

ĐÁP ỨNG ĐỘNG TẤM COMPOSITE GẮN TMD CHỊU TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

DYNAMIC RESPONSE OF COMPOSITE PLATES APPLY TMD UNDER MOVING LOAD

Vũ Văn Đức

Khoa Cơ bản - Kỹ thuật Cơ sở, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Quân sự 1

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả số nghiên cứu bài toán giảm dao động cho tấm composite lớp chịu tác dụng của tải trọng di động bằng thiết bị tiêu tán năng lượng (TMD). Dựa trên lý thuyết cắt bậc nhất của Mindlin và sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, bài báo đã xây dựng phương trình dao động cưỡng bức cho tấm này. Thông qua các kết quả tính toán, cho phép đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đặc trưng của thiết bị tiêu tán năng lượng TMD đến khả năng giảm dao động của tấm composite lớp chịu tải trọng di động. Đây là tài liệu tham khảo có giá trị khi thiết kế, sử dụng loại kết cấu này trong thực tế.

Từ khóa: Tải trọng di động; Thiết bị tiêu tán năng lượng; Tấm composite.

ABSTRACT

This paper presents the numerical results of the study on vibration reduction of the composite plates under moving load by using the tuned mass dampers (TMD). Based on the first order shear theory of Mindlin and the finite element method, the paper established the vibration equations for this problem. These results allow us to evaluate the effect of some characteristics of the TMD system on the vibration of the composite plates under moving load. This is a valuable reference when designing, using this type of structure in practice.

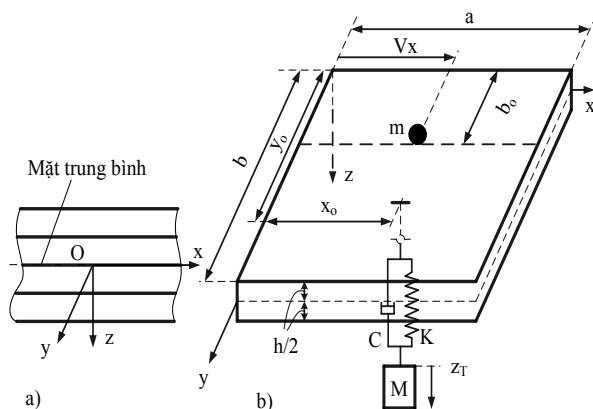
Keywords: Moving load; TMD; Composite plates.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu giảm dao động cho kết cấu dạng tấm composite chịu tải trọng di động xuất phát từ thực tế đặt ra, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, nhất là trong các lĩnh vực: ô tô, hàng không vũ trụ, hàng hải và các cấu trúc dân sự, quân sự. Đã có nhiều tính toán được công bố trên thế giới về động lực học cũng như giảm dao động cho các kết cấu dạng dầm chịu tải trọng di động [5], [6], [7], [8]. Tuy nhiên, các kết quả trên mới tập trung vào tính toán kết cấu dạng dầm, sử dụng lý thuyết cổ điển và phương pháp giải tích để khảo sát. Do vậy, việc tính toán giảm dao động cho tấm composite lớp chịu tác dụng của tải di động bằng thiết bị tiêu tán năng lượng sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn là vấn đề cấp thiết.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN VÀ CÁC GIẢ THIẾT

Khảo sát tấm hình chữ nhật làm bằng vật liệu composite lớp, trong đó mỗi lớp là vật liệu đồng phương, bố trí đối xứng qua mặt trung bình của tấm (hình 1a). Tấm chịu tác dụng của tải trọng di động và gắn thêm một thiết bị tiêu tán năng lượng cố định tại một vị trí (hình 1b). Các kích thước hình học như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình bài toán

Các giả thiết:

- Vật liệu các lớp là vật liệu composite cốt sợi đồng phương liên kết với nhau một cách lý tưởng, làm việc trong miền đàn hồi, các lớp bố trí với nhau đối xứng qua mặt trung bình của tấm.

- Tải trọng di động luôn vuông góc với mặt trung bình của tấm và không tách rời bề mặt của tấm trong suốt quá trình di chuyển.

3. CÁC CÔNG THỨC TÍNH TOÁN

Trong bài báo này, tác giả sử dụng lý thuyết tấm của Mindlin [4], sử dụng phần tử chữ nhật 4 nút, mỗi nút có năm bậc tự do.

Tải trọng di động có khối lượng m xem như chất điểm di chuyển trên phần tử tấm dọc theo một quỹ đạo đã biết với vận tốc không đổi (Hình 1b).

