

MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM MÒN CẶP MA SÁT TRỤC – BẠC TRONG HỆ THỐNG LỌC BỤI TĨNH ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

EXPERIMENTAL MODEL OF WEAR OF FRICTION PAIR “C-BUSHING AND SHAFT BUSHING” IN INDUSTRIAL ELECTROSTATIC PRECIPITATOR SYSTEM

Nguyễn Thị Ngọc Huyền¹, Lê Đức Bảo¹, KS. Hoàng Tuấn Anh²

¹Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

TÓM TẮT

Hệ thống lọc bụi tĩnh điện trong công nghiệp là một trong những phương pháp lọc bụi và làm sạch không khí có hiệu quả cao, hiện nay được sử dụng phổ biến trong các nhà máy nhiệt điện. Bên cạnh ưu điểm như vậy thì hệ thống lọc bụi tĩnh điện cũng có nhược điểm lớn do làm việc trong môi trường khắc nghiệt với nhiệt độ cao, môi trường bụi bẩn không được bôi trơn dẫn tới các bộ phận, cụm chi tiết cơ khí của hệ thống lọc bụi tĩnh điện bị mài mòn, hỏng hóc nhanh cần phải bảo dưỡng, thay thế. Do đó, bài báo này đưa ra nghiên cứu về ma sát, mòn cặp trục – bạc, là một trong các cụm chi tiết quan trọng của cụm trục búa gõ cực lắng trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện công nghiệp, ảnh hưởng không nhỏ đến hoạt động liên tục và chất lượng lọc bụi. Kết quả bước đầu đã xác định mô hình thực nghiệm thể hiện mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng U của cặp trục – bạc phụ thuộc đồng thời vào cả ba yếu tố: nhiệt độ (T , °C), nồng độ bụi (B , g/m³) và tải trọng (P , N) trong điều kiện làm việc hệ thống lọc bụi tĩnh điện trong nhà máy nhiệt điện.

Từ khóa: Lượng mòn; Cặp ma sát trục – bạc; Đặc tính ma sát; Lọc bụi tĩnh điện.

ABSTRACT

Industrial electrostatic precipitator systems are one of the highly effective dust filtration and air cleaning methods currently commonly used in thermal power plants. Besides such advantages, the electrostatic precipitator system also has major disadvantages due to working in harsh environments with high temperatures and unlubricated dusty environments. This leads to the mechanical parts and assemblies of the electrostatic precipitator system becoming worn and damaged quickly and requiring maintenance and replacement. Therefore, this article presents a study on friction and wear of the shaft – bushings pair, which is one of the important details of the settled percussion hammer shaft assembly in the industrial electrostatic precipitator system, significantly affecting the dust filter performance and quality. The results have identified an experimental model showing the relationship between the total wear of a pair of bearings depending on three factors simultaneously: temperature (T , °C), dust concentration (D , g/m³) and load (P , N) under working conditions of electrostatic precipitator system in thermal power factory.

Keywords: Linear wear; Journal bearing; Electrostatic precipitation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trục – bạc là cặp chi tiết điển hình trong các kết cấu máy liên quan đến các bộ phận chuyển động, được sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Bạc có chức năng nâng đỡ các bộ phận chuyển động, giảm ma sát và cũng là bề mặt chịu mòn có thể thay thế. Bạc có thể chịu lực hướng tâm, lực dọc trục hoặc vừa chịu lực hướng tâm vừa chịu lực dọc trục, về cơ bản có hai loại được thể hiện ở hình 1 gồm: Bạc trượt (ống lót) (a) và Bạc chống ma sát (b) [1, 2]. Việc sử dụng và chu kỳ thay thế bạc phụ thuộc vào điều kiện làm việc, môi trường, điều kiện bôi trơn, vật liệu và các yếu tố khác. Mòn của cặp ma sát trục – bạc là nguyên nhân chính gây ra hư hỏng và giảm tuổi thọ của các kết cấu cơ khí. Tốc độ mài mòn tăng do độ sai lệch kích thước của các bộ phận (tải không đối xứng, khe hở, quy định của nhà sản xuất) [3]. Mòn của cặp trục – bạc trong hệ thống lọc bụi công nghiệp ảnh hưởng không nhỏ đến hoạt động và chất lượng lọc bụi. Nhiều nghiên cứu của các tác giả trên thế giới về hệ thống lọc bụi chủ yếu tập trung tối ưu hiệu suất và các yếu tố ảnh hưởng.



Hình 1. Hai loại bạc cơ bản

Ảnh hưởng của kích thước hạt bụi, nồng độ bụi hay tốc độ bụi cũng như sự tăng/giảm nhiệt độ, dòng điện áp được nghiên cứu liên quan trực tiếp đến hiệu suất làm việc của toàn bộ hệ thống lọc bụi [4-7]. Tác giả Tadeusz Dziubak, Sebastian Dominik Dziubak và J. Warczek đã cho thấy ba thông số bụi: kích thước hạt, độ cứng và nồng độ bụi trong không khí ảnh hưởng đến độ mài mòn, tăng tốc mòn

của cặp ma sát: piston, vòng piston, ống lót xi-lanh và ổ trượt [8, 9]. Nghiên cứu của Amandine Regis, Jean-Marc Linares và các cộng sự cũng chỉ ra sự mài mòn của ổ trượt do chịu tải trọng động lệch tâm trong môi trường khắc nghiệt của ngành hàng không [10]. Nghiên cứu [11] gần đây nhất đã giới thiệu một phương pháp cải tiến giảm ma sát, mòn ổ trượt không cần bôi trơn bằng cách chế tạo từ vật liệu thép – đồng, trong đó trục là thép hợp kim và bismuth oxit thông qua xử lý laser xung ngắn. Nghiên cứu trong nước [12] nghiên cứu về tối ưu hóa lưu lượng dòng khí trong buồng lọc để nâng cao hiệu suất lọc bụi tĩnh điện. Ngoài ra là các nghiên cứu về ảnh hưởng của môi trường nhiệt ẩm đến các cặp ma sát khác nhau như: đường dẫn hướng, trục vít me đai ốc bi, chổi than – cổ góp, v.v.

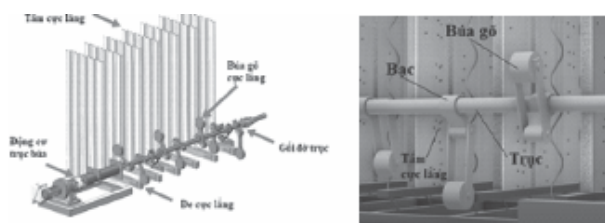
Bài báo này trình bày nghiên cứu đồng thời của các yếu tố vào gồm cả ba yếu tố: nhiệt độ (T , $^{\circ}\text{C}$), nồng độ bụi (B , g/m^3) và tải trọng (P , N) đến mòn của cặp trục – bạc cụm trục búa gõ cực lắng trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện, ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động lọc bụi của hệ thống.

2. THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

2.1. Cặp ma sát trục – bạc (bạc ghép) trong hệ thống lọc bụi [13]

Xử lý bụi công nghiệp là nhiệm vụ quan trọng của các nhà máy sản xuất, đặc biệt là nhà máy nhiệt điện, nhằm giảm thiểu sự phát tán và tác hại của bụi ra môi trường xung quanh. Bên cạnh đó, bụi bám và phủ lên các cụm chi tiết, trang thiết bị sản xuất làm hao mòn, giảm khả năng trao đổi nhiệt, giảm tuổi thọ của thiết bị. Trong các nhà máy nhiệt luyện, thường sử dụng phương pháp lọc bụi tĩnh điện với hiệu suất lọc bụi cao, xử lý bụi lớn, thu hồi được cả

bụi khô và ướt. Trong nội dung nghiên cứu này, cặp trục – bạc được sử dụng trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng, một trong những thiết bị quan trọng có vai trò làm rung theo chu kỳ và làm sạch hàng điện cực lắng tương ứng. Các cặp trục – bạc được bố trí trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng được thể hiện trên hình 2.



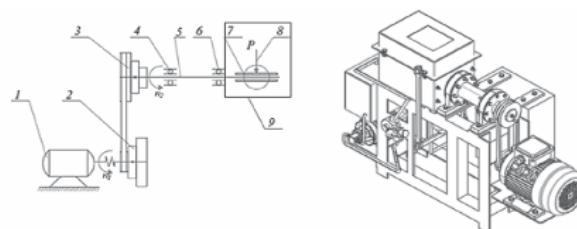
Hình 2. Cặp trục – bạc trong thiết bị trục búa gỗ cực lắng

Điều kiện làm việc của cặp ma sát bạc lót trục và bạc chữ C: chịu ảnh hưởng của tro, bụi do quá trình đốt than tạo ra, nồng độ bụi đầu vào lên tới $38,62 \text{ g/m}^3$; Nhiệt độ của môi trường làm việc cao, có thể đạt hơn 120°C do luồng khí tro, bụi được thổi vào từ lò hơi vừa đốt và giảm nhẹ khi qua buồng sấy; Tốc độ dòng không khí $\leq 0,2 \text{ m/s}$. Tốc độ quay của trục: $0,27 \text{ [vòng/phút]}$. Ngoài ra, các khí thải sinh ra trong quá trình đốt than đá như CO , NO_x , và SO_2 cũng là những tác nhân gây oxy hóa, gây mòn nhanh hơn. Tải trọng tác động lên hệ thống gồm có trục búa và búa. Mỗi trục búa $\varnothing 50 \text{ mm}$ dài 5200 mm và gồm có 17 búa và 4 bộ đỡ trục. Do đó, tải tổng cộng tác động lên bộ đỡ trục là 165 kg .

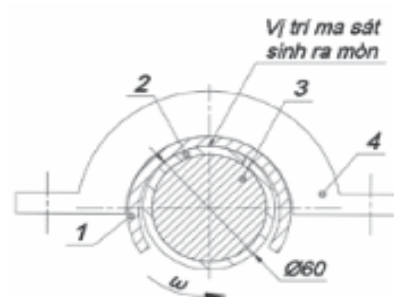
2.2. Thiết bị thực nghiệm

Thiết bị thực nghiệm được thể hiện ở hình 3. Bạc ghép (7) được lắp cố định trên trục (5) và được đặt trong hộp tạo môi trường bụi và nhiệt độ cao, chuyển động của trục – bạc được dẫn động bằng động cơ điện thông qua bộ truyền đai. Kích thước của cặp trục – bạc thử nghiệm được thể hiện hình 4. Nhiệt độ làm việc trong hộp 9 được khống chế bởi dây may

so nhiệt. Tải trọng (8) được tạo bởi cơ cấu thủy lực. Vận tốc gió được xử lý nhờ quạt gió đặt trong hộp 9, nồng độ bụi được đưa vào đạt phù hợp với điều kiện làm việc tại nhà máy nhiệt điện.



Hình 3. Hệ thống thiết bị thử nghiệm



Hình 4. Mặt cắt cặp ma sát trục – bạc ghép (bạc lót và bạc chữ C), trong đó: 1 - Bạc chữ C; 2 - Bạc lót; 3 - Trục; 4 - Gối đỡ bạc chữ C

Đặc tính kỹ thuật của máy thử mòn:

- Kích thước khuôn khổ máy (Dài x Rộng x Cao): $1156 \times 486 \times 750 \text{ mm}$;
- Tải trọng lớn nhất: $P_{\max} = 4000 \text{ N}$;
- Công suất động cơ chính: $N_1 = 5 \text{ KW}$ ($n_1 = 1440 \text{ v/ph}$);
- Công suất động cơ bơm dầu: $N_2 = 1,5 \text{ KW}$ ($n_2 = 1440 \text{ v/ph}$);
- Kích thước buồng thử tạo môi trường (Dài x Rộng x Cao): $320 \times 250 \times 260 \text{ mm}$;
- Nhiệt độ thử: $(80 \div 120)^\circ\text{C}$;
- Tải trọng thử: $(300 \div 500) \text{ N}$.

Kết quả đo độ mòn của cặp chi tiết bạc chữ C và bạc lót trục được đo bằng thước kẹp điện tử Mitutoyo 150 mm độ chính xác $0,01 \text{ mm}$.

