

Preliminary design and simulation analysis of test bench with max thrust of 2000 N for electric propulsion ducted fan experimental investigation

Hoanh-Son Truong*, Ngoc-Bon Le, Cong-Truong Dinh

School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, No. 1, Dai Co Viet Road, Hai Ba Trung District, Hanoi 11615, Vietnam

Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.2.1-10>

*Corresponding author:

E-mail address:

son.truonghoanh@hust.edu.vn

Received: 4/3/2024

Accepted: 9/4/2024

Published: 15/4/2024

Abstract: This article proposes the calculation and preliminary design of a thrust measurement test stand for an electric Propulsion Ducted Fan (eDPF) - a propulsion device currently widely researched in Urban Air Mobility (UAM) and electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) aircraft. Initially, a 3D model of the thrust test bench is used to study the structural mesh independence according to the maximum von Mises stress and evaluate the mesh quality parameters. Using a commercial structural numerical simulation package, the investigated model is improved by several changes in geometric dimensions such as heights and positions. After comparing the maximum von-Mises stress of the test bench with values like ductile strength and tensile strength, the results indicate that the improved model performs well under a 2000 N thrust condition. After simulation, the improved model yields a maximum von Mises stress of 119.5 MPa, which is lower than the aluminum's yield strength of 259 MPa. Numerical analysis allows us to develop a recommended model of the test stand to put into further production and conduct experiments to measure eDPF thrust according to rotation speed. In addition, the problem of reducing vibration caused by the test stand and integrating additional measurement parameters such as torque, acoustic, etc. also be noted in the future.

Keywords: eDPF, Test Bench, Structural Simulation, von-Mises stress, Deformation.

Thiết kế sơ bộ và tính toán mô phỏng khung thử nghiệm với lực đẩy tối đa 2000 N cho nghiên cứu thực nghiệm động cơ đẩy điện sử dụng ống hướng dòng

Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.2.1-10>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ E-mail:
son.truonghoanh@hust.edu.vn

Ngày nộp bài: 4/3/2024
Ngày chấp nhận: 9/4/2024
Ngày đăng bài: 15/4/2024

Trương Hoàn Sơn*, Lê Ngọc Bồn, Đinh Công Trường
Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội, Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội 11615, Việt Nam

Tóm tắt: Bài viết này đề xuất việc tính toán và thiết kế sơ bộ bộ đứng thử nghiệm đo lực đẩy cho động cơ đẩy điện sử dụng ống hướng dòng (eDPF) - một thiết bị đẩy hiện đang được nghiên cứu rộng rãi trong lĩnh vực vận tải hàng không đô thị (UAM) và máy bay cất hạ cánh thẳng đứng bằng điện (eVTOL). Ban đầu, một mô hình 3D của khung thử nghiệm đo lực đẩy được sử dụng để nghiên cứu độ độc lập lưới dựa trên ứng suất von-Mises cực đại. Sử dụng phần mềm mô phỏng số cấu trúc thương mại, mô hình được nghiên cứu được cải tiến thông qua một số thay đổi về kích thước hình học như chiều cao và vị trí. Sau khi so sánh ứng suất von-Mises cực đại của khung thử nghiệm với các giá trị như độ bền dẻo và độ bền kéo, kết quả cho thấy mô hình cải tiến hoạt động tốt ở điều kiện lực đẩy 2000 N. Mô hình cải tiến sau khi mô phỏng cho kết quả ứng suất von-Mises cực đại là 119.5 MPa, nhỏ hơn giới hạn độ bền dẻo của nhôm là 259 MPa. Phân tích số cho phép chúng ta phát triển một mô hình đề xuất cho khung thử nghiệm để đưa vào sản xuất tiếp theo và tiến hành các thử nghiệm đo lực đẩy eDPF theo tốc độ quay. Ngoài ra, vấn đề giảm rung gây ra bởi khung thử nghiệm và tích hợp các thông số đo bổ sung như momen xoắn và âm học cũng được ghi chú để nghiên cứu trong tương lai.

Từ khóa: Động cơ đẩy điện có ống hướng dòng, Khung thử nghiệm, Mô phỏng cấu trúc, Ứng suất von-Mises, Biến dạng.

1. Giới thiệu

Những năm gần đây, nhu cầu ngày càng mạnh mẽ đối với các phương tiện bay sử dụng năng lượng sạch đã kéo theo yêu cầu cần phải phát triển một loại động cơ phù hợp. Với nguồn năng lượng sử dụng là điện, đồng thời có những ưu điểm vượt trội so với các động cơ truyền thống sử dụng năng lượng hóa thạch như: hiệu suất cao, giảm tiếng ồn và khả năng tích hợp vào các thiết kế máy bay với kích thước nhỏ và trọng lượng nhẹ, *Electric Propulsion Ducted Fan* (eDPF) là một trong những dạng động cơ phù hợp với những yêu

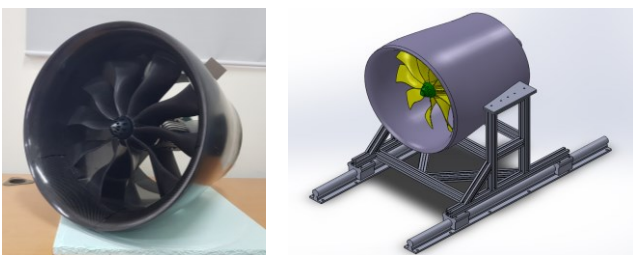
cầu trên. Từ đó những nghiên cứu về quạt đẩy điện có ống hướng dòng đã và đang được tiến hành.

Khái niệm "Ducted fan" hay quạt có sử dụng ống hướng dòng, đã được Luongo và các cộng sự [1] kiểm tra bằng thực nghiệm lần đầu tiên vào những năm 1930. Các thí nghiệm và lý thuyết đã được đưa vào để phát triển và nghiên cứu trên loại động cơ này. Muốn nghiên cứu và phát triển động cơ đẩy điện có ống hướng dòng, việc tìm hiểu các thông số như lực đẩy, mô men xoắn, tiếng ồn... là điều thiết yếu. Vì vậy cần thiết phải nghiên cứu, chế tạo các bộ khung thử nghiệm để xác định các

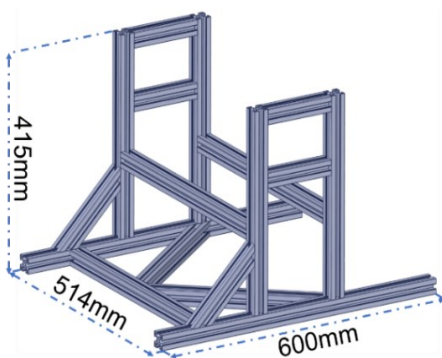
thông số trên.

Qua tìm hiểu, nhóm tác giả nhận thấy rằng nghiên cứu về khung thử nghiệm cho các loại động cơ có lực đẩy vừa và nhỏ ít được quan tâm, các nghiên cứu về các động cơ thuộc loại này chủ yếu tập trung vào hệ thống cảm biến để thu thập dữ liệu [2-4]. Tuy nhiên cũng đã có một vài nghiên cứu như: Ugur Kokal cùng các cộng sự [5] đã phát triển và kiểm tra khung thử nghiệm lực đẩy cho động cơ đẩy plasma công suất thấp hay thiết bị kiểm tra lực đẩy vi mô của hệ thống đẩy điện siêu âm của Weiguo He [6] và các cộng sự. Các nghiên cứu về khung (bộ) thử nghiệm chủ yếu tập trung cho các dạng động cơ có lực đẩy lớn như động cơ trực thăng, động cơ tên lửa,...[7-11]. Việc nghiên cứu cấu trúc khung thử nghiệm có thể giúp loại bỏ các chi tiết không cần thiết và đồng thời tăng giới hạn làm việc. Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ thiết kế một bộ khung thử nghiệm cho động cơ đẩy điện VasyFan VF-390 và tiến hành mô phỏng số để kiểm tra kết quả và sau đó cải tiến khung thử nghiệm để nó có thể mở rộng giới hạn làm việc và an toàn hơn. Kết quả này có thể mang lại lợi ích trong việc nghiên cứu, chế tạo và cải tiến các loại động cơ đẩy điện có ống hướng dòng trong tương lai.

2. Đối tượng nghiên cứu



Hình 1. Động cơ và mô hình khung thử nghiệm



Hình 2. Khung thử nghiệm với các kích thước cơ bản

Bảng 1. Vật liệu và khối lượng của khung thử nghiệm nghiên cứu

	Vật liệu	Khối lượng (kg)
Khung nhôm định hình	Nhôm A6061 T6	4.4453
Khung nhôm hộp	Nhôm A6061 T6	4.9438
Khung thép hộp	Thép SS330-JIS G3101	14.229

Các kích thước và hình dạng được thiết kế cho động cơ VasyFan VF-390 (Hình 1). Nhóm tác giả sẽ đề xuất 1 mô hình cho khung thử nghiệm ban đầu và sử dụng 3 loại vật liệu (Bảng 1) để chế tạo là: nhôm định hình, nhôm hộp và thép hộp. Sau khi mô phỏng sẽ chọn ra vật liệu thích hợp với mục đích sử dụng nhất để phát triển tiếp. Kích thước tổng quan của khung thử nghiệm (DxRxC) như sau: 600mmx514mmx415mm. Các kích thước trên được minh họa như ở Hình 2.

Do hình dạng tương tự nhau của thép hộp và nhôm hộp, nên cả 2 loại vật liệu này sẽ cùng có chung một mô hình khung thử nghiệm.

3. Mô phỏng số

Lý thuyết phần tử hữu hạn (The Finite-Element Method) đã được tác giả Richard G. Budynas đề cập trong quyển Shigley's Mechanical Engineering Design [12]. Đây là cơ sở và tiền đề vững chắc để xây dựng bài toán mô phỏng kết cấu. Trong bài toán kết cấu, có 2 thông số mà nhóm tác giả khảo sát đó là ứng suất von-Mises và biến dạng tổng. Theo tác giả Ferdinand P. Beer của quyển Mechanics of Materials [13], hai thông số này được xác định bởi các công thức như sau:

Ứng suất von-Mises:

$$\sigma' = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}$$

Trong đó: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ lần lượt là các ứng suất theo 3 phương x, y, z.

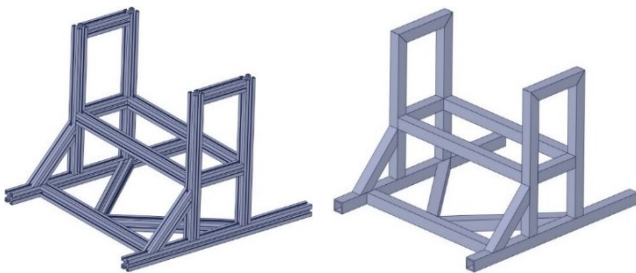
Biến dạng tổng:

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2}$$

Trong đó, $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ lần lượt là các thành phần biến dạng theo 3 phương x, y, z.

Trong phân tích CAE (Computer-Aided Engineering), phân tích ứng suất von-Mises được sử dụng để đánh giá độ bền của kết cấu. Vai trò chính của phân tích này là: đánh giá độ bền chung để xác định xem liệu kết cấu có đủ mạnh để chịu được tải trọng hoặc điều kiện làm việc không. Bằng cách tính toán ứng suất von-Mises, các khu vực có nguy cơ cao hơn của kết cấu có thể được xác định. Điều này giúp nhận biết các điểm yếu và tối ưu hóa thiết kế để cải thiện độ bền. Ngoài ra phân tích ứng suất von-Mises cung cấp một phương pháp để so sánh ứng suất thực tế trong kết cấu với giới hạn độ bền của vật liệu giúp đảm bảo rằng kết cấu không vượt quá giới hạn độ bền được chấp nhận.

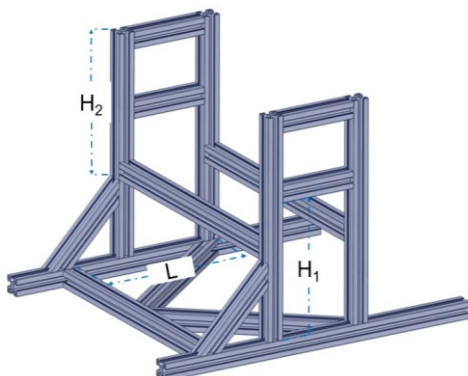
3.1. Thiết lập mô hình mô phỏng



(a) Nhôm định hình (b) Nhôm hộp và thép hộp
Hình 3. Mô hình khung nhôm định hình, nhôm hộp và thép hộp

Bảng 2. Thay đổi vị trí các thành phần của khung thử nghiệm

	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	L (mm)
Giá trị gốc	135	250	275
Lớn nhất	285	250	375
Nhỏ nhất	135	50	175
Bước nhảy	50	50	50



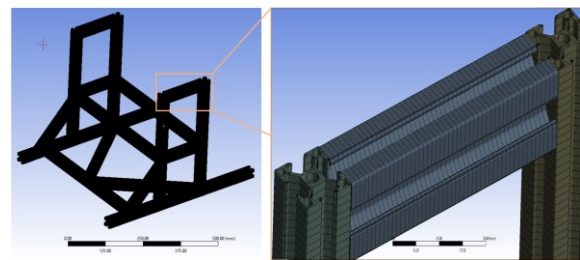
Hình 4. Các thông số hình học thay đổi

Việc thiết kế mô hình, chia lưới, thiết lập mô hình mô phỏng và xử lý kết quả đều được thực hiện trên phần mềm ANSYS WorkBench 19.1 [14].

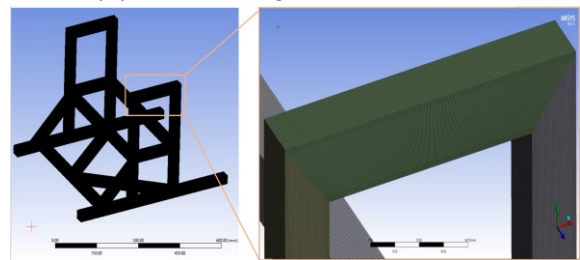
Nhằm đơn giản hóa bài toán, các chi tiết nhỏ và động cơ sẽ được loại bỏ. Mô phỏng sẽ chỉ tập trung vào kết cấu khung thử nghiệm (Hình 3). Sau khi chọn được mô hình, mô hình khung thử nghiệm sẽ được cải tiến theo các thông số trong Bảng 2. Các kích thước H1, H2, L được minh họa trong Hình 4. Các cặp thanh tương ứng với các kích thước trên sẽ được di chuyển để khảo sát.

3.2. Chia lưới

Đối với một bài toán mô phỏng, lưới là tham số rất quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng ứng dụng Static Structural để chia lưới cho toàn bộ các phần tử của khung. Việc tiến hành mô phỏng được chạy trên phần mềm Static Structural, nên việc chia lưới trong phần mềm này giúp việc kiểm soát các nút lưới, các mặt của vật thể một cách trực tiếp. Hơn nữa, trong phần mềm cũng có các mục cài đặt giúp cải thiện chất lượng lưới trong quá trình chia và tạo lưới phù hợp cho bài toán cấu trúc. Từ phần mềm trên, lưới được tạo sử dụng các phần tử Hexa để tính toán mô phỏng. Cấu trúc của lưới có thể được xem ở Hình 5.



(a) Lưới khung nhôm định hình



(b) Lưới khung nhôm hộp và thép hộp

Hình 5. Cấu trúc lưới khung nhôm định hình, nhôm hộp và thép hộp

3.3. Điều kiện biên

Lực đẩy, tương tác bề mặt giữa các vật thể và tính chất các loại vật liệu được thể hiện qua Bảng 3 và Bảng 4. Dữ liệu của nhôm A6061 T6 được lấy từ thư viện của phần mềm ANSYS WorkBench 19.1 và thép SS330-JIS G3101 được lấy từ nền tảng trực tuyến Matmatch [15].

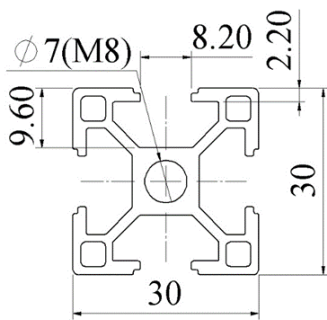
Hình 6 cho thấy kích thước và cấu tạo thông qua mặt cắt ngang của thanh nhôm định hình. Với nhôm hộp và thép hộp sẽ có kích thước mặt cắt ngang là 30x30mm, độ dày là 3mm.

Bảng 3. Điều kiện biên

Lực đẩy động cơ tối đa	1000N
Trọng lượng động cơ	250N
Tương tác bề mặt vật thể	Bonded

Bảng 4. Thông số vật liệu nhôm A6061 T6 và thép SS330-JIS G3101

	Nhôm A6061 T6	Thép SS330-JIS G3101
Khối lượng riêng	2710 kg/m ³	7800 kg/m ³
Mô đun Young	68.3 (GPa)	200 (GPa)
Hệ số Poisson	0.33	0.29
Độ bền dòn	259 (MPa)	205 (MPa)
Độ bền kéo	313 (MPa)	430 (MPa)



Hình 6. Kích thước hình học của biên dạng nhôm định hình 30x30 [16]

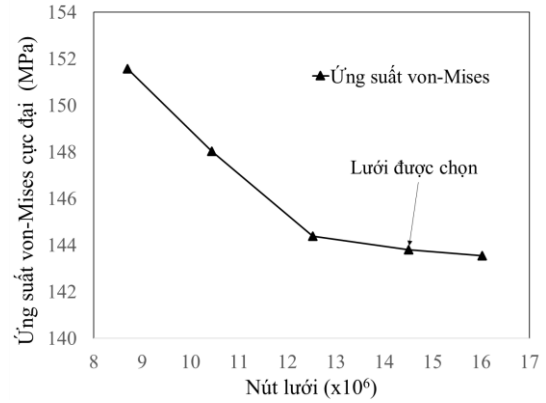
4. Kết quả và thảo luận

4.1. Khảo sát sự ảnh hưởng của lưới

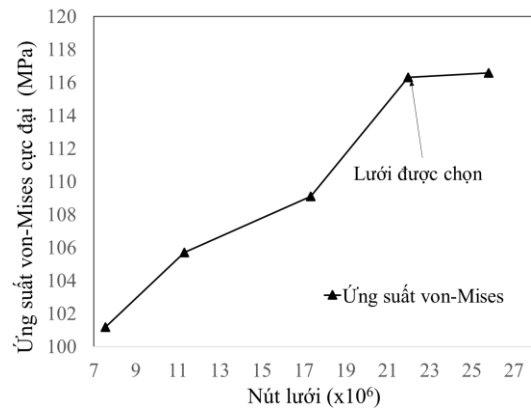
Ảnh hưởng của số lượng phần tử lưới đến ứng suất von-Mises cực đại trên khung được thể hiện thông qua đồ thị trên Hình 7. Đối với khung nhôm định hình kết quả ứng suất von-Mises cực đại ở lưới được chọn so với lưới mịn hơn chỉ thay đổi 0.181%, kết quả trên với khung nhôm hộp và

thép hộp lần lượt là 0.240% và 0.309%.

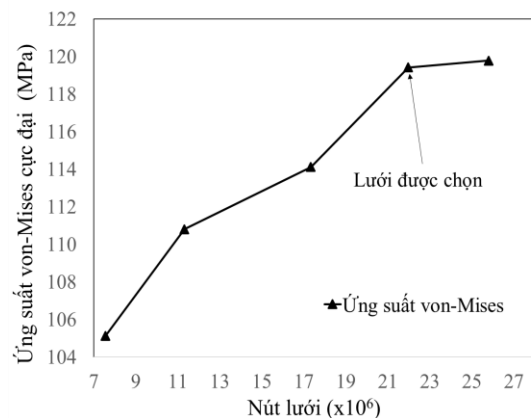
Để đảm bảo độ chính xác cũng như vẫn giữ được số lượng lưới không quá lớn nhằm tiết kiệm tài nguyên và thời gian tính toán, lưới với số lượng nút như được mô tả ở Bảng 5 sẽ được chọn để mô phỏng.



