

NGHIÊN CỨU QUAN HỆ GIỮA LỰC HÃM VÀ LỰC BÁM TRONG QUÁ TRÌNH HÃM TOA XE KHÁCH VẬN HÀNH ĐẾN TỐC ĐỘ 120 KM/H SỬ DỤNG MÁ HÃM VẬT LIỆU COMPOSITE

RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN BRAKING FORCE AND TRACTION FORCE DURING BRAKING OF PASSENGER CARS OPERATING UP TO 120 KM/H USING COMPOSITE BRAKE PADS

TS. Vũ Thị Hoài Thu
Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Hiện nay, trên thế giới, vấn đề nghiên cứu về lực hãm và lực bám đã được thực hiện và nghiên cứu liên tục để phù hợp với tình hình thực tế về thiết kế, chế tạo đoàn tàu. Việc tính lực hãm và lực bám được đề cập trong các bài báo, đề tài và tài liệu có liên quan đến hãm đoàn tàu mà chưa được nghiên cứu độc lập.

Bài báo này chủ yếu nghiên cứu đánh giá các yếu tố chính ảnh hưởng đến lực hãm và lực bám trong quá trình hãm để từ đó lựa chọn hệ số ma sát, hệ số bám và ứng dụng tính toán xác định mối quan hệ giữa lực hãm và lực bám cho toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h sử dụng má hãm vật liệu composite.

Từ khóa: Lực hãm; Lực bám.

ABSTRACT

Currently in the world, research on braking force and traction force has been carried out and studied continuously to match the actual shape of train design and manufacture. The calculation of braking force and traction force is mentioned in articles, topics and documents related to train braking that have not been independently studied.

This paper mainly researches and evaluates the main factors affecting the braking force and the traction force during the braking process in order to choose the coefficient of friction, the coefficient of traction and the calculation application to determine the relationship between the braking force and the traction force during braking of passenger cars operating up to 120 km/h using composite brake pads.

Keywords: The braking force; The traction force.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, trên thế giới, vấn đề nghiên cứu về lực hãm và lực bám đã được thực hiện và nghiên cứu liên tục để phù hợp với tính hình thực tế về thiết kế, chế tạo đoàn tàu. Trong các tài liệu đã được xuất bản, lực hãm và lực bám chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố và các yếu tố này được xác định theo từng điều kiện thí nghiệm và thực tế vận dụng của các nước.

Việc tính lực hãm và lực bám được đề cập trong các bài báo, đề tài và tài liệu có liên quan đến hãm đoàn tàu. Tính toán lực hãm và lực bám đoàn tàu từ trước đến nay ở trong nước chưa có những nghiên cứu cụ thể và độc lập. Bài báo này chủ yếu nghiên cứu, đánh giá các yếu tố chính ảnh hưởng đến lực hãm và lực bám trong quá trình hãm để từ đó lựa chọn hệ số ma sát, hệ số bám và ứng dụng tính toán xác định mối quan hệ giữa lực hãm và lực bám cho toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h sử dụng má hãm vật liệu composite.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến lực hãm, lực bám

Nghiên cứu đặc điểm quá trình hãm, phương thức hãm bám dính giữa mặt lăn bánh xe và đường ray. Guốc hãm tiếp xúc với mặt lăn bánh xe, má hãm tiếp xúc với đĩa hãm được ép chặt trên trục hoặc mâm bánh xe, ta thấy bản chất của lực hãm, lực bám.

Từ bản chất của lực hãm và lực bám chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng chính đến lực hãm, lực bám trong quá trình hãm như:

- Vật liệu chế tạo guốc hãm ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số ma sát giữa má hãm và đĩa

hãm, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến lực hãm. Xu hướng phát triển ngành đường sắt là từng bước nâng cao tốc độ và tải trọng đoàn tàu, vật liệu chế tạo guốc hãm đòi hỏi phải có tính năng cao hơn.

- Lượng giảm áp ống hãm chính (Δr): Lực hãm, lực bám phụ thuộc trực tiếp hệ số ma sát má hãm vào đĩa hãm, hệ số bám bánh xe và ray. Lượng giảm áp ống hãm chính (OHC) ảnh hưởng đến áp suất gió ép nạp vào xilanh hãm (XLH) là P_{XLH} .

Áp suất XLH thay đổi dẫn đến lực nén má hãm vào đĩa hãm, lực hãm thay đổi làm cho tốc độ chuyển động đoàn tàu thay đổi giảm dần, ảnh hưởng đến chế độ ma sát, hệ số bám, lực hãm, lực bám trong quá trình hãm.

- Tốc độ: Trong quá trình hãm, tốc độ chuyển động đoàn tàu càng lớn hệ số ma sát giảm nhỏ và ngược lại. Guốc hãm composite có hệ số ma sát thay đổi ít theo tốc độ và có khả năng phát huy hệ số ma sát tốt.

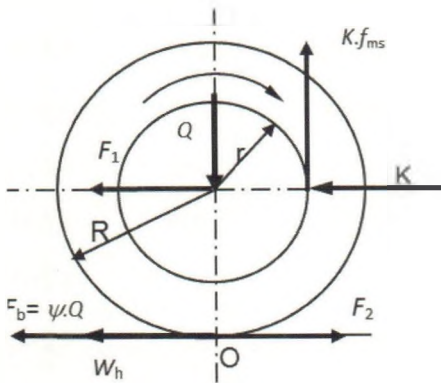
- Bề mặt ma sát (hay bề mặt bám): Mặt ma sát/ bám sạch, không bám nước, dầu, thời tiết mưa, nắng... đều ảnh hưởng đến trạng thái mặt tiếp xúc ma sát/bám làm cho hệ số ma sát/ hệ số bám thay đổi.

2.2. Quan hệ giữa lực hãm và lực bám

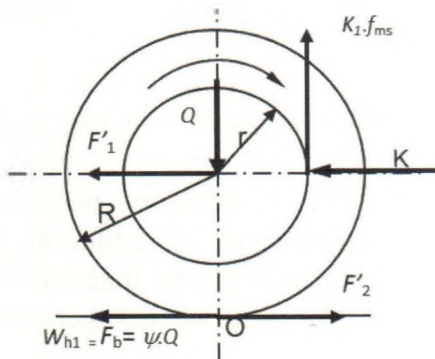
Quan sát bộ trục bánh xe được hãm:

- Trường hợp lực tác dụng lên bánh xe khi lực hãm nhỏ hơn lực bám (xem hình 1), mô men hãm $M = 2K.f_{ms}.r/R$ sẽ tương ứng với ngẫu lực (F_1, F_2). Nhờ có F_2 nên phản lực của đường ray sẽ tác dụng lên bánh xe một lực hãm W_h , lực $W_h < F_b \rightarrow$ bánh xe được hãm bình thường, không có trượt.

- Trường hợp lực tác dụng lên bánh xe khi lực hãm bằng lực bám (xem hình 2), lực ép má hãm tăng dần đến trị số K_1 , mô men hãm $M = 2K_1 \cdot f_{ms} \cdot r/R$ sẽ tương ứng với ngẫu lực (F'_1, F'_2). Trị số F'_2 gây nên lực hãm W_{h1} , lực $W_{h1} = F_b$. Quan hệ W_{h1} và F'_2 không ổn định. Nếu F'_2 được giảm nhỏ thì bánh xe còn bám trên ray, ngược lại khi F'_2 tăng lên (dù rất ít) thì $F'_2 > F_b$ sẽ làm phá vỡ sự bám giữa bánh xe và ray. Lúc này, bánh xe có thể trượt theo ray. Ngoài ra, hệ số bám cũng thay đổi phụ thuộc tốc độ nên sự bám giữa bánh xe và ray là không ổn định.



Hình 1. Sơ đồ lực tác dụng lên bánh xe khi lực hãm nhỏ hơn lực bám



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên bánh xe khi lực hãm bằng lực bám

- Trường hợp tăng lực ép má hãm đến trị số lớn nhất làm cho bánh xe ngừng quay. Toàn bộ trục bánh bị lết theo ray, khi bánh xe trượt, tại vị trí tiếp xúc giữa bánh xe và ray xuất

hiện lực ma sát ngược chiều với chiều chuyển động đoàn tàu. Lực ma sát giữa bánh xe và ray nhỏ hơn lực ma sát giữa má hãm và đĩa hãm 2-3 lần, hiệu quả giảm đi rất nhiều và gây nên trượt. Từ kết quả phân tích ba trường hợp trên cho thấy: để đoàn tàu chuyển động an toàn vận hành hãm ở bất kỳ tốc độ nào, các bộ trục bánh không lết trên đường ray. Yêu cầu: lực hãm phải nhỏ hơn hoặc bằng lực bám, tức là:

$$F_h \leq F_b \quad (1)$$

2.3. Tính toán, phân tích quan hệ giữa lực hãm và lực bám trong quá trình hãm của toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h sử dụng guốc hãm (má hãm) vật liệu composite

2.3.1. Xác định lực hãm cho toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h

Toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h, sử dụng hãm đĩa giá chuyển gồm 08 XLH truyền lực ép đến 02 má hãm. Một toa xe có 16 má hãm ép vào đĩa hãm. Có các thông số tính toán như sau: $d = 203 \text{ mm}$; $m = 2$; $\eta_1 = 0,95$; $n = 3,05$.

Toa xe khách sử dụng hãm đĩa, lực hãm F_h xác định theo công thức:

$$F_h = \sum K_i \cdot f_{ms(i)} \cdot \frac{r}{R} \quad (2)$$

Trong đó: K_i – Tổng lực ép má hãm vào đĩa hãm (Tân) tương ứng với lượng giảm áp OHC Δr_i (kG/cm²);

$f_{ms}(i)$ – Hệ số ma sát tính toán tương ứng với áp lực guốc hãm K_i ;

r – Bán kính đĩa hãm (mm). Toa xe khách tính toán có $r = 218 \text{ mm}$.

R – Bán kính bánh xe tính trung bình sau khi đã mài mòn một lượng cho phép. Toa xe thiết kế có $2R = 838 \text{ mm}$.

Bảng 1. Kết quả xác định lực hãm cho toa xe khách khách vận hành đến tốc độ 120 km/h với các mức độ giảm áp OHC Δr_i

Tốc độ	$\Delta r_1 = 1,0 \text{ (kG/cm}^2\text{)}$		$\Delta r_2 = 1,2 \text{ (kG/cm}^2\text{)}$		$\Delta r_3 = 1,4 \text{ (kG/cm}^2\text{)}$	
	$K_1 = 1,068 \text{ Tấn}$		$K_2 = 1,31 \text{ Tấn}$		$K_3 = 1,593 \text{ Tấn}$	
	$f_{ms} \text{ (1)}$	$F_{h1} \text{ (Tấn)}$	$f_{ms} \text{ (2)}$	$F_{h2} \text{ (Tấn)}$	$f_{ms} \text{ (3)}$	$F_{h3} \text{ (Tấn)}$
120	0,292	2,59442	0,285	3,106215	0,277	3,671081
115	0,297	2,638845	0,288	3,138912	0,280	3,71084
105	0,301	2,674385	0,292	3,182508	0,284	3,763852
95	0,304	2,70104	0,297	3,237003	0,288	3,816864
85	0,309	2,745465	0,301	3,280599	0,293	3,883129
75	0,314	2,78989	0,307	3,345993	0,298	3,949394
65	0,320	2,8432	0,313	3,411387	0,303	4,015659
55	0,327	2,905395	0,319	3,476781	0,309	4,095177
45	0,334	2,96759	0,327	3,563973	0,317	4,201201
35	0,342	3,03867	0,334	3,640266	0,324	4,293972
25	0,351	3,118635	0,343	3,738357	0,333	4,413249
15	0,360	3,1986	0,353	3,847347	0,342	4,532526
5	0,373	3,314105	0,363	3,956337	0,353	4,678309

2.3.2. Xác định lực bám F_b cho toa xe khách vận hành đến tốc độ 120 km/h

Muốn cho đoàn tàu hãm bình thường, bánh xe giảm tốc từ từ thì khả năng bám giữa bánh xe và ray phải đủ lớn để phát huy phản lực giữa đường ray và bánh xe cân bằng với lực ma sát giữa má hãm và đĩa hãm.

Lựa chọn hệ số bám ψ trong tính toán hãm phù hợp với điều kiện Việt Nam là cần thiết. Việt Nam không có điều kiện và thiết bị thí nghiệm hệ số bám cũng như thử nghiệm trong thực tế nên có thể dựa vào kết quả phân

tích hệ số bám của các nước thường dùng, kết hợp với thực tế ngành đường sắt Việt Nam sử dụng bộ trục bánh xe, đường ray nhập từ Trung Quốc để chọn nên chọn công thức tính hệ số bám của Trung Quốc (công thức trình bày ở bảng 2) để tính hãm cho toa xe khách tính toán.

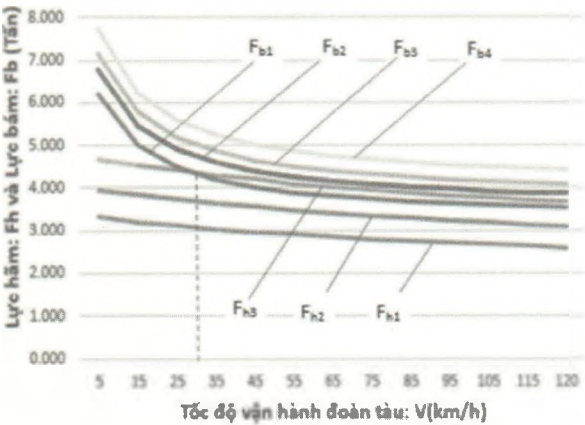
Nhờ có tải trọng Q , lực ma sát $F = 2K \cdot f_{ms} \cdot r/R$ tại chỗ tiếp xúc bánh xe và ray phát sinh phản lực W_h . Lực W_h là lực hãm so với đoàn tàu, song nó có thể coi là lực bám vì nó phụ thuộc độ bám chắc của điểm tiếp xúc bánh xe và ray.

Bảng 2. Lực bám toa xe F_b (Tấn) theo sự thay đổi của hệ số bám, tải trọng và tốc độ

Tốc độ v (km/h)	Hệ số bám $\psi = 0,1 + \frac{1,4}{v + 10}$	Lực bám toa xe F_b (Tấn)			
		F_{b1}	F_{b2}	F_{b3}	F_{b4}
		$Q_1 = 32$ (Tấn)	$Q_2 = 35$ (Tấn)	$Q_3 = 37$ (Tấn)	$Q_4 = 40$ (Tấn)
120	0,11	3,53	3,85	4,07	4,4
110	0,111	3,552	3,885	4,107	4,44
100	0,112	3,584	3,92	4,144	4,48
90	0,114	3,648	3,99	4,128	4,56
80	0,115	3,68	4,025	4,255	4,6
70	0,117	3,744	4,095	4,329	4,68
60	0,12	3,84	4,2	4,44	4,8
50	0,123	3,936	4,305	4,551	4,92
40	0,128	4,096	4,48	4,736	5,12
30	0,135	4,32	4,725	4,995	5,4
20	0,146	4,672	5,11	5,402	5,84
10	0,17	5,44	5,95	6,29	6,8

2.3.3. So sánh lực hãm, lực bám toa xe khách toa xe khách khách vận hành đến tốc độ 120 km/h sử dụng guốc hãm composite

Dựa vào kết quả tính lực hãm quan hệ với mức độ giảm áp OHC (bảng 1), lực bám quan hệ với trọng lượng bám, tốc độ (bảng 2) xây dựng họ đường cong lực hãm, lực bám phụ thuộc tốc độ khi hãm.



