

PHÂN TÍCH LỰA CHỌN VẬT LIỆU TRONG THIẾT KẾ THÂN VỎ XE Ô TÔ

ANALYSIS OF MATERIAL SELECTED FOR AUTOMOBILE BODY DESIGN

NGUYỄN THANH QUANG*, LÊ HỒNG QUÂN, PHẠM VIỆT THÀNH

Khoa Công nghệ ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email liên hệ: nguyenthanhquang@hau.edu.vn

Tóm tắt

Ngành công nghiệp ô tô thế giới thay đổi theo hướng phát triển các vật liệu mới, thiết kế lại vật liệu hiện có và lựa chọn vật liệu hợp lý. Vật liệu chế tạo xe hợp lý làm tiết kiệm nhiên liệu, giảm khối lượng xe trong khi vẫn đảm bảo các tính năng an toàn cần thiết. Bài báo trình bày nội dung phân tích lựa chọn vật liệu thân vỏ trong thiết kế xe ô tô. Trên cơ sở tính toán hiệu quả sử dụng vật liệu, hai chỉ tiêu chính gồm khối lượng và độ bền của tấm được lựa chọn trong thiết kế thân xe để có thể ứng dụng vào thực tiễn.

Từ khóa: Vật liệu tấm vỏ xe ô tô, độ bền, khối lượng.

Abstract

In recent years there has been much focus on the research and development of new materials, re-designing existing materials, and choosing appropriate materials. Advanced materials contribute to the vehicle's fuel economy, reducing vehicle mass while ensuring the necessary safety features. This article presents a method to analyze the selection of thin plate material for automobile body. To calculate the efficiency of the material selection, two main criteria including the mass and the durability of thin plate are chosen in the body design to be applied in practice.

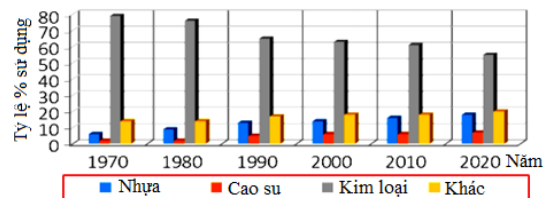
Keywords: Materials of thin plate, durability, mass.

1. Mở đầu

Chiếc xe ô tô đầu tiên trên thế giới có khung bằng gỗ, sau đó được thay thế bằng khung thép có hệ số đàn hồi cao và hợp kim Vanadium. Khung xe ô tô hiện nay kết hợp của các loại vật liệu trong đó có thép siêu bền nhẹ hơn của nhôm và sợi carbon. Việc lựa chọn tỷ lệ vật liệu chế tạo xe ô tô hiện đại cần đáp ứng những đặc điểm phù hợp với công nghệ chế tạo, sự phát triển kinh tế xã hội và yêu cầu của khách hàng, thân thiện với con người, hình dáng ô tô có phong cách đổi mới,

tốc độ chuyển động trung bình tăng, xe thân thiện với môi trường. Có thể nhận thấy rằng, khung vỏ ô tô nói chung được chế tạo từ nhiều vật liệu khác nhau, trong đó những vật liệu chính là thép, nhôm, magiê, đồng, titanium, nhựa và sợi carbon.

Các vật liệu chế tạo xe được lựa chọn cần đảm bảo tính năng phù hợp với yêu cầu cụ thể của chi tiết. Có hai lý do chính khiến việc lựa chọn vật liệu là để thiết kế một loại xe mới là chi phí thấp hơn và giảm trọng lượng so với xe tương đương hiện có [1, 2]. Vật liệu composite, nhựa và polyme là một trong những lựa chọn thay thế được ưa chuộng rộng rãi để giảm trọng lượng của ô tô vì chúng có độ bền và đập cao, khả năng chống mốc dễ dàng, dễ cải thiện tính thẩm mỹ [3, 4, 5, 6]. Tỷ lệ các vật liệu tổng hợp theo khối lượng trên một xe ô tô trung bình đã tăng từ 6% năm 1970 lên 16% năm 2010 và dự kiến sẽ đạt 18% năm 2020, Hình 1 [7, 8].



Hình 1. Sự thay đổi tỷ lệ sử dụng vật liệu trên xe ô tô

Một kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi giảm 10% trọng lượng xe thì lượng tiêu thụ nhiên liệu giảm 5-7% tác động đến phát thải nhà kính GHG (GREENHOUSE GAS) từ vòng đời của xe, Bảng 1 [7, 9].

2. Cơ sở khoa học chọn vật liệu trên vỏ ô tô

2.1. Hiệu quả sử dụng vật liệu

Lựa chọn vật liệu cho xe là yếu tố quan trọng đầu tiên trong thiết kế ô tô. Các vật liệu cần phải đáp ứng một số tiêu chí về môi trường, tính an toàn và yêu cầu của khách hàng gồm:

- Trọng lượng nhẹ nhằm giảm tiêu thụ nhiên liệu tăng tính thân thiện với môi trường;
- Hiệu quả kinh tế nhằm giảm chi phí trong sản xuất và vận hành.

Bảng 1. Tác động của vật liệu nhẹ đối với phát thải GHG từ vòng đời của xe

Hệ thống truyền lực	Động cơ đốt trong				
Kiểu xe	Xe cỡ trung				
Vật liệu	Thép đen chế tạo	Thép hợp kim	Al (nhôm)	Mg (ma-giê)	CFRP (composite)
Mức tiết kiệm khối lượng (%)	0	19%	30%	37%	37%
Ước tính khối lượng động cơ (kg)	1528	1238	1070	1024	1024
Mức tiết kiệm nhiên liệu (MPG)	34,40	39,68	43,54	46,42	46,42
Mức phát thải nhà kính (GHG) (tấn CO ₂)					
Trước khi chế tạo	4,29	4,29	5,51	13,13	13,13
Trong sản xuất	1,74	1,74	1,70	1,81	1,81
Trong sử dụng	69,77	60,49	55,12	51,70	51,70
Chu kỳ vòng đời của động cơ	-1,18	-1,18	-3,33	-10,00	0
Tổng cộng mức phát thải GHG (tấn CO ₂)	74,62	65,34	59	56,64	66,64
Tỷ lệ % giảm phát thải	0	-12%	-21%	-24%	-11%

- An toàn, khả năng hấp thụ năng lượng từ tác động bên ngoài nhằm kiểm soát và tăng không gian sống sót cho hành khách;

- Khả năng sử dụng lại/tái chế và vòng đời của chi tiết.

Những tiêu chí trên được đặc trưng bởi hiệu quả sử dụng vật liệu P trên một chiếc xe ô tô. P là một hàm được xác định bằng phương trình (1) [10]:

$$P = f(F, G, M) \quad (1)$$

Trong đó: F, G, M là những hàm số liên quan đến yêu cầu kết cấu xe trong đó có thông số tải trọng liên quan đến độ bền chi tiết (F: Function carry load), thông số hình học liên quan đến kích thước chi tiết (G: Geometry) và đặc tính vật liệu liên quan đến khối lượng chi tiết (M: Mass).

Do kết cấu xe là sự ghép nối phức tạp từ các chi tiết rời với nhau nên đa số các trường hợp đều có F, G, M độc lập nhau và tách rời, khi đó hiệu quả sử dụng vật liệu được tính theo phương trình (2):

$$P_c = f_1(F) \times f_2(G) \times f_3(M) \quad (2)$$

Việc lựa chọn vật liệu sẽ thống nhất các yêu cầu về tải trọng (F), hình dáng hình học (G) và sẽ được tối ưu hóa theo thông số đặc tính vật liệu $f_3(M)$ được xác định bởi khối lượng chi tiết (M).

2.2. Đặc tính vật liệu chế tạo thân vỏ ô tô

Vật liệu chế tạo thân xe phổ biến là các tấm mỏng kim loại dày 1,0mm. Các vật liệu lựa chọn thay thế là ba loại vật liệu tổng hợp (1) Composite, Epoxy/carbon fiber, resin infused fabric, biaxial (Composite, E/c-f,

nd); (2) Composite, Epoxy/glass fiber, UD prepreg, QI (Composite, E/g-f, QI); (3) Epoxy E-glass UD là vật liệu đa hướng.

Các chỉ số chính về đặc tính vật liệu gồm chỉ tiêu độ bền σ , mô đun đàn hồi E và khối lượng riêng ρ .