Ma trận phần tử của loại phần tử này được xác định như sau:

$$\begin{aligned} [M^e] &= [M_0^e] + [M_p^e]; \quad [K^e] = [K_0^e] + [K_p^e]; \\ [C^e] &= [C_0^e] + [C_p^e] \end{aligned} \quad (1)$$

Ở đây, $[M_0^e]$, $[K_0^e]$, $[C_0^e]$ là các ma trận khối lượng, ma trận độ cứng, ma trận cản của phần tử của tấm composite lớp khi chưa xét đến tải trọng di động và đã được xác định [1]. Các ma trận $[M_p^e]$, $[K_p^e]$, $[C_p^e]$ là các ma trận khối lượng, độ cứng và giảm chấn xét đến ảnh hưởng của khối lượng m chuyển động với vận tốc $\dot{v}(t)$ gây ra trên phần tử tấm được xác định như sau [2, 3]:

$$[M_p^e] = m [N^e(\xi, \eta)]^T [N^e(\xi, \eta)] \quad (2)$$

$$[C_p^e] = m [N(\xi, \eta)]^T (2\dot{x} [N_x^e(\xi, \eta)] + 2\dot{y} [N_y^e(\xi, \eta)]) \quad (3)$$

$$[K_p^e] = m[N^e(\xi, \eta)]^T \left([N_{xx}^e(\xi, \eta)]\dot{x}^2 + [N_{yy}^e(\xi, \eta)]\dot{y}^2 + 2[N_{xy}^e(\xi, \eta)]\dot{x}\dot{y} + \ddot{x}[N_x^e(\xi, \eta)] + \ddot{y}[N_y^e(\xi, \eta)] \right) \quad (4)$$

Trong đó, $[N^e]$ là ma trận các hàm dạng được xác định như trong [2, 3].

$$\begin{aligned} [N_x] &= \frac{\partial}{\partial x}[N]; [N_{xx}] = \frac{\partial^2}{\partial x^2}[N]; \\ [N_{xy}] &= \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}[N]; [N_y] = \frac{\partial}{\partial y}[N]; \\ [N_{yy}] &= \frac{\partial^2}{\partial y^2}[N] \end{aligned} \quad (5)$$

và ký hiệu đạo hàm các hàm dạng:

$$\begin{aligned} [N_x^e] &= [N_x][C]^{-1}; [N_{xx}^e] = [N_{xx}][C]^{-1}; [N_y^e] = [N_y][C]^{-1}; [N_{yy}^e] = [N_{yy}][C]^{-1}; \\ [N_{xy}^e] &= [N_{xy}][C]^{-1} \end{aligned}$$

Khi tập hợp ma trận, ma trận tổng thể của tấm composite sẽ được giãn thêm một hàng và một cột tương ứng với bậc tự do chuyển vị của TMD, sau khi khử biên, ta có phương trình dao động cưỡng bức của kết cấu có xét đến cả bậc tự do chuyển vị của TMD như sau [4, 8]:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{P(t)\} \quad (6)$$

Trong đó:

- $[M]$, $[C]$, $[K]$ là các ma trận độ cứng, ma trận cản, khối lượng của tấm composite lớp được xác định từ các ma trận của phần tử tấm composite có và không có TMD.

- $\{P(t)\}$ là véc tơ tải trọng nút tổng thể.
- $\{q\}$, $\{\dot{q}\}$, $\{\ddot{q}\}$ là véc tơ chuyển vị nút, véc tơ vận tốc nút, véc tơ gia tốc nút của tấm.

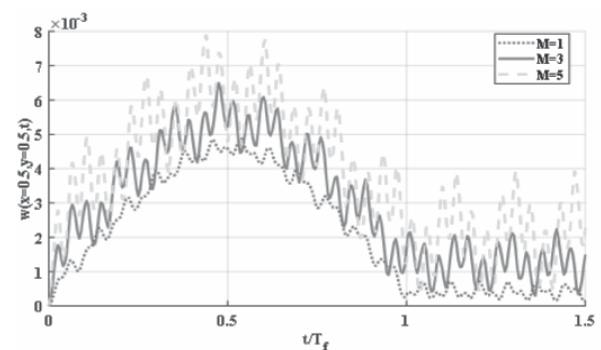
Giải phương trình (2) bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark [4, 8], ta nhận được chuyển vị, vận tốc, gia tốc các nút trên kết cấu.

4. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Các kết quả khảo sát dưới đây tính cho tấm composite có các đặc trưng cho như sau: $a - b - 1m$, $V_x - 1m/s$, $M = 10kg$, $b_o = 0,5m$, $x_o = y_o = 0,5m$, Ns/m , $K = 10^4 (N/m)$. Kết quả khảo sát là chuyển vị giữa tấm (w_c) theo thời gian.

Thay đổi khối lượng vật nặng của TMD từ 1kg, 3kg và 5kg. Kết quả đáp ứng chuyển vị điểm giữa tấm theo thời gian phụ thuộc vào khối lượng TMD cho như trên hình 2.

