

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN ĐỂ TÍNH BỀN KHUNG VỎ Ô TÔ CON

RESEARCH ON THE APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TO ANALYSE
STRENGTH OF CAR BODY STRUCTURE

ThS. Tạ Thị Thanh Huyền, ThS. Nguyễn Quang Cường
Bộ môn Cơ khí Ô tô, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Trong kết cấu của ô tô, khung vỏ ô tô là bộ phận không thể thiếu để kết nối các bộ phận của ô tô, đóng vai trò quyết định đến sự an toàn cũng như cảm giác của người sử dụng. Để thỏa mãn yêu cầu lắp ráp, khả năng làm việc và tuổi thọ sử dụng, kết cấu thân vỏ ô tô cần phải đảm bảo độ cứng tĩnh và độ bền lâu. Bài báo trình bày dùng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để xây dựng mô hình phần tử hữu hạn khung vỏ ô tô con; đưa ra các phương pháp tính bền và chế độ tải trọng tính toán; tiến hành tính toán bền cho khung vỏ xe ở các chế độ tải trọng khác nhau. Từ đó, đánh giá độ bền của khung vỏ sát với điều kiện làm việc thực tế của ô tô.

Từ khóa: *Kết cấu thân vỏ ô tô; Độ bền tĩnh; Độ bền lâu; Phương pháp phần tử hữu hạn; Độ bền khung vỏ ô tô.*

ABSTRACT

The chassis is an essential aspect of the car's construction, connecting the various components and playing a critical role in the user's safety and satisfaction. The car body construction must maintain static rigidity and extended durability in order to meet the requirements of assembly, workability, and service life. The paper describes how to develop a finite element model of a car body frame using the finite element method (FEM); give methods for determining durability and load mode; and conduct strength calculations for the chassis under various load modes. Assess the chassis's durability in close proximity to the car's real operating circumstances.

Keywords: *Car body structure; Static strength; Long durability; Finite element method; Strength of car body structure.*



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, công nghệ sản xuất và lắp ráp ô tô không ngừng được nâng cao. Ngành sản xuất ô tô ngày càng chú trọng đến ý tưởng sáng tạo sản phẩm mới nhằm mục đích nâng cao hơn nữa tính năng, chất lượng và tính tiện nghi của ô tô. Trong kết cấu của ô tô, khung vỏ xe là bộ phận không thể thiếu để kết nối các bộ phận của xe, đóng vai trò quyết định đến sự an toàn cũng như cảm giác của người sử dụng. Vì vậy, việc nghiên cứu, tính toán bền khung vỏ xe là một việc cần thiết cho quá trình thiết kế và kiểm nghiệm chất lượng. Trong bài báo này, các tác giả tiến hành xây dựng bài toán kiểm nghiệm bền khung vỏ xe trong ba trường hợp cơ bản có kể đến kích thích của động cơ và bề mặt đường.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN KHUNG VỎ Ô TÔ CON

Việc xây dựng mô hình khung vỏ xe cần căn cứ vào yêu cầu cân đối giữa độ phức tạp của mô hình và độ chính xác mô phỏng.

Trong tài liệu [8] đã tiến hành xây dựng mô hình phần tử hữu hạn cơ bản của khung vỏ ô tô con như sau:



Hình 1. Mô hình CAD khung vỏ ô tô con



Hình 2. Mô hình phần tử hữu hạn khung vỏ ô tô con sau khi tạo liên kết

Thông tin cơ bản của mô hình PTHH khung vỏ ô tô con như Bảng 1:

Bảng 1. Thống kê thông tin mô hình

	Phần tử				Nút
	Tứ giác	Tam giác	CWELD	RBE2	
Số lượng	170860	650	5825	182	182762
Phần tử tam giác chiếm: 0,38%					

Sau khi xây dựng mô hình phần tử hữu hạn, tiến hành định nghĩa thuộc tính vật liệu trong kết cấu thân xe. Kết cấu thân vỏ xe chủ yếu dùng thép các bon thấp, do thuộc tính các loại vật liệu thép các bon thấp sai lệch nhau không nhiều, ảnh hưởng đến kết quả tính toán có thể bỏ qua. Áp dụng tham số vật liệu như như Bảng 2.

