



GIẢM TIÊU HAO NĂNG LƯỢNG BẰNG TẠO KẾT CẤU VI MÔ BỀ MẶT CẶP MA SÁT VÀ KHẢ NĂNG ÁP DỤNG TRONG THIẾT BỊ MỎ

Yu Yinghua¹, Bạch Vân¹, Lê Văn Lợi^{1,2*}, Đặng Vũ Đình³

¹Đại học Kỹ thuật Liêu Ninh, 88 Yulong, Fuxin, Liaoning, Trung Quốc

²Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ-Vinacomin, 565 Nguyen Trai, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 25/6/2026

Ngày nhận bài sửa: 27/7/2026

Ngày chấp nhận đăng: 29/7/2026

^{1,2*}Tác giả liên hệ:

Email: loile.iemm@gmail.com

TÓM TẮT

Một trong những vấn đề cần giải quyết đối với máy và thiết bị là giảm tiêu hao năng lượng do ma sát. Các giải pháp truyền thống để giảm ma sát như: sử dụng vật liệu bôi trơn, phủ lớp chống mài mòn, hoàn thiện vật liệu chế tạo, lựa chọn chế độ làm việc, ... tuy đã được áp dụng rộng rãi và có hiệu quả nhưng vẫn tồn tại những giới hạn.

Trên thế giới, giải pháp tạo kết cấu vi mô (micro-texture) trên bề mặt các cặp ma sát đã trở thành một bước tiến đột phá trong lĩnh vực ma sát học. Các cấu trúc vi mô như rãnh nhỏ, hố lõm, lỗ hoặc các kết cấu đặc biệt khác có khả năng cải thiện đáng kể hiệu quả bôi trơn, giảm hệ số ma sát và tăng cường khả năng chịu tải. Công nghệ này đã được các quốc gia như Hoa Kỳ, Đức, Nhật Bản, Nga và Trung Quốc nghiên cứu, phát triển và ứng dụng thành công, giảm hệ số ma sát tới 20%, tăng tuổi thọ chi tiết từ 15% ÷ 35%, đồng thời tiết kiệm năng lượng hiệu quả và giảm đáng kể chi phí vận hành thiết bị.

Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu trong lĩnh vực này và đề xuất áp dụng cho một số thiết bị phục vụ ngành mỏ.

Từ khóa: ma sát, kết cấu vi mô, tổn thất năng lượng

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ma sát là hiện tượng vật lý phổ biến nhưng lại có tác động rất lớn đối với hiệu quả vận hành, độ tin cậy, tuổi thọ và chi phí khai thác thiết bị. Theo Holmberg và cộng sự [1], riêng các ngành công nghiệp lớn, tổn thất năng lượng do ma sát chiếm trung bình (20 ÷ 25)% tổng năng lượng đầu vào, trong đó tổn hao do ma sát hệ thống truyền động cơ khí lên tới (30 ÷ 40)% năng lượng. Theo Guo P. và cộng sự [2], tuổi thọ trung bình của các chi tiết ma sát (bạc trượt, ổ lăn, pít tông, xy lanh, ...) giảm đến (35 ÷ 45)% khi bị ảnh hưởng bởi mòn và rò, làm tăng gấp đôi tần suất sửa chữa, bảo dưỡng so với thiết bị sử dụng công nghệ kiểm soát ma sát tiên tiến. Bên cạnh đó, tình trạng rò rỉ chất qua các khe hở mòn trên bề mặt tiếp xúc cũng dẫn đến giảm hiệu suất tổng thể của thiết bị. Thống kê của

Lugt (2016) [3], trong các hệ thống thủy lực thiết bị mỏ, lưu lượng rò có thể chiếm (10÷20)% tổng lưu lượng bơm ra, trực tiếp làm giảm áp suất vận hành, tăng tiêu thụ nhiên liệu và nguy cơ mất an toàn. Ngoài ra, theo nghiên cứu của Kenneth Holmberg (2017) [4], các tổn thất năng lượng do ma sát và rò nếu không được kiểm soát có thể làm giảm tuổi thọ của toàn hệ thống thiết bị mỏ và năng lượng xuống chỉ còn 50÷70% so với thiết kế ban đầu.