2.3. Thiết kế thí nghiệm

Thiết kế thực nghiệm được thực hiện theo phương pháp quy hoạch Box-Behnken với ba yếu tố ảnh hưởng: nhiệt độ (T), nồng độ bụi (B), tải trọng (P), số các thử nghiệm với tâm là 3, do đó số thí nghiệm cần thực hiện $n = 2k(k-1) + C_0$ (trong đó, k là số thông số đầu vào, C_0 là số thí nghiệm ở tâm quy hoạch) tương ứng là 15 thí nghiệm. Yếu tố thứ nhất là tải trọng thay đổi từ 300 ÷ 500 N, hai yếu tố nhiệt độ và nồng độ bụi có phạm vi biến đổi phù hợp với điều kiện làm việc của cặp ma sát trong hệ thống lọc bụi: nhiệt độ thay đổi từ 80 ÷ 120°C, nồng độ bụi 40 ÷ 100 g/m³. Hàm mục tiêu đầu ra là lượng mòn tổng cộng của bạc ghép sau quãng đường ma sát L = 11km.

Xác định các yếu tố đầu vào cho mô hình lý thuyết ba yếu tố như bảng 1.

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng

Các yếu tố ảnh hưởng	Giá trị mã hóa		
Tải trọng P (N)	300	400	500
Nhiệt độ T (°C)	80	100	120
Nồng độ bụi N (g/m ³)	40	70	100

Kết quả đo mòn của mẫu bạc ghép thử gồm bạc lót và bạc chữ C được làm bằng thép 30X13, trục là thép 40X được đưa vào bảng 2.

Bảng 2. Bảng dữ liệu kết quả đo mòn bạc ghép

STT	Các thông số vào			Hàm mục tiêu
	Tải trọng P (N)	Nhiệt độ T (°C)	Nồng độ bụi B (g/m ³)	Lượng mòn U (mm)
1	400	100	70	3.83
2	400	80	40	3.57
3	300	100	40	2.43
4	400	120	100	3.97
5	300	80	70	2.31
6	500	100	100	4.75
7	500	80	70	4.35
8	400	100	70	3.85
9	300	100	100	2.90
10	400	120	40	3.86
11	400	80	100	3.65
12	300	120	70	2.86
13	500	100	40	4.53
14	400	100	70	3.86
15	500	120	70	4.83

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Xử lý số liệu bằng phần mềm Design – Expert, ta thu được kết quả về mô hình hồi quy và phân tích phương sai. Phân tích phương sai dữ liệu được thể hiện ở bảng 3. Kết quả cho thấy mô hình phù hợp với dữ liệu và đảm bảo độ tin cậy quyết định bởi giá trị P-value (< 0.05).

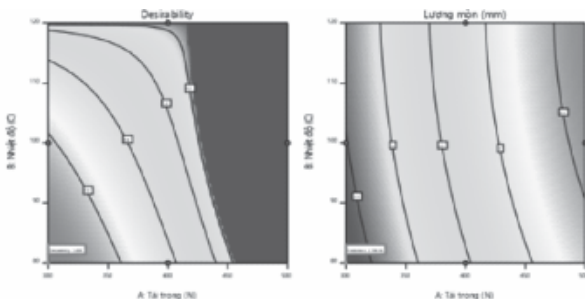
Bảng 3. Phân tích phương sai

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
Model	8.5	9	0.9448	87.69	< 0.0001
P-Tải trọng	7.92	1	7.92	735.08	< 0.0001
T-Nhiệt độ	0.3260	1	0.3260	30.26	0.0027
B-Nồng độ bụi	0.1024	1	0.1024	9.50	0.0274
PC	0.0012	1	0.0012	0.1137	0.7497
PT	0.0156	1	0.0156	1.45	0.2824
TB	0.0008	1	0.0008	0.0702	0.8016
P ²	0.1216	1	0.1216	11.28	0.0201
T ²	0.0223	1	0.0223	2.07	0.2098
B ²	0.0006	1	0.0006	0.0553	0.8233

Do đó, mô hình hồi quy phù hợp là:

$$U = -4.25833 + 0.02395 \cdot P + 0.010094 \cdot T + 0.003771 \cdot B - 0.000018 \cdot P^2 \quad [1]$$

Từ phương trình hồi quy thực nghiệm [1] cho thấy hàm hồi quy thể hiện mối quan hệ giữa lượng mòn phụ thuộc đồng thời rõ rệt vào ba yếu tố tải trọng, nhiệt độ và nồng độ bụi và ở mức độ khác nhau. Lượng mòn tăng khi tăng tải là phù hợp tuân theo quy luật thực nghiệm đã có trong các nghiên cứu công bố. Sử dụng phần mềm này có thể xác định bộ thông số phù hợp để giảm mòn được thể hiện trên hình 5. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của nồng độ bụi là đáng kể, với giá trị nồng độ bụi tại vùng ma sát thấp nhất thì lượng mòn giảm. Sự tác động của nồng độ bụi và nhiệt độ là đồng thời.