Bảng 2. Thuộc tính của vật liệu trong mô hình

Tham số	Mô đun đàn hồi	Hệ số poisson	Khối lượng riêng
Giá trị	2,06e5 (MPa)	0,3	7,89e ³ (kg/m ³)

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT BỀN VÀ CÁC CHẾ ĐỘ TÍNH TOÁN

3.1. Lý thuyết bền

Thuyết bền là những giả thuyết về nguyên nhân phá hoại của vật liệu, nhờ đó đánh giá được độ bền của vật liệu ở mọi trạng thái ứng suất khi chỉ biết độ bền của vật liệu ở trạng thái ứng suất đơn (do thí nghiệm kéo, nén đúng tâm). Với phân tố ở trạng thái ứng suất bất kỳ có các ứng suất chính $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, ta tìm ứng suất tính theo thuyết bền là một hàm của $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ rồi so sánh với $[\sigma]_k; [\sigma]_v$ ở trạng thái ứng suất đơn.

Điều kiện bền của vật liệu có thể biểu diễn dưới dạng tổng quát như sau:

$$\sigma_t = \sigma_{td} = f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \leq [\sigma]_k \quad (\text{hay } \sigma_t = f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \leq [\sigma]_n)$$

Trong đó: σ_t, σ_{td} được gọi là ứng suất tính hay ứng suất tương đương.

3.2. Áp dụng các thuyết bền

Phần mềm HyperWorks có thể tính toán

ứng suất cấu trúc theo thuyết bền ứng suất pháp lớn nhất (thuyết bền thứ nhất); hoặc thuyết bền biến dạng dài tương đối lớn nhất (thuyết bền thứ hai); hoặc thuyết bền ứng suất tiếp lớn nhất (thuyết bền thứ ba); hoặc thuyết bền thế năng đối hình dáng cực đại (thuyết bền thứ tư – Von Mises); hoặc thuyết bền Mohr (thuyết bền thứ năm). Trong đó, thuyết bền thứ nhất, thứ hai và thứ năm thường được sử dụng để phân tích và nghiên cứu các vật liệu giòn. Để phân tích các vật liệu biến dạng dẻo dưới tác động bên ngoài, sử dụng thuyết bền thứ ba và thứ tư.

3.3. Vật liệu tính toán

Ứng xử cơ học trên vật liệu khá phức tạp, các vật liệu khác nhau có những phản hồi khác nhau với cùng loại kích thích. Khung xe phải tránh được phá vỡ cấu trúc, tuy nhiên cần phải xem xét biến dạng lớn nhất (đàn hồi hoặc dẻo). Kết cấu thân vỏ xe chủ yếu dùng thép các bon thấp, do thuộc tính các loại vật liệu thép các bon thấp sai lệch nhau không nhiều, ảnh hưởng đến kết quả tính toán có thể bỏ qua. Áp dụng tham số vật liệu như bảng 3.

Bảng 3. Thuộc tính của vật liệu trong mô hình (thép CT3)

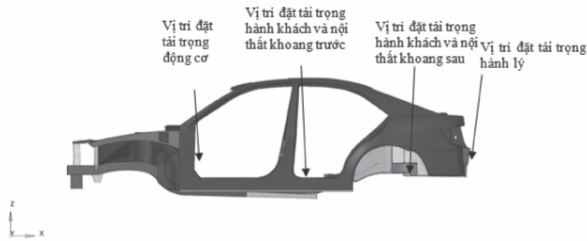
Tham số	Mô đun đàn hồi	Hệ số poisson	Khối lượng riêng	Ứng suất giới hạn
Giá trị	$2,1e^{+5}$ (MPa)	0,3	$7,9e^{-9}$ (kg/m ³)	245 (Mpa)

