

TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ, MÔ HÌNH HÓA VÀ PHÂN TÍCH PHẦN TỬ HỮU HẠN CHI TIẾT MÂM XE Ô TÔ BẰNG VẬT LIỆU HỢP KIM NHÔM

CALCULATION, MODEL DESIGN AND LIMITED PARTS ANALYSIS OF ALUMINUM ALLOY CAR WHEELS

ThS. Nguyễn Tuấn Hưng

Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

Email: [nthung@uneti.edu.vn](mailto: nthung@uneti.edu.vn)

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình tính toán, thiết kế và mô phỏng chi tiết mâm xe ô tô bằng vật liệu hợp kim nhôm. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích độ bền tĩnh, ứng suất và biến dạng của mâm xe dưới tác dụng tải trọng làm việc. Mô hình 3D được xây dựng trên phần mềm NX và mô phỏng trên Abaqus nhằm đánh giá khả năng chịu tải và tối ưu hóa thiết kế. Kết quả cho thấy mâm xe hợp kim nhôm đáp ứng tốt yêu cầu cơ học, đồng thời mở ra hướng cải tiến trong lựa chọn vật liệu và thiết kế mâm xe hiện đại.

Từ khóa: Mâm xe ô tô hợp kim; Ứng suất; Biến dạng; Phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

The article presents the process of calculating, designing and simulating details of car rims made of aluminum alloy. The finite element method is used to analyze the static strength, stress and deformation of the rim under the working load. The 3D model is built on NX software and simulated on Abaqus to evaluate the load-bearing capacity and optimize the design. The results show that the aluminum alloy rim meets the mechanical requirements well, and opens up directions for improvement in material selection and modern rim design.

Keywords: Aluminum alloy car wheels; Stress; Deformation; Finite element method.

1. GIỚI THIỆU

Trong ngành công nghiệp ô tô hiện nay, xu hướng giảm khối lượng, tăng độ bền và cải thiện hiệu suất năng lượng đang được quan tâm mạnh mẽ trong thiết kế các chi tiết cơ khí. Mâm xe ô tô là bộ phận chịu tải trọng trực tiếp, đóng vai trò truyền lực từ trục đến mặt đường và ảnh hưởng lớn đến khả năng vận hành, độ ổn định

và an toàn của xe. Vì vậy, việc tối ưu hóa thiết kế mâm xe nhằm nâng cao độ bền và giảm khối lượng là hướng nghiên cứu quan trọng.

Theo tiêu chuẩn JIS D 4103 (1989) [1], các thông số kỹ thuật về tải trọng và độ bền của mâm xe đã được quy định chặt chẽ. Grubisic và Fischer (1984) [2] đã phân tích mối quan hệ giữa hình dạng và khả năng chịu ứng suất của

mâm xe thép, trong khi Hsu và cộng sự (2004) [3] áp dụng phương pháp phân tích số để đánh giá ứng suất và biến dạng của mâm hợp kim nhôm. Sunil và Hanamapure (2013) [4] tập trung vào tối ưu khối lượng mâm xe bằng FEM, còn Raju và cộng sự (2007) [5] nghiên cứu cơ chế phá hủy và độ bền mỏi của mâm hợp kim nhẹ.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về mô phỏng và tối ưu hóa mâm xe còn hạn chế, chủ yếu dừng ở mức khảo sát thực nghiệm. Do đó, việc ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong thiết kế và phân tích mâm xe ô tô bằng hợp kim nhôm là hướng nghiên cứu cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn. Bài báo này trình bày quá trình tính toán, mô hình hóa và phân tích mâm xe hợp kim nhôm bằng phần mềm NX và Abaqus, nhằm đánh giá ứng suất, biến dạng và định hướng tối ưu hóa thiết kế cho sản phẩm thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp tính toán phân tích

Để xác định các thông số cơ học cơ bản phục vụ cho quá trình mô hình hóa và mô phỏng phần tử hữu hạn mâm xe ô tô hợp kim nhôm, nghiên cứu tiến hành tính toán các đại lượng đặc trưng gồm vận tốc góc, lực cắt bulông liên kết, và tuổi bền mỏi của chi tiết.

❖ Vận tốc góc

Vận tốc dài của xe được giả thiết là 120 km/h. Quy đổi đơn vị của vận tốc, ta có:

$$1\text{km/h} = 0,277\text{m/s} \Rightarrow 120\text{km/h} = 33,33\text{m/s}$$

Ta có công thức liên hệ giữa vận tốc dài và vận tốc góc như sau:

$$V = \omega \cdot r$$

Với:

- V là vận tốc dài bằng 33,33m/s;

- ω là vận tốc góc;

- r là bán kính của mâm xe bằng 0,126m.

Do đó:

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{33,33}{0,126} = 264,52 \text{ rad/s}$$

Kết quả này được sử dụng để mô phỏng điều kiện quay thực tế của bánh xe trong quá trình chịu tải trọng động.

❖ Lực cắt bulông

Lực cắt tại vị trí liên kết được tính theo biểu thức:

$$F_i = C \cdot A_s \cdot S_p$$

Với: C = 0.75 là hằng số đối với mối liên kết bulông, A_s là diện tích chịu cắt khi kéo của bulông bằng $(d_1 + d_2)^2/4$ với d_1 là đường kính đáy ren bulông, và d_2 là đường kính đỉnh ren bulông.

Sử dụng bulông bánh xe với kích thước $d_1 = 14.761\text{mm}$ và $d_2 = 16.755\text{mm}$.

$$A_s = \frac{(D_1 + D_2)^2}{4} = \frac{(14.761 + 16.755)^2}{4} = 248.31\text{mm}^2$$

S_p là ứng suất thử, tính bằng 85% năng suất = 0.85×229 .

Do đó:

$$F_i = 0.75 \times 248.31 \times 0.85 \times 229 = 36250.156 \text{ N}$$

Giá trị này được sử dụng làm điều kiện biên lực trong mô phỏng phần tử hữu hạn.

❖ Tuổi bền mỏi

Tuổi thọ mỏi của mâm xe được ước tính dựa trên số chu kỳ tải N_f , tính theo công thức thực nghiệm:

Số chu kỳ:

$$N_f = \left\{ \frac{\sigma_{ult} - \sigma_{ult} \left(\frac{1}{f_{os}} - \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \right)}{\sigma_a} \right\}^{\frac{1}{0.08}}$$

Với:

- N_f là số chu kỳ;
- σ_{ult} là ứng suất lớn nhất;
- f_{os} là hệ số an toàn;
- σ_e là giới hạn bền;
- σ_a là ứng suất theo chu kỳ.

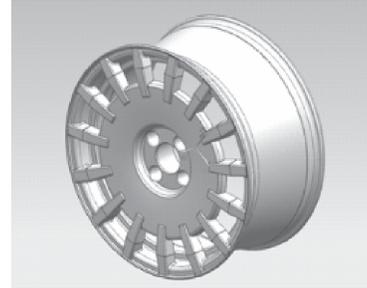
$$N_f = \left\{ \frac{580 - 580 \left(\frac{1}{1.4} - \frac{140.96}{102} \right)}{102} \right\}^{\frac{1}{0.08}} = 1.16 \times 10^6$$

Kết quả cho thấy mâm xe có tuổi thọ mỏi tương đối cao, đảm bảo yêu cầu độ bền động học trong quá trình vận hành.

2.2. Phương pháp mô phỏng phân tích

Mô hình hình học của mâm xe ô tô được thiết kế bằng phần mềm Siemens NX, như minh họa ở Hình 1. Quá trình mô hình hóa đảm bảo tái hiện đầy đủ các đặc trưng hình học của chi tiết, bao gồm vành ngoài, nan hoa và ổ bulông liên kết, với khối lượng tổng cộng 16.123 kg. Sau khi hoàn thiện mô hình 3D, chi tiết được

xuất sang định dạng STEP để phục vụ phân tích phần tử hữu hạn trong phần mềm Abaqus.