(a) Khung nhôm định hình



(b) Khung nhôm hộp



(c) Khung thép hộp

Hình 7. Đồ thị đánh giá chất lượng lưới

Bảng 5. Giá trị lưới của từng khung thử nghiệm

	Nhôm định hình	Nhôm hộp	Thép hộp
Số nút lưới	14503049	21968872	21968872

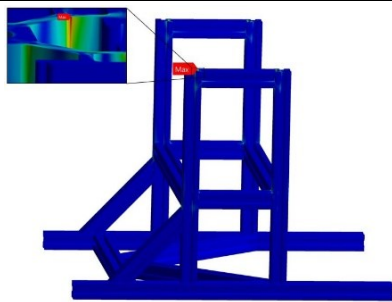
4.2. Đánh giá kết quả

Từ kết quả ở Bảng 6, ta thấy rằng giá trị ứng suất von-Mises cực đại trên mỗi khung đều bé hơn giá trị độ bền dẻo của vật liệu được sử dụng để chế tạo. Do đó, cả 3 khung đều hoạt động tốt ở điều kiện hoạt động tối đa của động cơ. Kết quả mô phỏng về ứng suất và chuyển vị của 3 trường hợp trên được đưa ra qua Hình 8 và Hình 9.

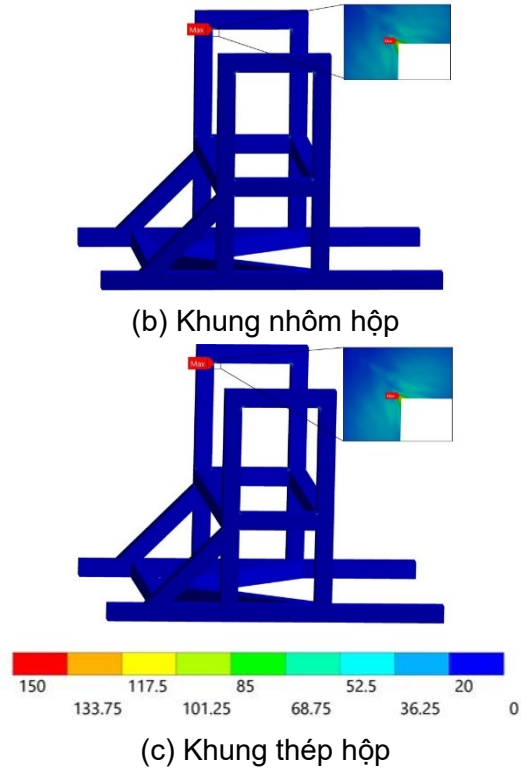
Mặc dù khung nhôm hộp và thép hộp cho kết quả tốt hơn nhiều so với nhôm định hình. Cụ thể, khung thép hộp cho giá trị biến dạng tổng cực đại thấp nhất do tính đàn hồi của thép kém hơn nhôm và khung nhôm hộp cho kết quả giá trị ứng suất von-Mises cực đại bé nhất. Nhưng do kích thước của cả 3 khung khá công kênh (600x514x415mm) nên việc sử dụng nhôm định hình cho phép ta có thể tháo rời các bộ phận của khung giúp cho việc vận chuyển được thuận tiện hơn. Trong tương lai, khi muốn điều chỉnh kích thước, vị trí các thành phần của khung ta hoàn toàn có thể tháo rời, di chuyển và thay thế các thành phần trên mà không gây tổn hại đến khung. Hơn nữa, khung nhôm định hình cũng là khung có khối lượng nhẹ nhất trong 3 khung và kết quả sau khi mô phỏng của khung cũng nằm trong phạm vi hoạt động tốt với ứng suất von-Mises cực đại là 143.8 MPa bé hơn độ bền dẻo của nhôm A6061 T6 là 259 MPa.

Bảng 6. Kết quả mô phỏng cho các trường hợp của khung thử nghiệm

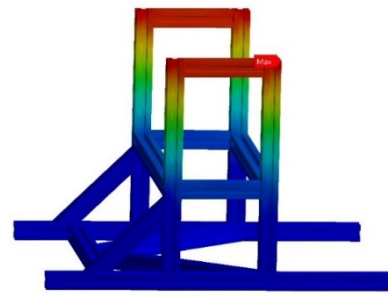
	Nhôm định hình	Nhôm hộp	Thép hộp
Ứng suất von-Mises cực đại (MPa)	143.80	116.30	119.42
Biến dạng tổng cực đại (mm)	0.42134	0.21298	0.07269



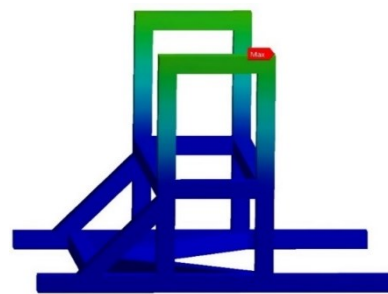
(a) Khung nhôm định hình



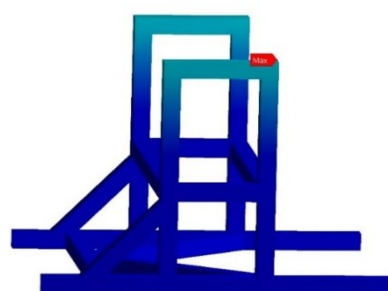
Hình 8. Kết quả ứng suất von-Mises lần lượt của khung nhôm định hình, nhôm hộp và thép hộp



(a) Khung nhôm định hình



(b) Khung nhôm hộp





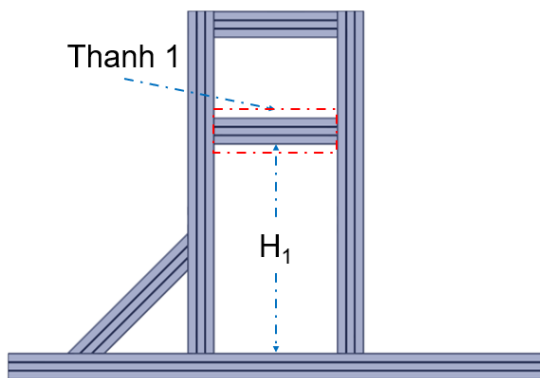
(c) Khung thép hộp

Hình 9. Kết quả biến dạng tổng lần lượt của khung nhôm định hình, nhôm hộp và thép hộp

4.3. Cải tiến mô hình

Để an toàn ta phải tính toán tới hệ số an toàn khi làm việc của khung thử nghiệm. Hệ số an toàn là 2 được lựa chọn để kiểm nghiệm. Điều này có nghĩa là ta sẽ tăng lực đẩy của động cơ từ 1000N thành 2000N. Kết quả mô phỏng ở lực đẩy 2000N như sau: biến dạng tổng cực đại là 0.88371mm, ứng suất von-Mises cực đại là 299.18 MPa. Ta sẽ tiến hành thay đổi vị trí và kích thước của các thanh sau và tính toán kết quả cho trường hợp hệ số an toàn bằng 2.

4.3.1. Thay đổi vị trí thanh 1



Hình 10. Khoảng cách thay đổi vị trí của thanh 1

Bảng 7. Kết quả thu được sau khi thay đổi vị trí thanh 1

H_1 (mm)	Biến dạng tổng cực đại (mm)	Ứng suất von-Mises cực đại (MPa)
285	0.7566	174.18
235	0.68021	189.44
185	0.70805	234.52
135	0.88371	299.18

Gọi H_1 là khoảng cách giữa thanh 1 và thanh ngang như trên Hình 10.

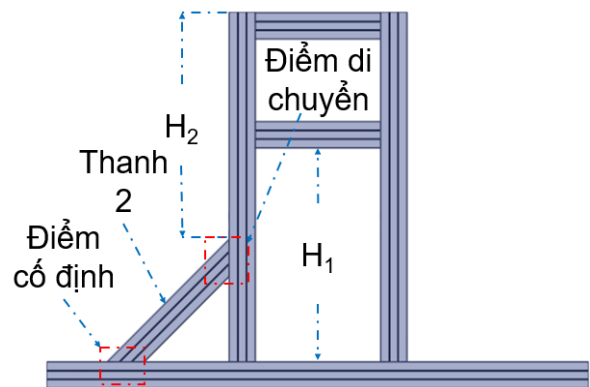
Kết quả khi thay đổi giá trị của H_1 như đã đưa ra ở Bảng 2 được đưa ra trên Bảng 7. Vậy vị trí của thanh 1 tại $H_1 = 235\text{mm}$ có biến dạng cực đại thấp nhất, khi H_1 lớn hơn giá trị này, ứng suất tiếp tục giảm trong khi chuyển vị bắt đầu tăng trở lại. Do

đó, ta sẽ chọn kết quả tại $H_1 = 235\text{mm}$ làm giá trị tham chiếu để tính toán cho trường hợp thay đổi vị trí thanh 2.

4.3.2. Thay đổi vị trí thanh 2

Gọi H_2 là khoảng cách giữa thanh 2 và thanh ngang như trên Hình 11.

Ta sẽ thay đổi giá trị của H_2 theo Bảng 2 với giá trị tham chiếu $H_1 = 235\text{mm}$. Kết quả khi thay đổi giá trị H_2 được đưa ra trên Bảng 8. Kết quả cho thấy rằng ứng suất von-Mises đạt giá trị cực tiểu tại $H_2 = 100\text{ mm}$. Ta sẽ lấy giá trị này làm kết quả tham chiếu cho trường hợp thay đổi vị trí thanh 3.



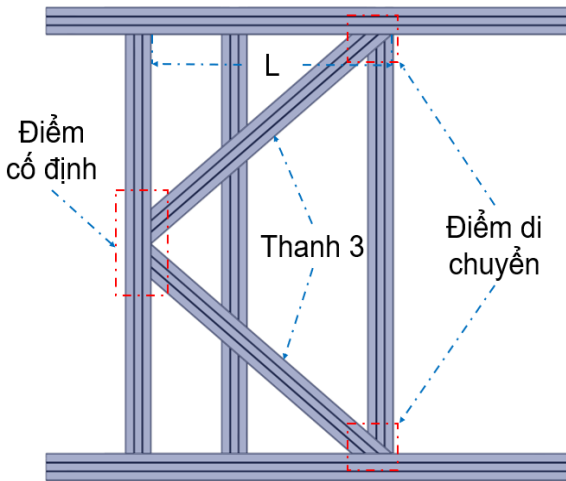
Hình 11. Khoảng cách thay đổi vị trí của thanh 2
Bảng 8. Kết quả thu được sau khi thay đổi vị trí thanh 2

H_2 (mm)	Biến dạng tổng cực đại (mm)	Ứng suất von-Mises cực đại (MPa)
250	0.68021	189.44
200	0.48661	165.02
150	0.37096	144.17
100	0.31795	121.58
50	0.28951	149.13

4.3.3. Thay đổi vị trí thanh 3

Gọi L là khoảng cách giữa đầu thanh chéo và thanh ngang như trên Hình 12. Ta sẽ thay đổi giá trị của L với giá trị tham chiếu $H_1 = 235\text{mm}$, $H_2 = 100\text{mm}$. Sau khi thay đổi giá trị L như đã được đưa ra ở Bảng 2, kết quả được nêu ở Bảng 9.

Kết quả cho thấy rằng ứng suất von-Mises đạt giá trị cực tiểu tại $L = 175\text{ mm}$. Sự thay đổi của biến dạng tổng cực đại trong các trường hợp trên là không đáng kể, vì vậy trường hợp cho kết quả ứng suất von-Mises cực đại tốt nhất sẽ được chọn.



Hình 12. Khoảng cách thay đổi vị trí của thanh 3

Bảng 9. Kết quả thu được sau khi thay đổi vị trí thanh 3

L (mm)	Biến dạng tổng cực đại (mm)	Ứng suất von-Mises cực đại (MPa)
175	0.31837	119.5
225	0.31877	121.27
275	0.31795	121.58
325	0.31751	120.97
375	0.31863	121.74

4.4. Đánh giá kết quả sau cải tiến

Sau khi kiểm tra các trường hợp cải tiến, kết quả cho thấy rằng khung tốt có kết cấu tốt nhất tại $H_1= 235\text{mm}$, $H_2= 100\text{ mm}$, $L=175\text{ mm}$. Kết quả ứng suất von-Mises cực đại sau cùng là 119.5 MPa, thấp hơn rất nhiều so với ngưỡng biến dạng dẻo của vật liệu nhôm A6061 T6. Đồng thời kết quả này cũng thấp hơn giá trị ứng suất von-Mises cực đại ở trường hợp chưa cải tiến với hệ số an toàn là 1. Kết quả so sánh có thể được thấy rõ ràng ở Bảng 10.

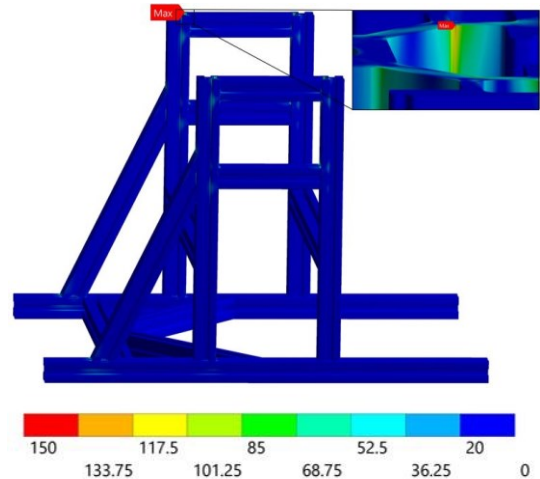
Kết quả mô phỏng cho trường hợp cải tiến được trình bày trên Hình 13.

Ta có thể thấy từ kết quả mô phỏng trên Hình 13, sau khi cải tiến phân bố ứng suất trên toàn khung đã có sự thay đổi. Cụ thể, các khu vực nơi giao nhau giữa các thanh có ứng suất cao hơn các khu vực khác ở trường hợp cải tiến đã có diện tích nhỏ hơn nhiều so với trường hợp gốc. Phân bố ứng suất ở các vùng cũng có sự thay đổi. Ở trường hợp cải tiến, ứng suất phân bố đều hơn giữa các

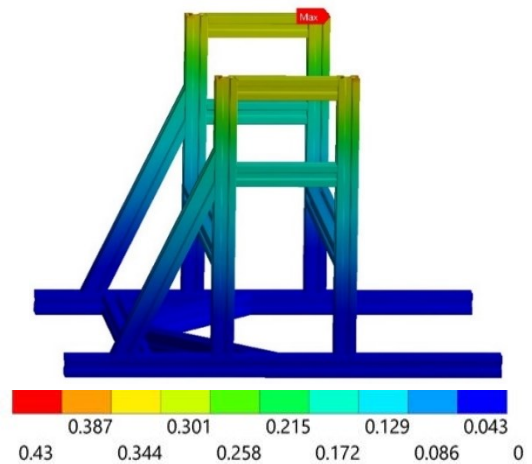
thanh và các thanh ở phía dưới cùng sẽ chia sẻ lực tác động với toàn bộ khung tốt hơn trường hợp gốc. Biến dạng tổng xuất hiện trên khung cũng giảm về giá trị độ lớn cũng như diện tích bị biến dạng.

Bảng 10. So sánh kết quả trước và sau khi cải tiến khung thử nghiệm

Giá trị	Trước cải tiến	Sau cải tiến
Ứng suất von-Mises cực đại (MPa)	299.18	119.5
Biến dạng tổng cực đại (mm)	0.88371	0.31837
Độ bền dẻo của nhôm A6061 T6 (MPa)		259



