

ẢNH HƯỞNG CỦA TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG KHUNG MÁY TỚI SAI SỐ VỊ TRÍ ĐẦU MÁY IN 3D BÊ TÔNG

Triệu Đức Khôi, Nguyễn Danh Hùng, Tạ Đức Hải, Phùng Văn Bình
 Học viện Kỹ thuật quân sự, email: phungvanbinh@lqdtu.edu.vn

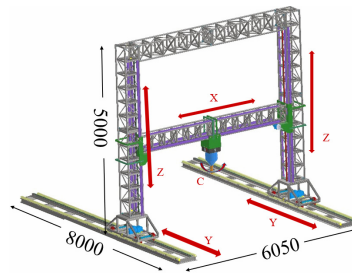
1. GIỚI THIỆU

Những năm gần đây, sự phát triển của công nghệ in 3D đã có ảnh hưởng đến nhiều lĩnh vực sản xuất khác nhau, trong đó có lĩnh vực xây dựng. Nhiều nước phát triển đã và đang ứng dụng công nghệ in 3D vật liệu xây dựng, đem lại hiệu quả kinh tế cao [1]. Với máy in 3D bê tông thì yêu cầu về độ chính xác được coi là một trong những tiêu chí quan trọng nhất của hệ thống. Sai số của đầu in ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của sản phẩm được in. Sai số này không chỉ phụ thuộc vào dung sai chế tạo, lắp ráp mà còn phụ thuộc vào sai số do biến dạng đàn hồi của kết cấu [2]. Đối với các hệ thống kết cấu thành mỏng, kích thước lớn thì đây là đại lượng đáng kể và không thể bỏ qua.

Ở các công trình trước, nhóm tác giả đã tính toán, khảo sát các tham số kết cấu của máy in [3], cũng như thực hiện tối ưu hóa kết cấu khung máy in cho phương án thiết kế đơn giản [4]. Tuy nhiên, ở trong các công trình trên, các tải trọng được xem xét là tải trọng tĩnh, mô hình động lực học của khung máy in chưa được xây dựng, sai số của đầu in trong quá trình hệ chuyển động chưa được xem xét. Bài báo này tập trung vào việc mô phỏng động lực học khung máy in 3D bê tông cấu hình công trực với các khâu đàn hồi, nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của tần số dao động riêng của khung máy đến sai số vị trí của đầu in. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để hạn chế sai số vị trí đầu in trong giới hạn cho phép, đảm bảo độ chính xác của máy in 3D bê tông.

2. MÔ PHỎNG KHUNG MÁY IN VỚI CÁC KHẤU ĐÀN HỒI

Thiết kế sơ bộ của khung máy in 3D bê tông được thể hiện trên Hình 1. Khung máy in sẽ được thiết kế theo hệ khung giàn gian không gian với một số yêu cầu kỹ thuật cơ bản của máy in 3D bê tông kích thước lớn được xác định như sau [4]:

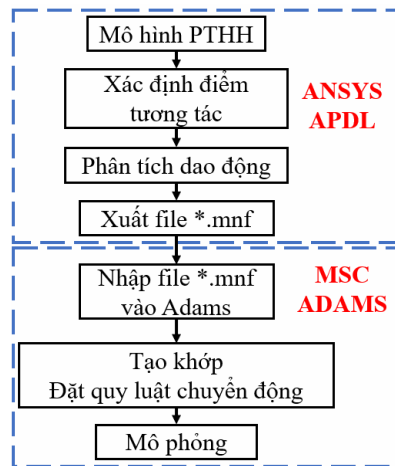


Hình 1. Thiết kế sơ bộ máy in 3D bê tông kích thước lớn

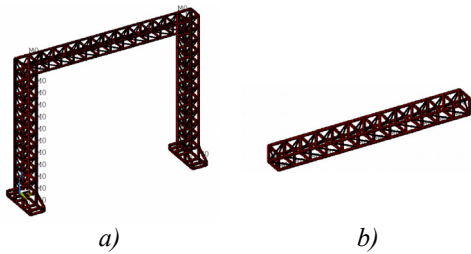
- Kích thước kết cấu in lớn nhất có thể đạt $6000 \times 4000 \times 3500$ mm.
- Vận tốc chuyển động của đầu in V trong khoảng $0 \div 20$ m/ph.
- Sai số của đầu in cần đảm bảo trong khoảng ± 5 mm theo phương X, Y và ± 2 mm theo phương Z.