2.3. Phân tích thiết kế khung vỏ xe

2.3.1. Thiết kế chi tiết theo tiêu chí nhẹ và độ bền uốn

Thiết kế một tấm vỏ ô tô theo tiêu chí nhẹ và đảm bảo độ bền uốn khi chịu tải F, chiều dài tấm L, chiều rộng b, chiều dày d, khối lượng riêng ρ .

Khối lượng m của tấm phiê bất kỳ được xác định bởi phương trình (3):

$$m = \rho \times b \times d \times L \quad (kg) \quad (3)$$

Độ bền uốn của tấm được xác định bởi phương trình (4):

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (4)$$

Thay d từ (3) vào (4) cho tấm chế tạo chi tiết cụ thể ta có phương trình (5):

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2b(m/\rho bL)^2} = \frac{3FL}{2b} \left(\frac{\rho bL}{m} \right)^2 \quad (5)$$

Và nhận được phương trình (6) tính khối lượng tấm theo độ bền uốn.

$$m = \sqrt{\frac{3FL^3b}{2}} \times \left(\frac{\rho}{\sigma_f^{1/2}} \right) = A_1 \times B_1 \quad (6)$$

A_1 Là hàm kích thước và là hàm điều kiện biên của tấm, B_1 Là hàm đặc tính vật liệu. Khi hiệu quả sử dụng vật liệu lớn nhất thì hàm số khối lượng M_1 là nghịch đảo của B_1 và tính gần đúng bằng phương trình (7):

$$M_1 = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \quad (7)$$

2.3.2. Thiết kế chi tiết theo độ cứng uốn

Độ cứng uốn của tấm được xác định bằng phương trình (8):

$$S = \frac{CEI}{L^3} \quad (8)$$

C là hằng số phụ thuộc vào sự phân bố tải trọng tập trung hay phân bố đều, E là mô đun đàn hồi vật liệu, I là mô men quán tính ($I = b \times d^3/12$).

Tương tự cách phân tích ở trên ta nhận được khối lượng tấm tính theo độ cứng uốn (9):

$$m = \sqrt[3]{\frac{125}{cb}} \times (bL^2) \times \left(\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}} \right) = A_2 \times B_2 \times C_2 \quad (9)$$

A_2 là hàm điều kiện biên, B_2 Là hàm kích thước tấm, C_2 Là hàm đặc tính vật liệu. Khi hiệu quả sử dụng vật liệu lớn nhất thì hàm số M_2 là nghịch đảo của C_2 thể hiện trong phương trình (10):

$$M_2 = \frac{\sqrt[3]{E}}{\rho} \quad (10)$$

2.3.3. Thiết kế chi tiết theo những tiêu chí khác

Tương tự ta xác định theo những tiêu chí khác (M_3). Theo chi phí thiết kế thấp với hệ số C_m giá thành /kg vật liệu (11):

$$M_3 = \frac{\sqrt{\sigma_f}}{\rho C_m} \quad (11)$$

Theo hệ số chi phí năng lượng q và độ bền uốn (12):

$$M_3 = \frac{\sqrt{\sigma_f}}{q\rho} \quad (12)$$

Theo hệ số chi phí thấp năng lượng q và độ cứng uốn (13):

$$M_4 = \frac{\sqrt[3]{E}}{q\rho} \quad (13)$$

Tổng quát, theo hệ số chi phí thiết kế thấp với hệ số C_m giá thành/kg vật liệu (14):

$$M_4 = \frac{\sqrt[3]{E}}{\rho C_m} \quad (14)$$

3. Kết quả, ứng dụng

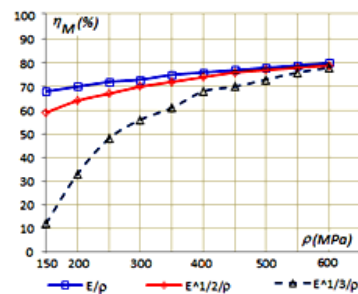
Từ các công thức (7), (10), (14) nhận thấy thông số đặc trưng của tiêu chí thiết kế là tỷ số E/ρ . Đặt (E/ρ) thép là X_1 và (E/ρ) CFRP là X_2 ta nhận được tỷ lệ giảm khối lượng η_M theo các công thức (15), (16):