Trong hơn hai thập kỷ qua, các nghiên cứu về kết cấu bề mặt (surface texture- “vân”, “hoa vân” bề mặt) ma sát đã đạt được nhiều tiến bộ trong cải thiện khả năng chống mài mòn chi tiết máy (dụng cụ gia công, cặp ma sát trong máy), và cải thiện tính năng bôi trơn, làm kín của các thiết bị cơ khí. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, môi trường làm việc của các hệ thống ma sát (cặp ma sát) trong các thiết bị cơ khí



cũng khắc nghiệt hơn: nhiệt độ, áp suất cao; ăn mòn; oxy hóa mạnh, ... Trong điều kiện làm việc như vậy, các phương pháp bôi trơn và giảm ma sát truyền thống đã không còn phù hợp. Tạo kết cấu bề mặt tức là tạo các “vân”, “hoa vân” với hình dạng với kích thước nhất định trên bề mặt cặp ma sát. Các “hoa vân”, “vân” bề mặt có kích thước rất nhỏ, cho nên kết cấu bề mặt này còn được gọi là kết cấu vi mô bề mặt. Đây cũng là một trong những phương pháp hiệu quả để nâng cao khả năng chịu lực bề mặt, cải thiện đặc tính ma sát bề mặt và kéo dài thời gian sử dụng của cặp ma sát.

Bài báo này trình bày một kết quả nghiên cứu đã đạt được trên thế giới, và đánh giá khả năng áp dụng kỹ thuật kết cấu vi mô bề mặt trong các thiết bị của ngành mỏ Việt Nam.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết về ma sát và kết cấu vi mô

Ma sát là hiện tượng vật lý diễn ra tại bề mặt tiếp xúc giữa hai vật thể khi chúng có chuyển động tương đối với nhau, gây ra tổn thất năng lượng và dẫn đến mài mòn và hư hỏng thiết bị. Các loại ma sát chủ yếu bao gồm ma sát khô, ma sát biên và ma sát thủy động lực học.

Lý thuyết ma sát Coulomb là cơ sở cơ bản nhất, thể hiện mối quan hệ giữa lực ma sát F với lực pháp tuyến N thông qua hệ số ma sát μ , được biểu diễn bằng phương trình:

$$F = \mu N \quad (1)$$

Tuy nhiên, hệ số ma sát μ không phải là hằng số cố định mà phụ thuộc vào các yếu tố như áp suất, vận tốc tương đối, nhiệt độ và đặc biệt là đặc tính bề mặt tiếp xúc. Việc nghiên cứu kết cấu vi mô nhằm điều khiển các yếu tố này theo hướng có lợi.

Kỹ thuật kết cấu vi mô bề mặt là việc sử dụng các cấu trúc hình học kích thước μm được thiết kế và chế tạo chính xác trên bề mặt các cặp ma sát. Các cấu trúc vi mô này thường bao gồm các dạng hố lõm (dimples), rãnh song song (grooves), và rãnh elip lệch tâm (parabolic-elliptic grooves), mỗi cấu trúc này có các đặc tính riêng biệt phù hợp với điều kiện vận hành cụ thể của thiết bị. Nguyên lý cơ bản của kết cấu vi mô là tạo ra các vùng áp suất thủy động lực học tại vùng tiếp xúc, giúp duy trì và ổn định lớp dầu bôi trơn. Điều này không chỉ giảm diện tích tiếp xúc trực tiếp giữa các bề mặt ma sát, mà còn cải thiện khả năng phân phối áp suất, giảm ma sát, nhiệt độ và rò rỉ dầu bôi trơn trong quá trình vận hành.