Quy trình mô phỏng khung máy in với khâu đàn hồi được thể hiện trên Hình 2. Đầu tiên, mô hình PTHH (phần tử hữu hạn) của các trục máy in được xây dựng nhờ phần mềm Ansys APDL (Hình 3). Tiếp đó, các điểm tương tác trên các khâu đàn hồi cần được xác định. Điểm tương tác là một nút cho phép thiết đặt các điều kiện biên khác nhau. Đây chính là vị trí đặt lực và khớp của khâu đàn hồi khi chúng được chuyển sang

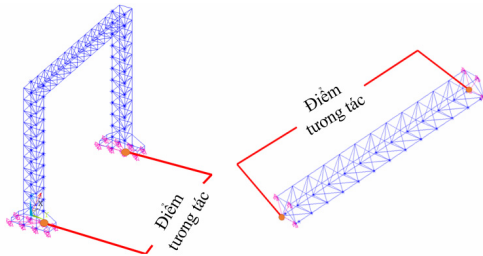
trong môi trường MSC ADAMS để mô phỏng động lực học. Điểm tương tác của các khung trục Y và trục Z được lựa chọn như thể hiện trên Hình 4.



Hình 2. Quy trình mô phỏng khung máy in 3D bê tông với khâu đàn hồi



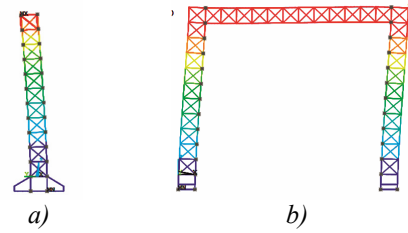
Hình 3. Mô hình PPHH các trục máy in
a) Trục Y; b) Trục Z



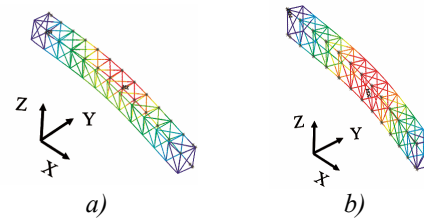
Hình 4. Tạo các điểm tương tác

Tiếp theo, việc phân tích các dạng dao động riêng của các trục sẽ được thực hiện. Minh họa một số dạng dao động riêng của các khung trục Y và trục Z được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6. Trên cơ sở đó, thông tin về

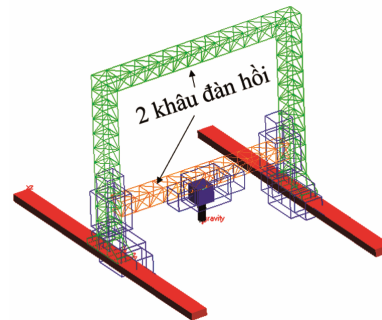
tần số dao động và các dạng dao động của các khâu sẽ được xuất ra và lưu ở dạng tệp .mnf (modal neutral files). Sau đó, hai khâu đàn hồi này sẽ sử dụng để xây dựng mô hình mô phỏng khung máy in trong môi trường MSC ADAMS. Trong môi trường MSC ADAMS, các khớp và quy luật chuyển động sẽ thiết đặt với với các khâu đàn hồi của khung máy in. Mô hình khung máy in với hai khâu đàn hồi được thể hiện trên Hình 7. Sau đó, việc mô phỏng động lực học khung máy in với các khâu đàn hồi sẽ được thực hiện ở mục 3.



Hình 5. Các dạng dao động riêng của trục Y
a) Dạng 1 ($f_1 = 9,51$ Hz);
b) Dạng 2 ($f_2 = 11,45$ Hz).



Hình 6. Các dạng dao động riêng của trục Z
a) Dạng 1 - trong mặt phẳng XY ($f_1 = 43,77$ Hz);
b) Dạng 2 - trong mặt phẳng XZ ($f_2 = 43,80$ Hz).