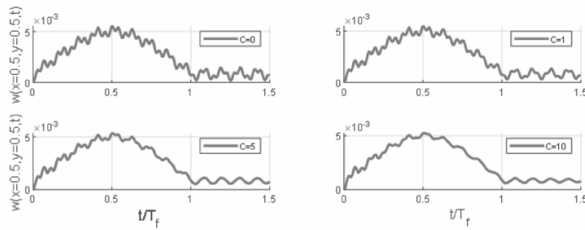
Nhận xét: Ta thấy khi khối lượng M tăng thì biên độ dao động của điểm giữa tấm cũng như của vật nặng M treo vào lò xo càng lớn. Giá trị của TMD phải được chọn lựa phù hợp để thu được kết quả giảm dao động hiệu quả. Do khuôn khổ của bài báo nên tác giả chỉ đưa ra được các khuyến nghị, trong các bài tiếp theo, tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng giảm dao động của các kết cấu khác nhau.



Hình 2. Đáp ứng chuyển vị của điểm giữa tấm theo thời gian khi khối lượng TMD thay đổi

Ảnh hưởng của thông số cản nhớt C

Kết quả đáp ứng chuyển vị điểm giữa tấm khi thay đổi thông số cản nhớt C của TMD trong khoảng 0 đến 10 Ns/m .



Hình 3. Ảnh hưởng của độ cản nhớt C đến chuyển vị của điểm giữa tấm dưới tác dụng tải trọng di động và hệ TMD

Nhận thấy, khi gắn song song bộ cản nhớt với lò xo và thay đổi các giá trị về độ cản nhớt thì biên độ dao động của điểm giữa tấm cũng thay đổi. Cụ thể, khi độ cản nhớt tăng thì biên độ dao động giảm. Cũng như các trường hợp trên, thời điểm mà điểm giữa tấm có biên độ dao động lớn nhất nằm trong khoảng $t = 0,4s-0,6s$.

5. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu trình bày các công thức toán học và thuật toán phần tử hữu hạn để đánh giá khả năng giảm dao động cho tấm composite chịu tác dụng của tải trọng di động và hệ TMD. Trên cơ sở thuật toán và chương trình thiết lập, tác giả tiến hành tính toán một số trường hợp nhằm khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố hình học, các thông số về khối lượng, độ cứng của lò xo và độ cản nhớt đến đáp ứng động của tấm. Qua các khảo sát, bài báo có một số kết luận sau:

- Biên độ dao động của tấm tăng khi tăng khối lượng treo M vào lò xo.
- Nếu gắn thêm bộ cản nhớt song song với lò xo thì biên độ dao động của tấm và của vật treo M gắn vào lò xo giảm theo thời gian.
- Khi tăng độ cứng của lò xo thì biên độ dao động của tấm giảm nhẹ, tần số dao động

riêng của tấm tăng, lý do chính là độ cứng trung bình của toàn hệ tăng.

- Tốc độ của tải trọng di động thay đổi thì biên độ dao động của tấm cũng thay đổi theo.❖

Ngày nhận bài: 18/7/2022

Ngày phản biện: 26/7/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hoàng Xuân Lượng, Phạm Tiến Đạt (1994); “Nghiên cứu tính toán tấm nhiều lớp bằng phương pháp số”. Tuyển tập Công trình khoa học Hội nghị Cơ học Vật rắn biến dạng Toàn quốc lần thứ IV, Hà Nội., tr. 190-198.
- [2]. Đỗ Kiến Quốc, Khổng Trọng Toàn (1999); “Phân tích dao động của tấm trên nền đàn hồi chịu tải trọng chuyển động”. Tuyển tập Công trình khoa học Hội nghị Cơ học Vật rắn biến dạng Toàn quốc lần thứ VI, Hà Nội, tr. 151-158.
- [3]. Đỗ Anh Cường, Tạ Hữu Vinh (2004); “Tương tác giữa kết cấu hệ thanh và tải trọng di động có liên kết đàn hồi và giảm chấn”. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật, Số 106, I - 2004, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, tr. 79-86.
- [4]. Chu Quốc Thắng (1997); “Phương pháp phần tử hữu hạn”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Turhan O. (2000); “On the Fundamental Frequency of Beams Carrying a Point Mass: Rayleigh Ap-proximation Versus Exact Solutions”. Journal of Sound and Vibration.
- [6]. Kompaz O, Telli S. (2002); “Free Vibration of a Rectan-gular Plate Carrying Distributed Mass”. Journal of Sound and Vibration, Vol. 251 (14), pp. 37-57.
- [7]. Wong JY. (2001); “Theory of Ground Vehicles. 3rd edition”. John Wiley & Sons Inc.
- [8]. Chiba M, Sugimoto T. (2003); “Vibration Characteristics of a Cantilever Plate with Attached Spring-Mass System”. Journal of Sound and Vibration, Vol. 260 (2), pp. 237-263.