.

Thông qua tính toán, phân tích đối với mô hình trạng thái của kết cấu tấm mỏng nhận thấy khi có lớp giảm chấn thì tần số rung động riêng tăng lên, biên độ rung động giảm, độ cứng của kết cấu tăng lên, tiếng ồn sẽ giảm đi.

Hướng nghiên cứu này được các nước có ngành công nghiệp ô tô phát triển nghiên cứu từ rất sớm. Song đối với Việt Nam, nó còn là vấn đề mới mẻ chưa được quan tâm. Nội dung nghiên cứu này mới chỉ là bước mở đầu cho việc nghiên cứu rung ồn của ô tô, tăng tính tiện nghi cho xe.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Van Khang, 2002. *Dao dong ky thuat*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [2]. Xu Wang, 2016. *Vehicle noise and vibration refinement*. RMIT University, Australia.
- [3]. Fu Zhifang, 1990. *Vibration mode analysis and parameter identification[M]*. China Machine Press.
- [4]. Guan Dihua, 1996. *Modal Analysis Technology[M]*. Tsinghua University Press.
- [5]. Wen Xisen, 2004. *Mechanical System Modeling and Dynamic Analysis First Edition[M]*. Beijing: Science Press.
- [6]. Zhu Yaojie, Yin Mingd, 2006. *Research on Parametric Design Approach of Body Skeleton of Passenger Car [C]*. Proceedings of International Technology and Innovation Conference.
- [7]. Tan Jijin, 2005. *Automobile Finite Element Method*. Beijing. People's Communications Publishing House.

[8]. Huang Tianze, 1988. *Bus body[M]*. Changsha: Hunan University Press.

[9]. Nguyen Quang Cuong, Nguyen Thiet Lap, 2018. *Vibration analysis of the frame structure of 30-seat passenger car, manufactured and assembled in Vietnam*. Vietnam Mechanical Engineering Journal, No 5.

[10]. Nguyen Quang Cuong, Nguyen Van Bang, Nguyen Thiet Lap, 2018. *Specific vibration analysis of car body frame structure*. Vietnam Mechanical Engineering Journal, No. Special.

[11]. HyperMesh Quickstart Guide and User's Guide.

## AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Quang Cuong, Nguyen Thiet Lap**

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications