

ĐÁNH GIÁ MỨC SUY GIẢM HIỆU QUẢ PHANH KHI PHANH LIÊN TỤC TRÊN ĐƯỜNG ĐỐC

ASSESSMENT OF REDUCTIONS IN BRAKE EFFICIENCY WHEN BRAKE BEING APPLIED CONTINUOUSLY ON SLOPES

Lê Quốc Hưng, Nguyễn Trọng Hoan
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Khi phanh, động năng của ô tô được chuyển hoá thành nhiệt làm các cơ cấu phanh nóng lên dẫn đến hiện tượng giảm hiệu quả phanh do hệ số ma sát giảm. Hiện tượng này trở nên đặc biệt nghiêm trọng khi lái xe lạm dụng hệ thống phanh để duy trì vận tốc chuyển động trên những dốc dài. Bài báo trình bày phương pháp và một số kết quả tính toán, đánh giá sự suy giảm hiệu quả phanh do hiện tượng quá nhiệt ở cơ cấu phanh khi phanh liên tục trên dốc dài.

Từ khóa: *Hiệu quả phanh, lực phanh, hệ số ma sát.*

ABSTRACT

The kinetic energy of the automobile is converted into thermal energy which heats up the brake structures during braking period. Therefore, when the brake is applied continuously for long time, overheating occurs and brake efficiency decreases due to the reduced friction coefficient. This can become especially serious when the driver abuses the brake system to maintain the velocity on long slopes. This paper presents the methodology and calculation results, assessing reductions in brake efficiency caused by overheating in the brake structure when the brake is applied continuously on long slopes.

Keywords: *Brake efficiency, braking force, coefficient of friction.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên các ô tô hiện đại, hệ thống phanh được thiết kế với độ an toàn cao nên khả năng “mất phanh” là rất thấp. Mặc dù vậy, trong những năm gần đây ở nước ta, không ít các trường hợp ô tô mất phanh trên dốc đã gây nên những hậu quả nghiêm trọng. Hiện tượng này thường xảy ra ở các ô tô khách cỡ lớn và ô tô tải. Nguyên nhân của những tai nạn thảm khốc

này thường không phải do lỗi kỹ thuật mà là lỗi của người điều khiển phương tiện đã quá lạm dụng hệ thống phanh dẫn đến hiện tượng cơ cấu phanh quá nóng. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, nếu người lái liên tục dùng phanh để duy trì vận tốc của ô tô trên đường dốc trong thời gian dài thì nhiệt độ của cơ cấu phanh có thể đạt tới hàng trăm độ (trong một số trường hợp có thể tới 800 – 900°C) và khi đó hệ số ma sát có thể giảm đi hơn 70%

so với ban đầu [2]. Hệ quả là hiệu quả phanh cũng giảm đi tương ứng dẫn đến hiện tượng mất phanh.

Ngoài ra, một số bộ phận của hệ thống phanh cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Đặc biệt, đối với dẫn động thủy lực, nhiệt độ cao có thể sinh ra hiện tượng hóa hơi bên trong đường ống tạo nên các bọt khí làm giảm áp suất phanh trong các xi lanh chấp hành tại các cơ cấu phanh. Nhiệt độ cao cũng có thể gây hỏng gioăng làm dầu phanh thoát ra ngoài gây nên hiện tượng mất phanh.

2. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ TỚI HỆ SỐ MA SÁT VÀ HIỆU QUẢ PHANH

a) Mối quan hệ giữa lực phanh tại bánh xe và hệ số ma sát

Các loại cơ cấu phanh của ô tô hiện nay đều hoạt động dựa trên nguyên lý tiêu tán năng lượng chuyển động nhờ ma sát. Ma sát biến động năng chuyển động của ô tô thành nhiệt năng và thải nó ra ngoài không khí qua các chi tiết của cơ cấu phanh (chủ yếu là qua trống hoặc đĩa phanh). Như vậy, lực phanh tại các bánh xe được hình thành nhờ ma sát sinh ra trong cơ cấu phanh. Mối quan hệ giữa lực phanh và hệ số ma sát có thể được viết dưới dạng tổng quát như sau:

$$P_p = \mu \cdot K_{cp} \quad (1)$$

Trong đó: μ là hệ số ma sát; K_{cp} là hệ số phụ thuộc vào kết cấu của cơ cấu phanh.

Biểu thức trên cho thấy, nếu trong quá trình phanh mà hệ số ma sát thay đổi thì lực phanh cũng thay đổi theo. Nghĩa là hiệu quả phanh phụ thuộc vào giá trị của hệ số ma sát trong quá trình phanh.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, đối với một loại vật liệu, hệ số ma sát phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc trượt,... Trong đó, yếu tố ảnh hưởng lớn nhất

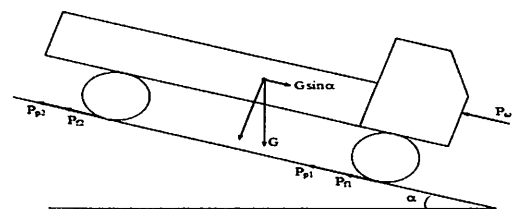
đến hệ số ma sát chính là nhiệt độ. Trong bài báo này chỉ trình bày các kết quả đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ tới hệ số ma sát.

b) Ảnh hưởng của nhiệt độ tới hệ số ma sát

Các loại vật liệu ma sát sử dụng trong các cơ cấu phanh ô tô hiện nay đều có hệ số ma sát phụ thuộc vào nhiệt độ. Tuy nhiên, mức độ cũng như quy luật của sự phụ thuộc này thay đổi theo loại vật liệu [1,2]. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với má phanh thông dụng, ở nhiệt độ nhỏ hơn 200 – 250°C hệ số ma sát không thay đổi nhiều theo nhiệt độ, nhưng sẽ giảm mạnh sau khi vượt qua 300°C. Nhưng đối với các loại má phanh dành cho xe đua, hệ số ma sát có thể giữ được giá trị cao và ổn định ngay cả khi nhiệt độ đạt tới 800 – 900°C. Trong một số nghiên cứu, người ta chấp nhận giả thiết hệ số ma sát giảm tuyến tính theo nhiệt độ nhằm đơn giản hoá bài toán mà không gây sai số lớn [2].

3. NHIỆT SINH RA TRONG QUÁ TRÌNH PHANH

Để khảo sát ảnh hưởng của hiện tượng chờ quá tải tới hiệu quả phanh trong quá trình phanh liên tục trên dốc dài, ta xét sơ đồ như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ các lực tác dụng theo phương dọc xe khi phanh trên đường dốc

Độ dốc của đường được xác định qua góc α , như vậy, lực chủ động đẩy xe chạy xuống dốc là $G \sin \alpha$.

Giả sử người lái dùng phanh để giữ vận tốc chuyển động ổn định: $V_a = \text{const}$, khi đó ta có phương trình cân bằng lực như sau:

$$G \sin \alpha = P_p + P_f + P_\omega + P_{ep} \quad (2)$$

Trong công thức trên:

P_p là tổng lực phanh do hệ thống phanh sinh ra tại các bánh xe:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2}$$

P_f là tổng lực cản lăn tại các bánh xe:

$$P_f = P_{f1} + P_{f2} = f \cdot G$$

Với f là hệ số cản lăn.

P_ω là lực cản không khí:

$$P_\omega = 0,5 C_D \rho F V_a^2$$

Với C_D là hệ số cản không khí; ρ là mật độ không khí (kg/m^3); F là diện tích cản chính diện (m^2); V_a là vận tốc chuyển động của ô tô (m/s).

P_{ep} là lực phanh do động cơ sinh ra tại bánh xe:

$$P_{ep} = \frac{M_{ep} \cdot i_H}{r_d}$$

Trong đó: i_H là tỷ số truyền của hệ thống truyền lực; M_{ep} là mô men phanh của động cơ.

