

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM VA CHẠM ĐẦU DUMMY RESEARCH DUMMY HEAD ON SIMULATION AND TESTING

NGUYỄN TIẾN ĐẠT, TRẦN THANH TÙNG*

Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: tung.tran THANH2@hust.edu.vn

Tóm tắt

Đầu người là bộ phận trên cơ thể người cần được ưu tiên bảo vệ khi tai nạn xảy ra. Bài báo này nhằm đến việc tạo ra một mô hình đầu dummy ứng dụng trong nghiên cứu mô phỏng công nghiệp. Để đạt được mục tiêu này, tác giả đã xây dựng một mô hình thực tế đầu dummy được gia công từ mô hình đầu dummy 3D. Mô hình thực tế được gắn một cảm biến để đo gia tốc khi thí nghiệm va chạm. Mô hình 3D còn được mô hình hóa thành mô hình phần tử hữu hạn FE để đưa vào phần mềm Hyper Works, sau đó chạy mô phỏng va chạm lấy ra gia tốc của đầu. Kết quả chạy mô phỏng được so sánh với kết quả thí nghiệm mô hình đầu thực tế dummy về chỉ tiêu gia tốc trọng tâm đầu. Từ đó thảo luận để rút ra kết luận về việc có thể sử dụng mô hình phần tử hữu hạn đầu dummy để làm mô phỏng các bài toán sau này.

Từ khóa: Va chạm, thí nghiệm, mô phỏng, gia tốc.

Abstract

The head is the part of the human body that needs to be protected first in the event of an accident. This paper aims to create a dummy head model applied in industrial simulation research. To achieve this goal, the author has built a realistic model of the dummy head machined from the 3D dummy head model. The actual model is fitted with a sensor to measure the acceleration during the crash test. The 3D model is also modeled into a finite element model FE to put into Hyper Works software, then run a crash simulation to get the head acceleration. The simulation results are compared with the experimental results of the actual dummy head model in terms of the head center of gravity acceleration. From there, discuss to draw conclusions about the possibility of using the first finite element model dummy to simulate later problems.

Keywords: Crash, experiment, simulation, acceleration.

1. Giới thiệu

Vấn đề thử nghiệm va chạm trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: tàu thủy, máy bay, tàu hỏa, ô tô, các sản phẩm bảo hộ,... để có thể đưa ra được cái đối tượng đó có an toàn hay không đối với người sử dụng. Các thử nghiệm va chạm này thường rất phức tạp nên cần một chi phí cao để thực hiện nhiều thử nghiệm khác nhau. Những công ty đồ bảo hộ cần phải thực hiện các thử nghiệm kiểm tra chất lượng của sản phẩm. Các hãng xe ô tô mới ra đời mà muốn đưa xe vào thị trường thì cần qua các bài thử nghiệm trong đó có thử nghiệm va chạm. Ngày nay thiết kế xe an toàn là một trong những điều quan trọng nhất trong ngành công nghiệp ô tô. Và dummy được sử dụng là một dụng cụ kiểm tra độ chính xác cao để đo lường khả năng thương tích của con người trong các vụ tai nạn xe. Các bài thử nghiệm để kiểm tra phản ứng của con người đối với các tác động, gia tốc, biến dạng, lực và momen quán tính sinh ra trong một vụ tai nạn. Mỗi hình nộm được thiết kế để mô hình hóa hình thức, trọng lượng và khớp nối của cơ thể con người. Hàng trăm cảm biến và đầu dò nằm trong hình nộm cung cấp dữ liệu cho các kỹ sư kiểm tra an toàn, đo các lực vật lý chính xác gây ra cho từng bộ phận cơ thể trong một sự cố sự cố.

Một mô hình dummy thực tế cùng các thiết bị đo đạc có giá rất cao, một bài kiểm tra sự cố thực sự sử dụng một chiếc xe cực kỳ tốn kém và sự lặp lại của bài kiểm tra là khá khó khăn. Do đó, mô phỏng máy tính bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được sử dụng rộng rãi. Đã có các nghiên cứu trước về việc xây dựng mô hình phần tử hữu hạn của dummy có độ trung thực cao của dummy người lớn giới tính nữ và xác nhận mô hình FE đã xây dựng thông qua quá trình xác định vật liệu [1].