Một trong những phương trình đặc trưng khi ứng dụng kết cấu vi mô vào giải quyết vấn đề ma sát, đặc biệt trong điều kiện bôi trơn thủy động lực học là phương trình Reynolds:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{12\mu_0} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h^3}{12\mu_0} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{U}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

Trong đó: p là áp suất màng dầu bôi trơn; h là chiều dày màng dầu; μ_0 là độ nhớt động lực học của chất lỏng; U là vận tốc tương đối giữa hai bề mặt.

Bài toán chủ yếu trong việc ứng dụng lý thuyết ma sát và kết cấu vi mô là xác định cấu trúc bề mặt tối ưu, thông qua các giải pháp số sử dụng CFD và FEM, để giảm thiểu ma sát, nâng cao hiệu quả bôi trơn và kéo dài tuổi thọ thiết bị. Các nghiên cứu lý thuyết được kiểm chứng bằng các thực nghiệm, nhằm xác định và điều chỉnh các thông số kết cấu vi mô để đạt được hiệu quả mong muốn trong thực tế.

2.2. Kết quả ứng dụng kết cấu vi mô và phân tích đánh giá

Trong những năm gần đây, kỹ thuật kết cấu vi mô bề mặt đã được nghiên cứu lý thuyết, ứng dụng thử nghiệm và triển khai tại nhiều nhóm thiết bị cơ khí trọng yếu trong các ngành công nghiệp như ô tô, thủy lực, và khai khoáng trên thế giới. Kết quả của các nghiên cứu đều cho thấy, khi các hình dạng vi cấu trúc như hố lõm hình tròn, rãnh elip lệch tâm, rãnh hướng trượt hoặc các tổ hợp hình học vi mô được bố trí hợp lý trên bề mặt ma sát, chúng có thể tạo ra các hiệu ứng thủy động có lợi. Những hiệu ứng này giúp duy trì lớp dầu bôi trơn ổn định tại các vùng tiếp xúc, làm giảm diện tích tiếp xúc, phân bố lại áp suất tiếp xúc trên toàn bề mặt, từ đó cải thiện rõ rệt các chỉ tiêu áp lực chịu tải, hệ số ma sát, nhiệt độ vùng tiếp xúc và lưu lượng rò rỉ chất lỏng.

Cụ thể, các kết cấu vi mô đã được ứng dụng thử nghiệm và đánh giá trong ba nhóm thiết bị tiêu biểu có vai trò quan trọng trong ngành công nghiệp mỏ và năng lượng trên thế giới, bao gồm: động cơ đốt trong, thiết bị thủy lực và các thiết bị khác.

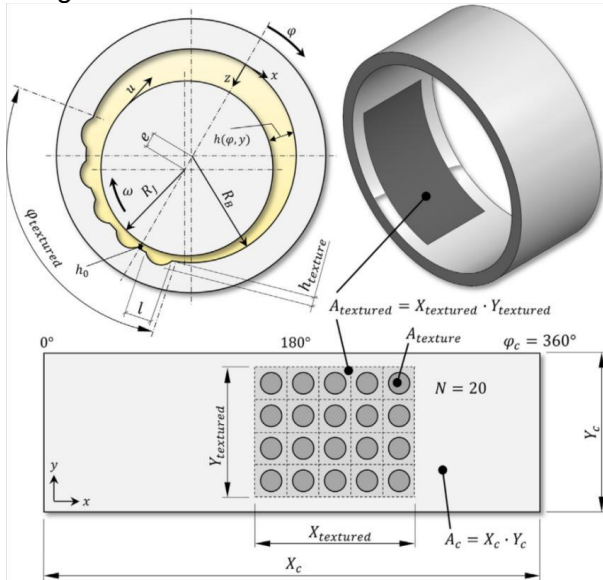
2.2.1. Ứng dụng kết cấu vi mô cho động cơ đốt trong

Shahzad A và cộng sự đã tạo các rãnh vi mô trên xy lanh động cơ ô tô giảm tiêu hao nhiên liệu 4÷6% và kéo dài tuổi thọ đến 1,5 lần, giảm rò rỉ chất lưu đến 35% [5].