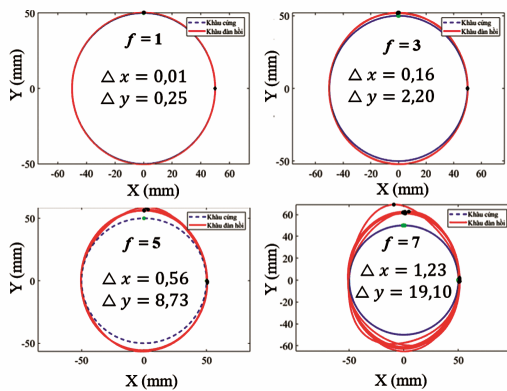
Hình 7. Mô hình khung máy in với các khâu đàn hồi trong môi trường MSC ADAMS

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để minh họa ảnh hưởng của tần số dao động riêng khung máy đến sai số vị trí của đầu in, quỹ đạo chuyển động của đầu in được lựa chọn có dạng đường tròn trên mặt phẳng XY. Theo kết quả giải bài toán động học ngược, để đầu in chuyển động theo quỹ đạo đường tròn trên mặt phẳng XY thì các hàm chuyển động q_x , q_y , q_z tương ứng của các trục X, Y, Z sẽ có dạng:

$$\begin{cases} q_x = A \cdot \text{Cos}(f \cdot 2\pi \cdot t) \\ q_y = A \cdot \text{Sin}(f \cdot 2\pi \cdot t) \\ q_z = \text{Const} \end{cases}$$

với A là bán kính của quỹ đạo đường tròn, f là một hằng số đặc trưng cho tần số biến thiên chuyển động và t là biến thời gian.



Hình 8. Mô phỏng quỹ đạo đầu in khi với hệ các khâu cứng và khâu đàn hồi

Khảo sát được thực hiện với $A = 50$ mm, và $f = 1, 3, 5, 7$, kết quả mô phỏng quỹ đạo đầu in với hệ các khâu cứng và hệ các khâu đàn hồi được thể hiện trên Hình 8. Với hệ là các khâu cứng tuyệt đối, thì quỹ đạo đầu in luôn là một đường tròn lý tưởng. Tuy nhiên, với hệ các khâu đàn hồi, khi giá trị tần số biến thiên chuyển động f tăng gần đến tần số dao động riêng thứ nhất của trục Y ($f \rightarrow f_1 = 9,51\text{Hz}$), sai lệch vị trí của quỹ đạo đầu in đã tăng đáng kể: theo phương X là $\Delta x = 0,01 \div 1,23\text{mm}$, còn theo phương Y khá lớn là $\Delta y = 0,25 \div 19,10\text{mm}$. Điều này cũng phù hợp với lý thuyết vì tần số f

khi đó đã lân cận vùng có thể xảy ra hiện tượng cộng hưởng dao động theo dạng 1 của khung Y.

4. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu về ảnh hưởng của tần số dao động riêng của khung máy đến sai số vị trí của đầu in. Đầu tiên, mô hình PTHH khung máy in được xây dựng trên Ansys APDL, sau đó các dạng dao động riêng của khung máy đã được phân tích. Tiếp theo, mô hình dữ liệu của khâu đàn hồi được chuyển sang môi trường MSC Adams. Cuối cùng, việc mô phỏng động lực học khung máy in với các khâu đàn hồi đã được thực hiện và so sánh với kết quả mô phỏng với hệ là các khâu cứng. So sánh cho thấy, khi tần số biến thiên chuyển động của các trục gần với tần số dao động riêng thứ nhất của khung trục Y, sai số vị trí đầu in là đáng kể so với yêu cầu độ chính xác của máy (đặc biệt là theo phương Y). Kết quả nghiên cứu là tiền đề cho việc lựa chọn tham số thiết kế hợp lý cho khung máy in 3D bê tông kích thước lớn ứng dụng trong ngành xây dựng.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. C. Paul, G. P. A. G. van Zijl, and I. Gibson, 2018, A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects, Rapid Prototyp. J., vol. 24, No. 4, pp. 784-798, 2018.
- [2] L. Ting, C. Yanlong, W. Jing, and Y. Jiangxin, 2016, Assembly Error Calculation with Consideration of Part Deformation, Procedia CIRP, vol. 43, pp. 58-63.
- [3] Tạ Đức Hải, Nguyễn Bá Thông, Nguyễn Ngọc Bình, Phùng Văn Bình, 2024, Ứng dụng ANN trong tính toán kết cấu khung máy in 3D bê tông kích thước lớn, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Tập 60 - Số 1.
- [4] Phùng Văn Bình, Hoàng Phan Bình, Tạ Đức Hải, Phạm Đình Tùng, 2023, Tính toán thiết kế và tối ưu hóa kết cấu khung máy in 3D bê tông kích thước lớn dạng công trục, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Tập 18, Số 01.