$$\eta_M = 1 - \frac{X_1}{X_2} \quad (15)$$

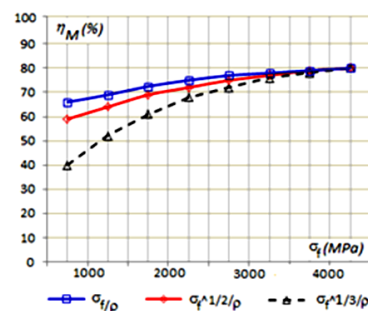
Tính theo %:

$$\% \eta_M = 100 \left(1 - \frac{X_1}{X_2} \right) \quad (16)$$

Đánh giá tỷ lệ giảm khối lượng η_M theo E/ρ nhận được kết quả nêu trên đồ thị Hình 2 để so sánh đối với mỗi loại vật liệu. Mức độ giảm khối lượng đạt được khi thay thế thép ($E=205\text{GPa}$) bằng các tấm composite CFRP có mô đun đàn hồi (Young's modulus) nằm trong khoảng từ 150 đến 600GPa, tiết kiệm khối lượng vật liệu tới 20% và việc sử dụng thành phần CFRP sẽ làm giảm 20% khối lượng. Kết quả này do (E/ρ) của tấm sử dụng vật liệu composite CFRP bằng 5 lần (E/ρ) của thép, nên tỷ lệ khối lượng của hai thành phần theo tỷ lệ 1:5, và thép sẽ nặng hơn composite CFRP năm lần.



Hình 2. Tỷ lệ giảm khối lượng thép tấm và composite tấm



Hình 3. Độ giảm khối lượng theo độ bền

Theo tiêu chí độ bền uốn σ_f của tấm khi việc tiết kiệm khối lượng từ việc thay thế thép bằng các tấm composite CFRP chứa sợi thủy tinh 40% theo thể tích cho thấy giá trị độ bền uốn phụ thuộc nhiều vào tỷ lệ sợi thủy tinh trong vật liệu tổng hợp CFRP nên phụ thuộc vào số lớp hỗn hợp (Hình 3).

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu phân tích lựa chọn vật liệu composite cho kết cấu thân xe có thể giảm được khối lượng thân xe đến 20% (Hình 2). Thân xe tăng độ cứng và có thể tăng độ bền thêm 2% so với vật liệu thép tấm (Hình 3) và đảm bảo không gian an toàn cho hành khách trong trường hợp va chạm.

Về giá thành chế tạo tấm bằng composite dễ dàng hơn nên giảm giá thành chế tạo. Loại vật liệu cốt sợi thủy tinh Epoxy E-Glass được sử dụng khá phổ biến trong thực tế phù hợp với với dạng sản xuất nhỏ hoặc đơn chiếc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thanh Quang và các tác giả, *Sổ tay linh kiện phụ tùng ô tô tải thông dụng*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
- [2] M.A.Macino and at, *Abtomobile materials*, Transport Mockva, 1971.
- [3] Rafael Nunes and at, *ASM Handbook, Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special - Purpose Materials*, ASM International, Handbook Committee, 1990.
- [4] J.Njuguna, *Lightweight Composite Structures in Transport: Design, Manufacturing, Analysis and Performance*, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering: Number 67, Elsevier, 2016.
- [5] Robert M. Jones, *Mechanics of composite materials*, Second edition, Taylor & Francis, Inc, 1999.
- [6] Autar K. Kaw, *Mechanical of Composite Materials*, Second Edition, Taylor & francis, inc, 2006.
- [7] <https://www.intechopen.com/books/energy-efficiency-and-sustainable-lighting-a-bet-for-the-future/eco-material-selection-for-lightweight-vehicle-design>.
- [8] Mihai-Paul Todor, Imre Kiss, *Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient*. Applied Engineering Letters, Vol. 1, No 4, pp.91-97, 2016.
- [9] Ahmad T. Mayyas and Mohammed Omar, *Eco-Material Selection for Lightweight Vehicle Design*, 2019, DOI: 10.5772/intechopen.88372.
- [10] Miller, K. Soulliere, S. Sawyer-Beaulieu, S. Tseng, E. Tam, *Challenges and alternatives to plastics recycling in the automotive sector*, Materials, Vol.7(8), pp.5883-5902, 2014. DOI: 10.3390/ma7085883.
- [11] Michael F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, Fourth edition, Butterworth-Heinemann Publication, 2010.

Ngày nhận bài:	28/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	02/8/2021
Ngày duyệt đăng:	23/8/2021