Hình 5. Đường đồng mức với bộ thông số tối ưu

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm về mối quan hệ giữa lượng mòn tổng cộng với các thông số đầu vào tải trọng, nhiệt độ và nồng độ bụi. Mô hình hồi quy cho thấy sự tác động đồng thời của ba yếu tố và cho thấy yếu tố nồng độ bụi trong vùng ma sát ảnh hưởng đáng kể đến quá trình ma sát, mòn cặp trục – bạc trong điều kiện làm việc thực tế tại nhà máy nhiệt điện. Đây là cơ sở để thực hiện dự báo mòn và tuổi thọ của bạc để đề xuất chu kỳ thay thế cũng như nghiên cứu vật liệu phù hợp nâng cao năng suất lọc bụi, đảm bảo tiến độ hoạt động của hệ thống. ❖

Ngày nhận bài: **15/11/2023**

Ngày phản biện: **25/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8287-1: 2009 (ISO 4378-1: 2009) về Ổ trượt – Thuật ngữ, định nghĩa, phân loại và ký hiệu – Phần 1: Kết cấu, vật liệu ổ và cơ tính của vật liệu.
- [2]. Chu Thế Quan, Lưu Văn Hy, Nguyễn Phước Hậu, Huỳnh Kim Ngân, Đỗ Tấn Dân, “Bạc và đệm lót”, NXB. Giao thông Vận tải, 2003. 

- [3]. VS,GS,TSKH. Nguyễn Anh Tuấn, PGS,TS. Phạm Văn Hùng, “*Kỹ thuật ma sát*”, NXB. Bách Khoa, 2023.
- [4]. Hsunling Bai, Chungsyng Lu & Chung Liang Chang (1995), “*A Model to Predict the System Performance of an Electrostatic Precipitator for Collecting Polydisperse Particles*”, Journal of the Air & Waste Management Association, 45:11, 908-916, DOI: 10.1080/10473289.1995.10467423.
- [5]. Gao, M., Zhu, Y., Yao, X., Shi, J., & Shanguan, W. (2019), “*Dust removal performance of two-stage electrostatic precipitators and its influencing factors*”, Powder Technology, 348, 13-23, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.03.016>.
- [6]. Xi Xu, Xiang Gao, Pei Yan, Weizhuo Zhu, Chenghang Zheng, Yi Wang, Zhongyang Luo, Kefa Cen; “*Particle migration and collection in a high-temperature electrostatic precipitator*”. Separation and Purification Technology 143, (2015),184-191,<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.01.016>.
- [7]. N. Grass; W. Hartmann; M. Klockner, “*Application of different types of high-voltage supplies on industrial electrostatic precipitators*”. DOI: 10.1109/TIA.2004.836298.
- [8]. Tadeusz Dziubak and Sebastian Dominik Dziubak, *A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation*, <https://doi.org/10.3390/en15031182>.
- [9]. R. Burdzik*, P. Folega*, B. Łazarz*, Z. Stanik*, J. Warczek, *Analysis of the impact of surface layer parameters on wear intensity of friction pairs*, December 2012 Archives of Metallurgy and Materials 57(4):987-993.
- [10]. Amandine Regis, Jean-Marc Linares, Santiago Arroyave-Tobon, Emmanuel Mermoz; *Numerical model to predict wear of dynamically loaded plain bearings*. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204467>
- [11]. Kharanzhevskiy, E.V., Ipatov, A.G., Makarov, A.V. et al.; *Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication*. Sci Rep 13, 17362 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44702-6>.
- [12]. Hoàng Văn Gọt, Triệu Quý Huy; *Tối ưu hóa lưu lượng dòng khí trong buồng lọc để nâng cao hiệu suất lọc bụi tĩnh điện*. ISSN 0866 – 7056, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 7, năm 2015.
- [13]. Hoàng Kim Cơ; *Kỹ thuật lọc bụi và làm sạch khí*, NXB. Giáo dục, 1999.