Hình 3. Đồ thị lực hãm (F_h), lực bám (F_b) phụ thuộc tốc độ

Nhận xét:

Từ đồ thị các đường cong biểu diễn lực hãm, lực bám phụ thuộc vào tốc độ (Hình 3) cho thấy:

- Ở chế độ xe rỗng, trọng tải ≤ 32 Tấn (F_{b1}) không thỏa mãn điều kiện (1) khi hãm thường hoàn toàn, hãm khẩn (mức độ giảm áp OHC $\Delta r \geq 1,4$ Kg/cm²) xảy ra lết trong khoảng tốc độ > 30 km/giờ.

- Toa xe có tải trọng ≥ 35 Tấn (F_{b2}) đều thỏa mãn điều kiện (1) khi hãm thường hoàn toàn, hãm khẩn ở các mức độ giảm áp OHC không xảy ra lết.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày đặc điểm quá trình hãm, mối quan hệ giữa lực hãm và lực bám, những nhân tố ảnh hưởng đến lực hãm và lực bám.

Xác định lực hãm tương ứng với mức độ giảm áp OHC phù hợp với kết cấu hệ thống hãm toa xe tính toán. Tính toán hệ số bám, hệ số ma sát để từ đó xây dựng họ đường cong lực bám, lực hãm toa xe trong các trường hợp xe rỗng, có tải và đủ tải phụ thuộc tốc độ để đưa ra các nhận định về tình trạng lết bánh xe khi hãm.

Lời cảm ơn:

Tác giả bài báo xin cảm ơn Trường Đại học Giao thông Vận tải đã tài trợ cho nghiên cứu này trong khuôn khổ đề tài mã số T2023-CK-010. ❖

Ngày nhận bài: **25/3/2023**

Ngày phản biện: **10/4/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Thị Hoài Thu; *Nghiên cứu ảnh hưởng của tính năng hãm đến an toàn đoàn tàu vận hành trên những đoạn đường có trắc dọc phức tạp*. Trường Đại học Giao thông Vận tải, Luận văn Thạc sỹ.
- [2]. Nguyễn Thị Trang, Nguyễn Thị Kim Dung; *Phương pháp xác định áp lực guốc hãm cần thiết/100 tấn trọng lượng đoàn tàu khách*, Tạp chí Giao thông Vận tải, 11/2016.
- [3]. Vũ Duy Lộc; *Nghiên cứu thiết kế và sản xuất hệ thống hãm cho toa xe khách cao cấp đảm bảo vận hành tin cậy ở tốc độ kỹ thuật 120 km/h*. Mã số: DAKH-01/2019-ĐT04.
- [4]. Phạm Lê Tiến, Đào Đức Toàn; *Xây dựng chương trình tính toán kiểm nghiệm khoảng cách hãm toa xe vận dụng trên đường sắt Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, tập 71, số 9 (12/2022).
- [5]. Qi Song, Y. D. Song & Wenchuan Cai; *Adaptive backstepping control of train systems with traction/braking dynamics and uncertain resistive forces*. 2010.
- [6]. Kim Seog-Won, Kim Ki-Hwan, Mok Jin-Yong, Kim Young-Guk; *Study on the Deduction of Traction/Braking Forces for the Train from Acceleration/Deceleration*. Journal of the Korean Society for Railway, Volume 9 Issue 6 Serial No. 37, 2006.
- [7]. Cong Guan, Long Chang, Huaiyu Xu; *The Simulation of Traction and Braking Performance for High-Speed Railway Virtual Reality System*. 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks, 2013.
- [8]. 黄问盈; *铁道轮轨黏着系数*. 铁道机车车辆. 第30卷第5期 2010年10月.
(Huang Wenying; *Hệ số bám dính giữa bánh xe và đường ray*. Đầu máy toa xe đường sắt. Tập 30, số 5, tháng 10 năm 2010).