Đầu người là bộ phận trên cơ thể người cần được ưu tiên bảo vệ số một do đây là bộ phận chứa hệ thần kinh và điều khiển các bộ phận khác trên cơ thể người. Vì thế kiểm tra thử nghiệm va chạm với đầu trong thực tế và mô phỏng là công việc cần làm đầu tiên. Để tiếp cận khía cạnh này, tác giả đã xây dựng một mô hình thực tế đầu dummy và mô hình phần tử hữu hạn mô phỏng bài toàn va chạm trên phần mềm Hyperworks.

Mô hình thực tế đầu dummy được gắn cảm biến đo và tiến hành thí nghiệm lấy kết quả đo. Mô hình phần tử hữu hạn được mô phỏng giống hoàn toàn quá trình thí nghiệm thực tế và cũng xuất ra các kết quả đo. Khảo sát kết quả giữa hai mô hình, qua đó đánh giá mức độ tin cậy của mô hình phần tử hữu hạn. Từ đó có thể sử dụng để làm nhiều bài mô phỏng sau này như kiểm tra an toàn khác như kiểm tra an toàn ô tô, an toàn túi khí, kiểm tra an toàn cho mũ bảo hiểm hay kiểm tra an toàn của các đồ bảo hộ.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp phần tử hữu hạn là một phương pháp rất tổng quát và hữu hiệu cho lời giải số nhiều lớp bài toán kỹ thuật khác nhau. Từ việc phân tích trạng thái ứng suất, biến dạng trong các kết cấu cơ khí, các chi tiết trong ô tô, máy bay, tàu thủy, khung nhà cao tầng, dầm cầu,... đến những bài toán của lý thuyết trường như: Lý thuyết truyền nhiệt, cơ học chất lỏng, thủy đàn hồi, khí đàn hồi, điện - từ trường,... Với sự trợ giúp của ngành Công nghệ thông tin và hệ thống CAD, nhiều kết cấu phức tạp cũng đã được tính toán và thiết kế chi tiết một cách dễ dàng [2].

Cơ sở của phương pháp này là làm rời rạc hóa miền xác định của bài toán, bằng cách chia nó thành nhiều miền con hay phần tử. Các phần tử này được liên kết với nhau tại các điểm nút chung. Trong phạm vi của mỗi phần tử nghiệm được chọn là một hàm số nào đó được xác định thông qua các giá trị chưa biết tại các điểm nút của phần tử gọi là hàm xấp xỉ thỏa mãn điều kiện cân bằng của phần tử. Tập tất cả các phần tử có chú ý đến điều kiện liên tục của sự biến dạng và chuyển vị tại các điểm nút liên kết giữa các phần tử. Kết quả dẫn đến một hệ phương trình đại số tuyến tính mà ẩn số chính là các giá trị của hàm xấp xỉ tại các điểm nút. Giải hệ phương trình này sẽ tìm được các giá trị của hàm xấp xỉ tại các điểm nút của mỗi phần tử, nhờ đó hàm xấp xỉ hoàn toàn được xác định trên mỗi một phần tử.

Một bài toán phần tử hữu hạn ngày nay muốn giải quyết luôn phải trải qua hai công đoạn: Pre-processing và post-processing. Pre-processing là quá trình tiền phân tích gồm các công việc chia lưới và thiết lập điều kiện biên cho mô hình. Post-processing là quá trình giải, phân tích và xử lý kết quả. Quá trình từ xây dựng mô hình tính toán cho đến xử lý kết quả sẽ được giới thiệu rõ hơn những phần sau.

2.2. Phương pháp Explicit - bài toán va chạm

Phương pháp Explicit là các phương pháp được sử dụng trong phân tích số để thu được các giá trị số gần đúng đối với các nghiệm của các phương trình vi phân thường và từng phần phụ thuộc thời gian [3].