Hình 1. Mô hình hóa mâm xe ô tô bằng phần mềm NX.

Vật liệu được lựa chọn cho mô hình là hợp kim nhôm 356, loại vật liệu được sử dụng phổ biến trong chế tạo mâm xe do có tỷ trọng thấp, độ bền kéo cao, khả năng chống ăn mòn tốt và độ bền mỏi ổn định [3, 5]. Các thông số cơ học và đặc tính vật lý của hợp kim được trình bày trong bảng 1, bảng 2 mô tả thành phần hóa học của vật liệu.

Bảng 1. Tính chất vật liệu hợp kim nhôm 356.

Khối lượng riêng	2.69 g/cm ³
Modun đàn hồi	72 Gpa
Hệ số Poisson	0.3
Tính dẫn điện	40% IACS
Độ dẫn dài khi kéo	4%
Độ bền mỏi	60 Mpa
Nhiệt độ nóng chảy	557°C
Mô đun cắt	27 Gpa
Nhiệt dung riêng	970 J/kg.K
Độ bền kéo	260 Mpa
Độ dẫn nhiệt	150 W/m.K

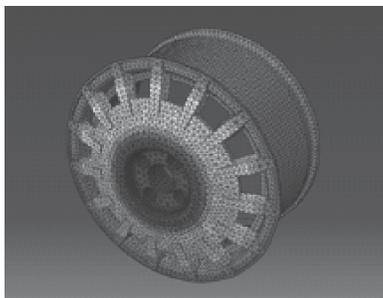
Bảng 2. Thành phần hóa học của hợp kim nhôm 356

Al	Si	Fe	Mg	Mn	Zn	Cu	Ti	Các chất khác
90.1 - 90.3 %	6.5 - 7.5%	0 - 0.6%	0.2 - 0.45%	0 - 0.35%	0 - 0.35%	0 - 0.25%	0 - 0.25%	0 - 0.15%

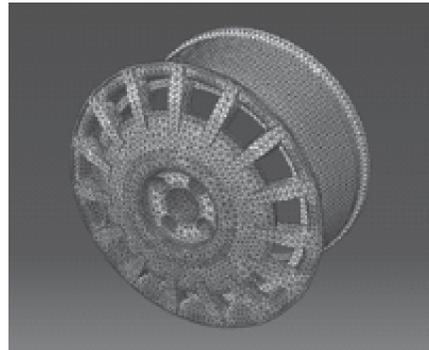
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích đặc tính cơ học của mâm xe ô tô bằng hợp kim nhôm 356. Đây là một phương pháp số mạnh mẽ, cho phép giải quyết các bài toán kỹ thuật có hình học, tải trọng và tính chất vật liệu phức tạp, trong khi các phương pháp giải tích truyền thống thường không thể áp dụng.

Trong nghiên cứu này, mô hình mâm xe được xây dựng trên phần mềm NX và nhập vào Abaqus để tiến hành phân tích. Mô hình được chia lưới bằng phần tử tứ diện do hình dạng mâm xe phức tạp, có nhiều biên dạng cong và góc lượn nhỏ, không phù hợp với phần tử lập phương. Điều kiện biên được áp dụng là áp lực 0,25 MPa tác dụng đều lên bề mặt vành mâm, mô phỏng tải trọng làm việc thực tế khi xe di chuyển.



(a)



(b)

Hình 2. Mô phỏng chuyển vị (a) và ứng suất (b) của mâm xe bằng phần mềm Abaqus.

Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 2 cho thấy các vùng chịu ứng suất cao tập trung chủ yếu quanh khu vực gắn bulông và tâm mâm xe – nơi chịu tải trọng trực tiếp từ trục bánh. Giá trị ứng suất tương đương đạt 67,81 MPa, thấp hơn nhiều so với giới hạn bền kéo của vật liệu (260 MPa), chứng tỏ mâm xe vẫn làm việc trong vùng an toàn. Ứng suất chính lớn nhất đạt 101,79 MPa, trong khi chuyển vị cực đại chỉ 0,1468 mm, đảm bảo độ cứng vững tốt của kết cấu.

Tuổi bền mỏi ước tính đạt khoảng 10×10^6 chu kỳ, cho thấy khả năng chịu tải lặp lại tốt của mâm xe trong điều kiện vận hành thực tế. Thông số kết quả mô phỏng mâm xe ô tô bằng hợp kim nhôm 356 được cho trong bảng 3 dưới đây.

Bảng 3. Thông số kết quả mô phỏng mâm xe ô tô vật liệu hợp kim nhôm bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Thông số	Ứng suất tương đương (MPa)	Ứng suất chính tối đa (MPa)	Ứng suất chính tối thiểu (MPa)	Chuyển vị (mm)	Tuổi bền (chu kỳ)
Giá trị	67.81	101.79	31.91	0.1468	10,000,000

4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng bằng phương pháp phân tử hữu hạn cho thấy ứng suất tương đương lớn nhất của mâm xe hợp kim nhôm là 67,8 MPa, nhỏ hơn nhiều so với giới hạn chảy của vật liệu (260 MPa), chứng tỏ thiết kế đảm bảo độ bền và an toàn trong vận hành.

So sánh với phương pháp tính toán phân tích, sai lệch nhỏ cho thấy mô hình mô phỏng có độ tin cậy cao và phản ánh đúng ứng xử cơ học của chi tiết. Mâm xe có khối lượng 16,12 kg, giúp giảm khoảng 22% so với thép, góp phần giảm trọng lượng tổng thể và nâng cao hiệu suất xe.

Tuổi bền mô phỏng đạt 10^8 chu kỳ, cao hơn kết quả phân tích lý thuyết ($1,16 \times 10^6$ chu kỳ), khẳng định vật liệu hợp kim nhôm 356 là lựa chọn tối ưu cho thiết kế mâm xe ô tô hiện đại.

Từ các kết quả đạt được, có thể kết luận rằng:

- Thiết kế mâm xe hợp kim nhôm 356 đạt yêu cầu về độ bền, độ cứng và tuổi thọ, phù hợp cho ứng dụng trong các dòng xe du lịch và xe tải nhẹ.

- Việc thay thế mâm thép bằng mâm hợp kim nhôm 356 không chỉ giúp giảm trọng

lượng tổng thể xe mà còn nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu và tính ổn định khi vận hành.

- Nghiên cứu mở ra hướng tối ưu hóa thiết kế mâm xe bằng các vật liệu nhẹ, kết hợp mô phỏng FEM nhằm rút ngắn quá trình thiết kế – thử nghiệm và tăng độ tin cậy cho sản phẩm thực tế. ❖

Ngày nhận bài: **05/11/2025**

Ngày phản biện: **17/11/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. JIS D 4103, "Disc wheel for automobiles", Japanese Industrial Standard, 1989.
- [2]. V. Grubisic, G. Fischer, "Analysis and testing of fatigue strength in automobile disc wheels", SAE Technical Paper Series, 830135, 508-525, 1984.
- [3]. Y. L. Hsu, S. G. Wang, T. C. Liu, "Structural analysis of aluminum alloy car wheels using finite element method". Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 21(6), 551-558, 2004.
- [4]. N. Y. Sunil, N. S. Hanamapure, "Optimization and structural analysis of alloy wheel using finite element method". International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, 2(5), 213-239, 2013.
- [5]. P. R. Raju, B. Satyanarayana, K. Ramji, K. S. Babu, "Failure analysis of aluminum alloy automotive wheels". Engineering Failure Analysis, 14, 791-800, 2007.