3.4. Khối lượng tải trọng bổ sung

Trên cơ sở khung vỏ ô tô con, trong trường hợp đầy tải bổ sung thêm khối lượng cho mô hình: khối lượng hành khách: 65 kg/người; khối lượng hành lý: 10 kg/người; khối

lượng cụm động cơ, ly hợp, hộp số, hệ thống lái,...: 250 kg; khối lượng nội thất đặt vào: 180 kg. Vị trí đặt khối lượng bổ sung lên khung vỏ ô tô trong bài toán tính bền được thể hiện dưới hình sau:





Hình 3. Các vị trí đặt khối lượng lên khung xe

3.5. Các chế độ tải trọng tính toán bền

Khung xe là kết cấu truyền lực và chịu lực rất phức tạp. Tải trọng tác dụng lên xe được chia thành tải trọng tĩnh và tải trọng động. Tải trọng tĩnh là tải trọng có giá trị không thay đổi theo thời gian: Trọng lượng phần được treo gồm người lái, hành khách, tải trọng hành lý, các cụm tải trọng khác trên xe... Tải trọng động là tải trọng có giá trị thay đổi theo thời gian, xuất hiện trong thời gian ngắn nhưng gây nên ứng suất cao trong chi tiết dẫn đến các hiện tượng như gãy, vỡ trực tiếp. Sự thay đổi của tải trọng động phụ thuộc vào sự thay đổi của lực quán tính tác động lên khung xe. Đối với tính toán thiết kế ban đầu, tải trọng động thực tế thường được thay thế bằng tải trọng tĩnh và được xác định:

$$P_d = \tau \cdot P_{tn}$$

Trong đó: P_d - Tải trọng động [N]; P_t - Tải trọng tĩnh [N]; τ - Hệ số của lực quán tính; n - Hệ số an toàn.

Các chế độ tải trọng động của xe được phân tích thành các trường hợp sau:

Trường hợp xe phanh gấp khi chuyển động thẳng.

Trường hợp xe chuyển động quay vòng.

Trường hợp một bánh xe qua hố sâu.

a. Trường hợp xe phanh gấp khi chuyển động thẳng

Khi phanh xe, do tác dụng của lực quán tính nên phân bố trọng lượng lên các cầu có sự thay đổi, tạo ra hiện tượng uốn cho khung vỏ xe. Tính bền nhằm khẳng định khả năng chịu đựng của chi tiết mà không hỏng (bị gãy, vỡ, rạn nứt, biến dạng...) khi nó phải chịu mức tải trọng lớn nhất có thể xảy ra trong quá trình làm việc.

Gia tốc cực đại khi phanh của ô tô:

$$j_{Pmax} = \frac{g \cdot \varphi_x}{\delta_{jP}} = (7 - 8) [m / s^2]$$

b. Trường hợp xe chuyển động quay vòng

Khi xe chuyển động quay vòng, trọng tâm xe có xu hướng lệch về phía xe vào cua. Tải trọng bên xuất hiện khi xe quay vòng, gây ra lực quán tính ly tâm. Khi đó, khung vỏ xe chịu lực uốn ngang thân xe. Trong bài toán tính bền khi xe chuyển động quay vòng, xét trường hợp ô tô chuyển động đều ($j = 0$) theo một quỹ đạo tròn thì:

$$P_{jX} = -G \cdot \frac{b \cdot v^2}{g \cdot R^2}; P_{jY} = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R}$$

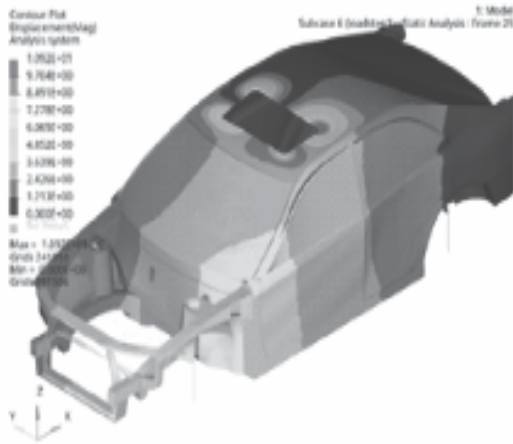
Xét vận tốc quay vòng của ô tô: $v = 25$ km/h; Bán kính quay vòng: $R = 5,2$ m.