Phương pháp Explicit ứng dụng cho các bài toán động diễn ra trong thời gian ngắn (nhỏ hơn 1 giây), bài toán va chạm tức thời, vận tốc lớn như va chạm xe hơi, thả rơi, bài toán có nhiều liên kết phức tạp, tính đến phá hủy.

Phương trình cân bằng của động lực học tức thời được viết dưới dạng:

$$[M] \left\{ \frac{d^2u}{dt^2} \right\} + C \left\{ \frac{du}{dt} \right\} + K\{U\} = \{F_{ext}(t)\}$$

Trong đó: M - Ma trận khối lượng; C - Ma trận giảm chấn; K - Ma trận độ cứng.

Các đại lượng cơ bản như chuyển vị, vận tốc và gia tốc được xác định từ các điều kiện ban đầu về chuyển vị và vận tốc theo thời gian. Tất cả các đại lượng khác có thể được lấy từ những đại lượng này và quan trọng nhất là các ứng suất của phần tử, biến dạng dẻo, lực tương tác và các năng lượng như động năng, thế năng.

Các phần mềm giải quyết phương trình cân bằng động sử dụng cho các vấn đề phi tuyến tính cao là dùng phương pháp Explicit. Một số ưu điểm của quy trình như vậy và quan trọng nhất là nó dẫn đến một thuật toán có thể dễ dàng lập trình, không yêu cầu bất kỳ quy trình đảo ngược ma trận nào và hơn nữa là cực kỳ phù hợp với phương pháp tính toán song song nhanh.

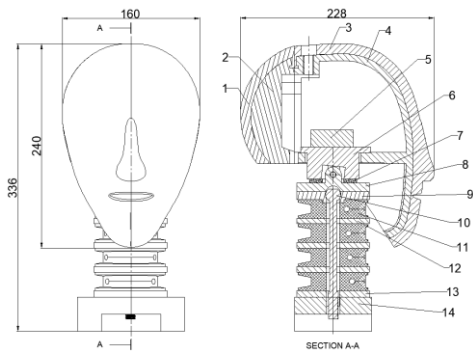
Phần mềm Hyperworks được sử dụng là phần mềm phần tử hữu hạn và phần mềm cũng sử dụng phương pháp Explicit để tính toán bài toán va chạm.

3. Xây dựng bài toán

3.1. Xây dựng bài toán

Mô hình thực tế đầu dummy được gia công từ bản vẽ 3D mô hình đầu dummy của tác giả Nguyễn Tiến Phú thuộc Lab Simulation & Control, Bộ môn ô tô và xe chuyên dụng, Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Bản vẽ 3D này được xây dựng dựa trên mô hình Hybrid Dummy III, với kế thừa thông tin từ các bài báo quốc tế và bản vẽ “Hybrid III 50th percentile male” [6].

Mô hình thực tế đầu dummy gồm có 14 chi tiết được bao gồm trong 2 cụm chi tiết lắp ráp lớn là phần đầu và phần cổ.



Hình 1. Bản vẽ lắp 2D

Bảng 1. Các chi tiết trong đầu dummy

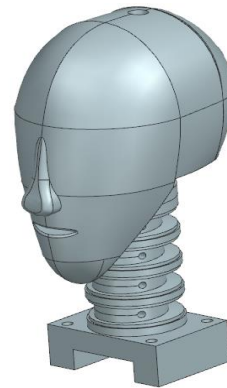
TT	Tên chi tiết	Số lượng
1	Da sọ sau	1
2	Sọ sau	1
3	Da sọ trước	1
4	Sọ trước	1
5	Đế lắp cảm biến	1
6	Khớp nối cổ trên	1
7	Ụ cao su	2
8	Khớp nối cổ dưới	1
9	Đĩa trên	1
10	Dây nối cổ	1
11	Đĩa cao su	4
12	Đĩa giữa	3
13	Đĩa dưới	1
14	Bệ đỡ cổ	1