Như vậy, để duy trì vận tốc V_a không đổi, lực phanh cần thiết là:

$$P_p = G \cdot \sin \alpha - P_f - P_\omega - P_{ep} \quad (3)$$

Để tính mức gia tăng nhiệt độ khi phanh, ta sử dụng phương trình cân bằng nhiệt:

$$P_p \cdot \frac{dS_p}{dt} = m_t \cdot c \frac{dT}{dt} + A_t k_t V_t T \quad (4)$$

Trong đó: S_p – Quãng đường phanh (m); m_t – Khối lượng tang trống và các chi tiết bị nung nóng (KG); c – Nhiệt dung riêng của vật liệu tang trống (đối với thép và gang: $c = 500 \text{J/kg} \cdot \text{độ}$); d_t – Mức gia tăng nhiệt độ sau

thời gian dt ; A_t – Diện tích truyền nhiệt của tang trống (diện tích xung quanh); k_t – Hệ số truyền nhiệt giữa tang trống và không khí; V_t – Vận tốc tiếp tuyến của tang trống (m/s); T – Mức chênh nhiệt độ giữa tang trống T_t và không khí T_k : $T = T_t - T_k$.

Nếu coi người lái dùng phanh để giữ vận tốc không đổi $V_a = \text{const}$ trên dốc thì biểu thức (4) có thể được viết dưới dạng:

$$P_p V_a = m_t c \frac{dT}{dt} + A_t k_t V_t T \quad (5)$$

Từ đó, biểu thức tính mức gia tăng nhiệt độ như sau:

$$T = \int_0^{t_p} \frac{P_p V_a - A_t k_t V_t T}{m_t c} dt \quad (6)$$

Trong đó, t_p là thời gian phanh.

Giải kết hợp các phương trình (3) và (6) ta thu được kết quả là mức gia tăng nhiệt độ T khi phanh ô tô trên dốc với vận tốc V_a không đổi trên quãng đường $S_p = V_a \cdot t_p$.

Các số liệu tính toán được tham khảo từ tài liệu [3] với đối tượng là ô tô tải loại 2 cầu có trọng lượng toàn bộ 16 tấn và các thông số cơ bản sau: Mô men cực đại của động cơ $M_{emax} = 883 \text{ Nm}$; mô men phanh của động cơ M_{ep} được coi là tăng tuyến tính theo vận tốc của trục khuỷu với giá trị nhỏ nhất là 0,15. M_{emax} và lớn nhất là 0,35. M_{emax} ; Vận tốc cực đại của động cơ ở đặc tính ngoài là 2100 v/ph; Vận tốc nhỏ nhất là 600 v/ph; tỷ số truyền của hệ thống truyền lực i_H ở các tay số từ 1 đến 6 lần lượt là: 38,96; 22,58; 13,56; 9,12; 6,15; 4,3; bán kính động lực bánh xe $r_d = 0,526 \text{ m}$.

Hệ số truyền nhiệt kt thay đổi theo nhiệt độ với quy luật phụ thuộc vào loại vật

liệu. Đối với các loại gang k_{τ} giảm dần theo nhiệt độ. Để đơn giản hoá quá trình tính toán, trong nghiên cứu này đã chấp nhận giả thiết quy luật biến thiên của k_{τ} như sau:

$$k_{\tau} = k_{\tau_0} - \lambda.T_{\tau} \quad (7)$$

Trong đó: k_{τ_0} là giá trị của k_{τ} ở nhiệt độ chuẩn và λ là hệ số thực nghiệm. Giá trị cụ thể của các thông số trên phụ thuộc vào thành phần hoá học của từng loại gang. Khi tính toán, k_{τ} và λ được xác định từ các số liệu trong Handbook of Heat Transfer [4] với các giá trị sau: $k_{\tau_0} = 50$ và $\lambda = 0,028$.

4. ĐÁNH GIÁ MỨC SUY GIẢM HIỆU QUẢ PHANH

Hiện nay, các kết quả nghiên cứu không đưa ra được công thức mô tả chính xác mối quan hệ giữa hệ số ma sát với nhiệt độ, do nó không chỉ phụ thuộc loại vật liệu mà còn nhiều yếu tố khác. Vì vậy, theo tài liệu [2], để đơn giản hoá quá trình tính toán có thể giả thiết rằng hệ số ma sát giảm tuyến tính theo nhiệt độ. Khi đó, ta có thể mô tả quy luật này như sau:

$$\mu = \mu_0 - \delta.T_{\tau}$$

Trong đó: μ_0 là hệ số ma sát ở cơ cấu phanh nguội, μ là hệ số ma sát ở cuối quá trình phanh và δ là hệ số thực nghiệm.

Với các số liệu tham khảo từ các tài liệu [1,2] và một số tài liệu khác, giá trị của các thông số trên được lấy như sau: $\mu_0 = 0,4$ và $\delta = 0,00035$.

Do lực phanh tỷ lệ thuận với hệ số ma sát, nên hiệu quả phanh còn lại sau khi phanh liên tục trên dốc h_q được đánh giá như sau:

$$h_q = \frac{\mu}{\mu_0} . 100\%$$

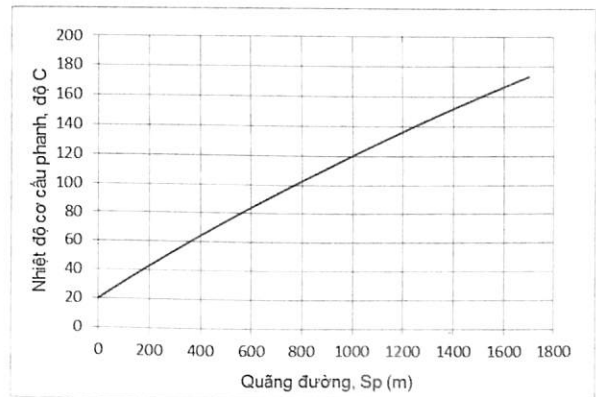
Hệ số h_q cho biết hiệu quả phanh của cơ cấu phanh “nóng” (sau quá trình phanh liên tục) so với cơ cấu phanh “nguội”.

5. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

5.1. Tính toán theo chế độ thử “I”

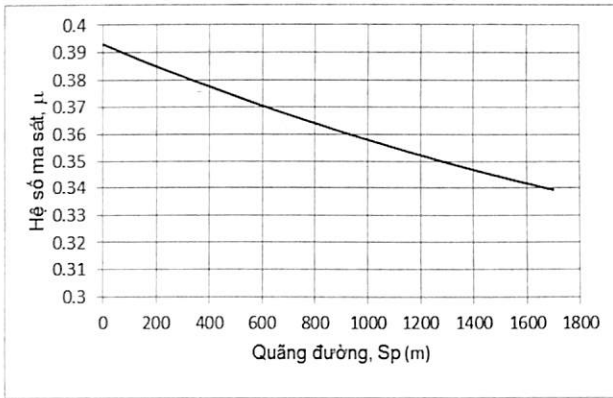
Theo quy định về thử phanh ô tô trên đường, chế độ thử “I” được thực hiện sau khi làm nóng cơ cấu phanh bằng cách cho xe xuống dốc có độ dốc 7% và dùng phanh để giữ vận tốc ổn định là 40km/h trên quãng đường 1,7km. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, trong điều kiện như vậy nhiệt độ ở cơ cấu phanh ô tô tải có thể đạt tới 170 - 200°C. Trong điều kiện như vậy, hiệu quả phanh còn lại phải không nhỏ hơn 80% so với hiệu quả phanh được xác định khi các cơ cấu phanh nguội. Kết quả tính toán theo các điều kiện như trên được thể hiện trên các hình 2 và 3.

Có thể thấy rằng, ở cuối quá trình phanh, nhiệt độ tăng trởng lên tới gần 174°C, hệ số ma sát giảm xuống đến 0,34 và hiệu quả phanh còn lại là khoảng 85%. Như vậy, đối chiếu theo các quy định về thử phanh ở chế độ “I” thì hệ thống phanh của ô tô này đạt yêu cầu.

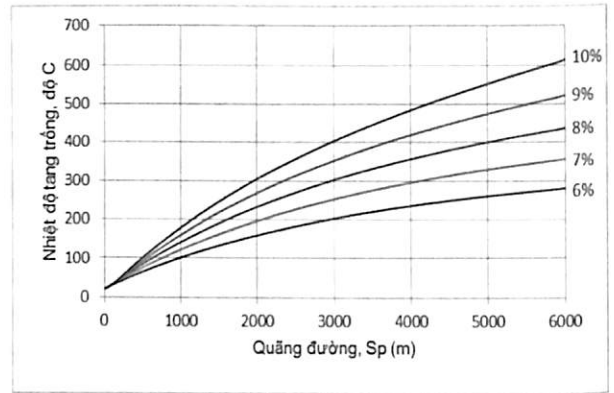


Hình 2. Biến thiên nhiệt độ cơ cấu phanh theo quãng đường





Hình 3. Biến thiên hệ số ma sát trong cơ cấu phanh theo quãng đường



Hình 4. Biến thiên nhiệt độ tang trống khi phanh trên các độ dốc từ 6 – 10%

Cần lưu ý rằng, các tính toán trên đây được thực hiện với giả thiết động cơ bị ngắt ra khỏi hệ thống truyền lực (cần số được đặt ở vị trí số 0).

5.2. Đánh giá hiệu quả phanh trong các điều kiện vận hành khắc nghiệt

Để đánh giá hiệu quả phanh trong điều kiện vận hành khắc nghiệt, các tính toán được thực hiện với các điều kiện sau: Người lái dùng phanh để giữ vận tốc chuyển động là 30km/h, trên quãng đường dài 6km với độ dốc thay đổi từ 6% đến 10% và động cơ bị ngắt ra khỏi hệ thống truyền lực.

Với độ dốc 6%, điều kiện tính toán trên tương ứng với quy định thử phanh ở chế độ “II”. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, trong những điều kiện trên, nhiệt độ ở cơ cấu phanh ô tô loại N3 có thể lên tới 280°C. Theo tiêu chuẩn, hiệu quả phanh ở chế độ thử “II” không được nhỏ hơn 75% so với hiệu quả thu được khi các cơ cấu phanh nguội.

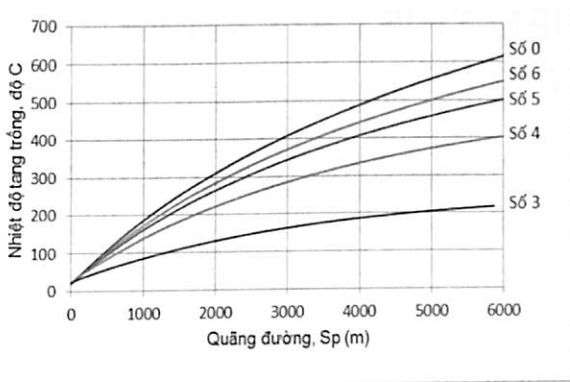
Các kết quả tính toán thể hiện trên hình 4 và bảng 1 cho thấy, ở độ dốc 6% hiệu quả phanh còn lại là 75,5%, đáp ứng các yêu cầu về hiệu quả phanh ở chế độ “II”.

Các số liệu trong bảng 1 cho thấy mức gia tăng nhiệt độ và suy giảm hiệu quả phanh giảm theo độ dốc của đường. Với độ dốc là 10%, hiệu quả phanh chỉ còn lại khoảng 46%.

Bảng 1. Kết quả tính toán với các độ dốc từ 6, 7, 8, 9 và 10%

Độ dốc	6%	7%	8%	9%	10%
Nhiệt độ, °C	280.05	356.50	437.47	523.28	614.24
Hiệu quả phanh còn lại	75.50	68.81	61.72	54.21	46.25

Các tính toán trên đây được thực hiện với giả thiết là động cơ bị ngắt ra khỏi hệ thống truyền lực. Để đánh giá hiệu quả phanh sát với điều kiện thực tế hơn, trên hình 5 và bảng 2 thể hiện các kết quả tính toán theo các điều kiện sau: Người lái dùng phanh để duy trì vận tốc chuyển động 30km/h trên dốc có độ dốc 10%, dài 6km, nhưng có kết nối động cơ với hệ thống truyền lực ở các tay số 6, 5, 4 và 3.



Hình 5. Biến thiên nhiệt độ tang trống khi phanh mà không ngắt động cơ

Các kết quả tính toán trong bảng 2 cho thấy, việc lựa chọn tay số hợp lý sẽ phát huy tốt hiệu quả phanh bằng động cơ. Nếu người lái sử dụng số 3 thì ở cuối quá trình phanh nhiệt độ cơ cấu phanh tăng lên đến 216°C và hiệu quả phanh đạt khoảng 81%. Nhưng nếu dùng tay số cao nhất của hộp số (số 6 là số truyền thẳng) thì cơ cấu phanh có thể nóng lên tới gần 550°C với hiệu quả phanh chỉ còn lại xấp xỉ 52%.

Mặc dù vậy, số 3 là số thấp nhất có thể sử dụng, vì ở số này vận tốc quay của trục khuỷu đạt tới 2049v/ph, gần với vận tốc cực đại của động cơ (2100v/ph). Nếu cài số thấp hơn sẽ gây hại cho động cơ do vận tốc quá lớn làm tăng tốc độ mài mòn các chi tiết.

Bảng 2. Kết quả tính toán khi phanh có động cơ ở các tay số 6, 5, 4, 3

Tay số	0	6	5	4	3
Nhiệt độ tang trống, °C	615.36	549.79	501.34	402.21	216.27
Hiệu quả phanh còn lại, %	46.16	51.89	56.13	64.81	81.08

6. KẾT LUẬN

Phương pháp tính toán và các kết quả trên đây cho thấy mức độ ảnh hưởng của điều kiện sử dụng tới hiệu quả phanh ô tô và có thể được sử dụng như tài liệu tham khảo, bổ ích cho các nhà thiết kế và người sử dụng ô tô hoạt động trong điều kiện đồi núi.

Các kết quả tính toán theo các điều kiện thử phanh ở các chế độ “I” và “II” hoàn toàn tương thích với các số liệu thực nghiệm đã biết. Đây có thể coi là một minh chứng cho độ tin cậy của phương pháp tính toán đã thiết lập trên đây.

Mặc dù vậy, đây mới chỉ là các kết quả tính toán tính lý thuyết với các số liệu gần đúng do các thông số kết cấu của cơ cấu phanh (kích thước và khối lượng) không được xác định chính xác tuyệt đối, một số thông số tính toán (hệ số ma sát, hệ số truyền nhiệt) được lấy gần đúng từ các tài liệu tham khảo. Nếu đo được thực tế các số liệu trên thì kết quả tính toán sẽ chính xác và có độ tin cậy cao hơn. ❖

Ngày nhận bài: 05/3/2017

Ngày phản biện: 17/4/2017

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Henz Heisler: “Advanced Vehicle Technology”. Butterworth-Heinemann, second edition 2002.
- [2]. Giancarlo Genta, Lorenzo Morello: “The Automotive Chassis. Vol. 1: Components Design, Vol. 2: System Design”. Springer, 2009.
- [3]. Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz, Wolfgang Novak: “Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.
- [4]. HANDBOOK OF HEAT TRANSFER. McGraw-Hill, Third Edition, 1998.Hi
- [5]. ECE - R13 - Braking Regulations _ Revision 5 - 8 Oct 2004.