c. Trường hợp một bánh xe qua hố sâu

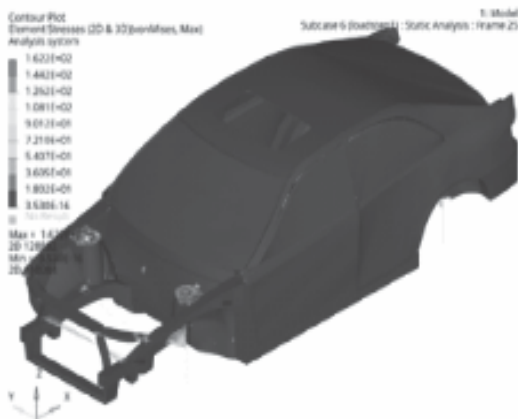
Khi xe di chuyển trên đường xấu, có “ổ gà”, một bánh xe sa xuống hố, khi đó trọng tâm của xe thay đổi, tải trọng của xe sẽ dồn về phía bánh xe gặp sự cố. Trong bài toán tính toán kiểm nghiệm bền này, xét đến khả năng của xe trong trường hợp khắc nghiệt nhất, nên coi giá trị khối lượng đặt thêm tại bánh xe sa hố bằng $\frac{1}{4}$ khối lượng toàn tải của ô tô.

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG TRÊN PHẦN MỀM HYPERWORD

a. Kết quả tính bền khung vỏ xe trong trường hợp xe phanh gấp khi chuyển động thẳng



Hình 4. Chuyển vị khung vỏ xe trong trường hợp xe phanh gấp khi chuyển động thẳng.

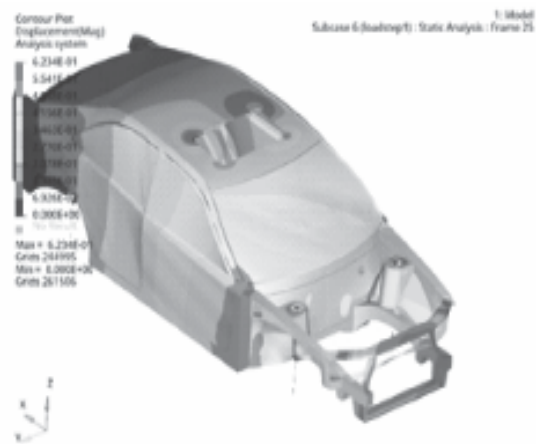


Hình 5. Ứng suất khung vỏ xe trong trường hợp xe phanh gấp khi chuyển động thẳng.

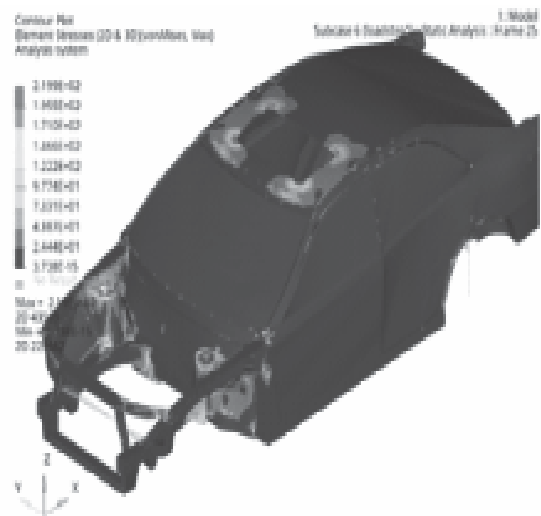
- Chuyển vị: $\delta_{\max} = 0,5945$ [mm]; Ứng suất: $\sigma_{\max} = 230,4$ [MPa].

→ Kết quả tính đạt yêu cầu về độ bền.

b. Kết quả tính bền khung vỏ xe trong trường hợp xe chuyển động quay vòng



Hình 6. Chuyển vị khung vỏ xe trong trường hợp xe chuyển động quay vòng.