Bảng 2. Cách gia công và vật liệu các chi tiết

TT	Tên chi tiết	Cách gia công	Vật liệu
1	Da sọ sau	In 3D	Nhựa PLA
2	Sọ sau	In 3D	Nhựa PLA
3	Da sọ trước	In 3D	Nhựa PLA
4	Sọ trước	In 3D	Nhựa PLA
5	Đế lắp cảm biến	In 3D	Nhựa PLA
6	Khớp nối cổ trên	In 3D	Nhựa PLA
7	Ụ cao su	In 3D	Nhựa TPU
8	Khớp nối cổ dưới	Cơ khí	Nhôm 6061
9	Đĩa trên	Cơ khí	Nhôm 6061
10	Dây nối cổ	Cơ khí	Thép C45
11	Đĩa cao su	In 3D	Nhựa TPU
12	Đĩa giữa	Cơ khí	Nhôm 6061
13	Đĩa dưới	Cơ khí	Nhôm 6061
14	Bệ đỡ cổ	Cơ khí	Nhôm 6061

Mô hình sử dụng hai cách gia công là gia công cơ khí sử dụng đồ gá, máy phay, máy tiện, máy khoan,

và phương pháp in 3D với vật liệu nhựa TPU đặc 20%, nhựa PLA đặc 20%.

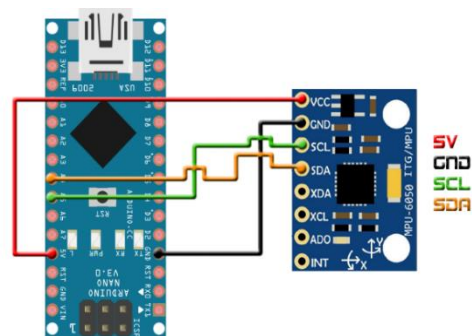


Hình 2. Bản vẽ lắp 3D



Hình 3. Mô hình lắp ráp sau gia công

Mạch đo gia tốc được kết nối giữa cảm biến gia tốc Mpu6050 với Arduino Nano. Các chân được hàn nối mạch với nhau trên PCB đục lỗ hai mặt.

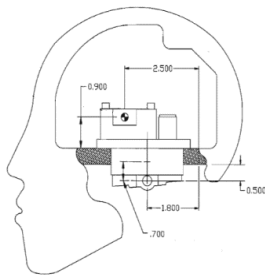


Hình 4. Sơ đồ mạch đo gia tốc

Arduino là một công cụ để điều khiển thiết bị điện tử. Lựa chọn Arduino nano để làm mạch điện trong đầu dummy vì thiết kế Arduino nano nhỏ gọn kích thước 18,5 x 43 (mm), phù hợp với không gian bên trong mô hình đầu dummy. Cảm biến gia tốc Mpu6050 là cảm biến 6 trục đo được gia tốc theo 3 trục tịnh tiến, 3 trục

quay [4]. Kích thước: 20,2 x 15,5 (mm).

Cảm biến của dummy được lắp vào điểm trùng với trọng tâm của đầu, dựa theo kích thước dưới đây.



Hình 5. Vị trí lắp đặt cảm biến trên bản vẽ



Hình 6. Vị trí lắp đặt cảm biến thực tế

Công cụ sử dụng để lập trình cho arduino và đọc giá trị cảm biến là phần mềm Arduino IDE [5]. Giá trị đo được được gửi từ Arduino IDE tới File Excel gồm thời gian và gia tốc a theo ba phương X, Y, Z (a_x, a_y, a_z) bằng tiện ích PLX-DAQ. Gia tốc tổng được tính theo công thức:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

3.2. Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng trên phần mềm HyperWork của hãng Altair. Ở bài toán này, do mô hình có độ dày tương quan với chiều dài và chiều rộng nên ta chọn loại phần tử chia lưới là phần tử 3D với kích thước lưới là 6. Kích thước lưới này sẽ đảm bảo kích thước chia lưới không quá nhỏ dẫn đến kết quả chính xác nhưng thời gian tính toán lâu hoặc kích thước lưới quá lớn dẫn đến thời gian tính toán nhanh nhưng kết quả không chính xác.