(a) Phân bố ứng suất von-Mises trên toàn bộ khung



(b) Phân bố biến dạng tổng trên toàn khung

Hình 13. Kết quả mô phỏng của khung thử nghiệm sau khi cải tiến

5. Kết luận

Như vậy, sau khi cải tiến khung thử nghiệm đã đạt được yêu cầu đề ra ban đầu và cho kết quả tốt hơn rất nhiều so với trường hợp gốc. Cụ thể ở trường hợp khi chưa cải tiến, ứng suất von-Mises cực đại trên khung là 299.18 MPa và biến dạng tổng cực đại là 0.88371 mm. Giá trị ứng suất này lớn hơn giá trị độ bền dẻo của nhôm A6061 T6 là 259 MPa, điều này có nghĩa là khung đã bị biến dạng dẻo. Tuy nhiên sau khi cải tiến, giá trị ứng suất von-Mises cực đại là 119.5 MPa giảm 60.06%, biến dạng tổng cực đại có giá trị là 0.31837 mm giảm 63.97%. Từ kết quả nêu trên thấy rằng ứng suất von-Mises cực đại thu được sau cải tiến đã nhỏ hơn giá trị độ bền dẻo của vật liệu nhôm A6061 T6 rất nhiều. Điều này cho thấy rằng khung đủ sức hoạt động tốt ở điều kiện lực đẩy 2000N, đạt được mục đích thiết kế đề ra.

Để khung thử nghiệm ngày càng hoàn thiện và an toàn hơn, trong tương lai nhóm tác giả đề xuất các ý sau để có thể đưa vào sản xuất chế tạo khung và tiến hành kiểm tra thực nghiệm. Nhóm sẽ tiến hành mô phỏng cấu trúc và giải bài toán rung động để đảm bảo độ ổn định của khung, thiết kế thêm các hệ thống đo đi kèm với khung để có thể đo được nhiều thông số của động cơ hơn nữa. Đồng thời cũng sẽ nghiên cứu và thiết kế các hệ thống an toàn cho khung thử nghiệm để bảo vệ người thao tác thí nghiệm như: các kính chắn bảo hộ quanh khu vực thử nghiệm, các dây đai an toàn gắn vào khung và động cơ,... Cuối cùng nhóm sẽ tiến hành nghiên cứu và phát triển khung thử nghiệm âm học kết hợp với khung thử nghiệm lực đẩy cho động cơ để kiểm tra các đặc tính âm học.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2023-BKA-11.

(This research is funded by the Ministry of Education and Training (MoET) under Project No. B2023-BKA-11).

Tài liệu tham khảo

- [1] C.A. Luongo, P.J. Masson, T. Nam, D. Mavris, H.D. Kim, G.V. Brown, and D. Hall. (2009). Next generation more-electric aircraft: a potential application for hts superconductors. In *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. Vol. 19 pp. 1055–1068. <https://doi.org/10.1109/TASC.2009.2019021>
- [2] R. Przysowa, P. Majewski, J. Ślęczek, D. Grundas, and M. Wachłaczko. (2023). Health monitoring of the shaft bearings in a micro turbojet based on vibration analysis. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2526. Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/17426596/2526/1/012070>
- [3] A.J. Brezina, and S.K. Thomas. (2013). Measurement of static and dynamic performance characteristics of electric propulsion systems. In *51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 2013*. <https://doi.org/10.2514/6.2013-500>
- [4] J.C. Thomas, J.M. Stahl, G.R. Morrow, and E.L. Petersen. (2016). Design and characterization of a lab-scale hybrid rocket test stand. In *52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2016*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA.
- [5] U. Kokal, E. Saridede, and M. Celik. (2023). Development and tests of a thrust stand with an in-situ null position adjustment and calibration method for low power plasma thrusters. *Results in Engineering*. Vol. 18. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101219>
- [6] W. He, F. Wang, X. Liu, and D. Guo. (2022). The first micro thrust measurement of the ultrasonic electric propulsion system. *Acta Astronautica*. Vol. 196, pp. 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.04.012>
- [7] M. Wojtas, P. Wyszowski, M. Mądro, M. Osiewicz, and P. Kmita. (2023). Test Stand for Propellers and Rotors in VTOL Drone Systems. *Transactions on Aerospace Research*. 2023(1), pp. 67–85. <https://doi.org/10.2478/tar-2023-0006>
- [8] M. Wojtas, and Ł. Czajkowski. (2019). A

- Prototype Test Stand For Testing Insolated Rotor Systems. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 26(3). Doi: 10.2478/kones-2019-0081
- [9] A. Samuel, and Y. Lin. (2015). Airvolt Aircraft Electric Propulsion Test Stand. American Institute of Aeronautics and Astronautics. NASA Armstrong Flight Research Center. Edwards. CA 93523-0273.
- [10] M. Wojtas, K. Raczko, and K. Czajkowski. (2021). Prototype Whirl Tower For Testing Insolated Rotor Systems In Hover. In 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2021. International Council of the Aeronautical Sciences.
- [11] Y.J. Choi, S.Y. Wie, and S. Chae. (2022). A Study on Hover Performance of Ducted Fans for an Unmanned VTOL Aircraft. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4045778>
- [12] R. Budynas, and K. Nisbett. (2009). *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Ninth Edition. McGraw Hill Inc.
- [13] P.B. Ferdinand, E.R. Johnston Jr., J.T. DeWolf, and D.F. Mazurek. (2015). *Mechanics of Materials*, Seventh Edition.
- [14] ANSYS Inc. (2018), ANSYS Mechanical User Guide 19.1.
- [15] Matmatch. (2024). Find Materials. <https://matmatch.com/materials/minfm36568-jis-g3101-grade-ss330>
- [16] ANTTEK VIETNAM EQUIPMENT JSC. (2024). <https://anttekvietnam.vn/atv8-3030-01/>