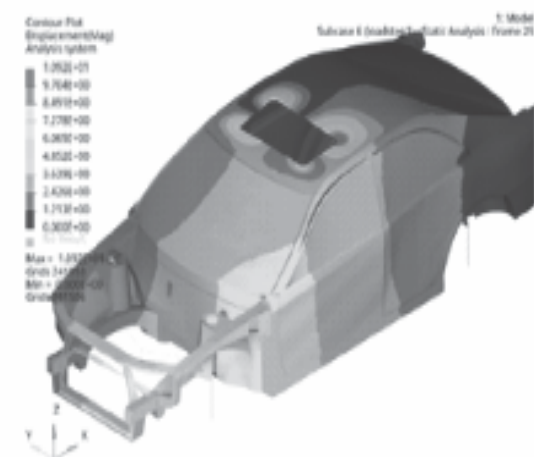


Hình 7. Ứng suất khung vỏ xe trong trường hợp xe chuyển động quay vòng.

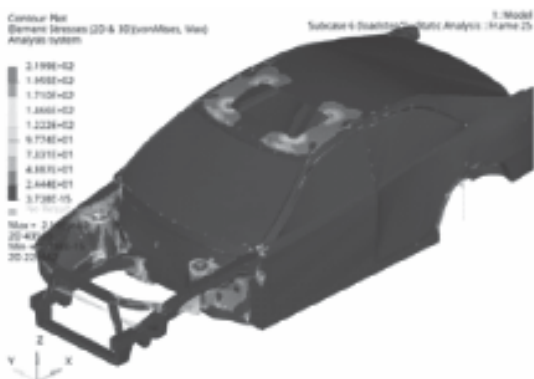
- Chuyển vị: $\delta_{\max} = 0,6234$ [mm]; Ứng suất: $\sigma_{\max} = 162,2$ [MPa].

→ Kết quả tính đạt yêu cầu về độ bền.

c. Kết quả tính bền khung vỏ xe trong trường hợp xe đi qua hố sâu



Hình 8. Chuyển vị khung vỏ xe trong trường hợp xe qua hố sâu.



Hình 9. Ứng suất khung vỏ xe trong trường hợp xe qua hố sâu.

- Chuyển vị: $\delta_{\max} = 10,92$ [mm]; Ứng suất: $\sigma_{\max} = 219,9$ [MPa].

→ Kết quả tính đạt yêu cầu về độ bền.

5. KẾT LUẬN

Trong các trường hợp tính toán: phanh gấp khi đang di chuyển trên đường thẳng, chuyển động quay vòng và một bánh xe đi qua hố sâu, khung vỏ xe vẫn đảm bảo điều kiện bền. Mặc dù đảm bảo điều kiện bền, tuy nhiên không thể xác định được vị trí khung vỏ xe rung nhiều hay ít dẫn đến xác định vị trí ồn nhiều hay ít và

vị trí nào bị cộng hưởng cục bộ. Do đó cần phải tiến hành tính toán rung, ồn cho khung vỏ xe. ❖

Ngày nhận bài: **05/5/2022**

Ngày phản biện: **11/5/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Altair, *OptiStruct for Linear Analysis*, Altair HyperWorks, 2013.
- [2]. Anton Fuchs, Eugenius Nijman & Hans-Herwig Pribsch, *Automotive NVH Technology*, 2016.
- [4]. Frank Fahy and John Walker; *Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration*, 2004.
- [5]. John Wiley & Sons; *Noise and Vibration Control in Automotive Bodies*, 2019.
- [6]. Nguyễn Văn Khang; *Dao động kỹ thuật*, NXB. Khoa Học và Kỹ Thuật, (2004).
- [7]. GS,TSKH. Võ Như Cầu; *Tính kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB. Xây dựng, 2005.
- [8]. ThS. Nguyễn Quang Cường; PSG,TS. Nguyễn Văn Bang, TS. Nguyễn Thiết Lập; *Phân tích rung động riêng kết cấu khung vỏ ô tô con*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số đặc biệt, 10/2018.
- [9]. Vũ Đình Lai; *Sức bền vật liệu*, NXB. Giao thông Vận tải, 2009.