Bảng 3. Thông số vật liệu thép C45

Thông số	Giá trị
Modul đàn hồi E (Mpa)	210000
Khối lượng riêng (g/mm^3)	$7,85 \cdot 10^{-9}$
Hệ số poisson	0,3

Bảng 4. Thông số vật liệu nhựa PLA 20%

Thông số	Giá trị
Modul đàn hồi E (Mpa)	4400
Khối lượng riêng (g/mm^3)	$4,25 \cdot 10^{-11}$
Hệ số poisson	0,3

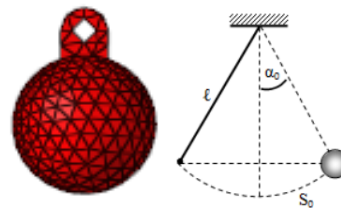
Bảng 5. Thông số vật liệu nhựa TPU đặc 20%

Thông số	Giá trị
Modul đàn hồi E (Mpa)	2410
Khối lượng riêng (g/mm^3)	$9,6 \cdot 10^{-10}$
Hệ số poisson	0,3897

Vật liệu đưa vào mô phỏng giống với vật liệu làm mô hình thực tế.

3.3. Thí nghiệm và mô phỏng va chạm

Bài kiểm nghiệm thực tế là bài một con lắc đơn va chạm vào đầu dummy. Đây bài toán đơn giản, phù hợp với điều kiện thực hiện, dễ dàng tính toán được các thông số.

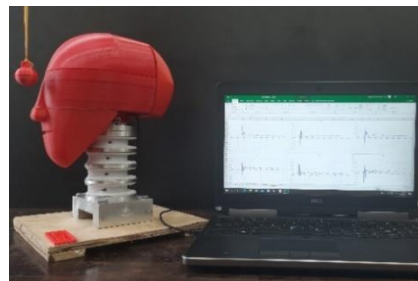


Hình 7. Con lắc đơn

Con lắc được chế tạo bằng phương pháp in 3D bằng nhựa in PLA, với độ đặc 100% được kéo và thả va chạm vào vị trí giữa trán đầu dummy.

Thông số đầu vào của bài kiểm tra:

- Khối lượng con lắc: 15gam;
- Đường kính con lắc: 30mm;
- Chiều dài dây treo: 370mm;
- Góc thả ban đầu: 90^0 ;
- Điểm va chạm với đầu trùng với vị trí cân bằng của con lắc đơn, vị trí va chạm cách đỉnh đầu dummy 50mm.



Hình 8. Thí nghiệm thực tế

Vận tốc con lắc tại điểm bắt đầu va chạm vào đầu dummy được tính theo công thức bảo toàn năng lượng:

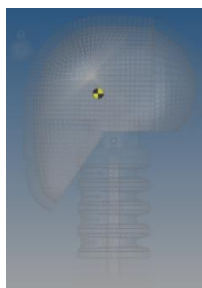
$$\frac{1}{2}mv^2 = mgl$$

Từ các thông số đầu vào trên, thay số tính được vận tốc $v = 2,748m/s$. Vận tốc này là đầu vào cho bài toán mô phỏng, là vận tốc con lắc va chạm vào đầu dummy. Con lắc được xây dựng mô hình phần tử hữu hạn với vật liệu thực tế và các thông số đầu vào trên.

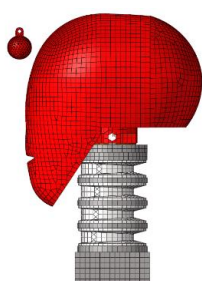
Vị trí lấy gia tốc trong mô phỏng va chạm cũng trùng với điểm đặt cảm biến lấy gia tốc ở bài kiểm nghiệm thực tế.

Bảng 6. Thông số vật liệu con lắc - nhựa PLA đặc 100%

Thông số	Giá trị
Modul đàn hồi E (Mpa)	4400
Khối lượng riêng (g/mm ³)	1,05.10 ⁻⁹
Hệ số poisson	0,3



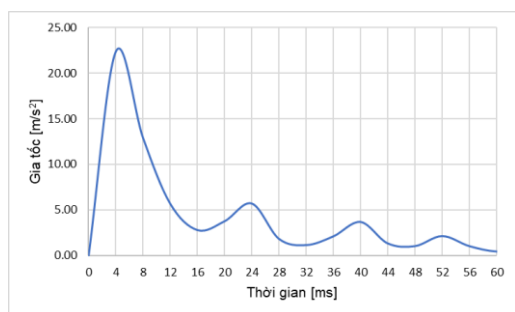
Hình 9. Vị trí lấy gia tốc



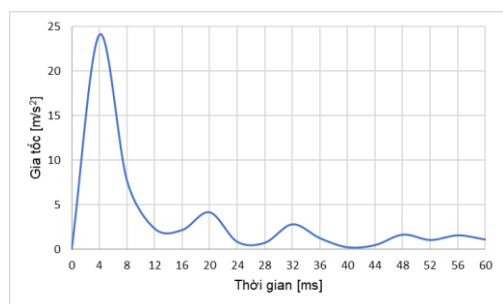
Hình 10. Mô hình mô phỏng va chạm

4. Kết quả

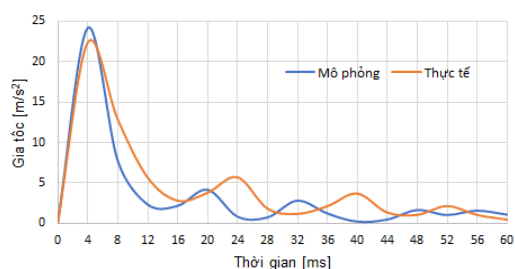
Đồ thị gia tốc thực tế và mô phỏng tại trọng tâm mô hình dummy được thể hiện dưới đây.



Hình 11. Đồ thị gia tốc thực tế



Hình 12. Đồ thị gia tốc mô phỏng



Hình 13. Đồ thị kết hợp

Kết quả giá trị gia tốc cực đại tại thí nghiệm thực tế là 22,36m/s², mô phỏng là 24,10m/s², với sai khác bằng 6,9%. Đây là sai khác chấp nhận được (<20%), do mô hình thực tế có sai số khi gia công và lắp ghép.

Hình dạng của hai đồ thị gia tốc thực tế và mô phỏng có sự tương đồng. Xung của đồ thị gia tốc mô phỏng có độ dốc lớn hơn đồ thị gia tốc thực tế. Từ đó có thể nói kết quả mô phỏng và thực tế là giống nhau.

5. Kết luận

Tác giả đã xây dựng mô hình đầu dummy thực tế, mô hình đầu dummy phần tử hữu hạn và có bài kiểm tra đánh giá thực tế cho hai mô hình bằng thông số đầu ra là gia tốc.

Mô hình phần tử hữu hạn đã được kiểm nghiệm qua mô hình thực tế do đó hoàn toàn có thể sử dụng mô hình để thực hiện các nghiên cứu về an toàn xe ô tô, mũ bảo hiểm, đồ bảo hộ và các sản phẩm liên quan đến đầu người.

Tuy nhiên cần áp dụng các vật liệu chuẩn của đầu dummy hybrid III để mô hình thực hiện các bài kiểm nghiệm chính có kết quả chính xác nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S-I Yi1, P K Mohan, C-D Kan, G-J Park, *Finite element modelling of a Hybrid III dummy and material identification for validation*, Trang web Sci-Hub, 2010.
- [2] Trần Ích Thịnh, Ngô Như Khoa, *Phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [3] Altair Engineering, *Explicit Analysis Radioss ebook*, Academic Program, 2018.
- [4] InvenSense, *Data sheet*, Revision 3.4, 2013.
- [5] IoT Maker Viet Nam, *Arduino cho người mới bắt đầu ebook*, 2017.
- [6] Office of crash worthiness standards, *Vehicle research and test center national highway traffic safety admisistration*, Bản vẽ Hybrid III 50th percentile male, 1997.

Ngày nhận bài: 26/6/2021
 Ngày nhận bản sửa: 05/8/2021
 Ngày duyệt đăng: 13/8/2021