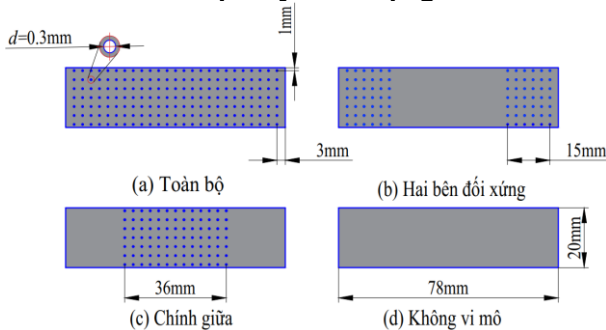
Gavrilov K.V. và Khudakov V.C [6] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng thông số hình học kết cấu vi mô (vân lõm) dạng tròn bề mặt bạc tay biên của động cơ BA3-21083 lên hệ số ma sát (Hình 1). Nhóm nghiên cứu đã áp dụng phương pháp mô phỏng số kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm, sử dụng phần mềm ANSYS Fluent để phân tích hiệu quả của bốn phương án bố trí kết cấu vi mô khác



nhau gồm: kết cấu vi mô toàn bộ bề mặt, kết cấu vi mô hai bên đối xứng, kết cấu vi mô chính giữa, và không có kết cấu vi mô.



Hình 1. Kết cấu vi mô trên bạc tay biên động cơ



Hình 2. Sơ đồ các phương án bố trí kết cấu vi mô

Kết quả nghiên cứu cho thấy, phương án kết cấu vi mô toàn bộ bề mặt đạt hiệu quả cao nhất trong việc giảm tổn thất ma sát, với mức giảm từ 2,6%÷4,3% so với bề mặt không có kết cấu vi mô, tùy thuộc vào tải trọng tác dụng. Tuy nhiên, phương án này lại làm suy giảm khả năng chịu tải từ 12,2%÷18% so với các phương án khác do diện tích tiếp xúc giảm, dẫn đến hạn chế trong việc hình thành áp suất thủy động lực trong lớp dầu bôi trơn. Phương án không có kết cấu vi mô tuy có tổn thất ma sát cao hơn nhưng lại cho khả năng chịu tải tốt nhất ở hầu hết các điều kiện thí nghiệm.

Yu Yinghua và nhóm nghiên cứu đã lựa chọn cặp ma sát bạc lót và xéc măng của động cơ ô tô làm đối tượng nghiên cứu ảnh hưởng của kết cấu vi mô đến khả năng làm việc của cặp ma sát [7].

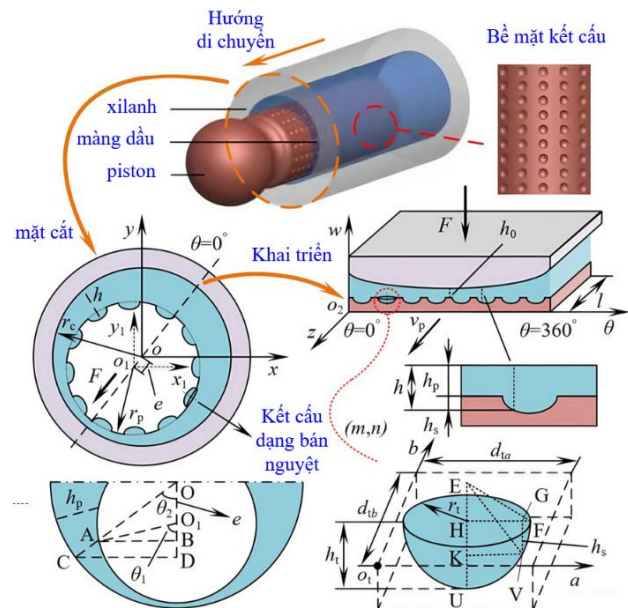
Kết quả nghiên cứu cho thấy, so với cặp ma sát không có kết cấu vi mô, áp lực chịu tải của cặp ma sát có phân bố kết cấu vi mô (với các tham số kết

cấu vi mô đã được tối ưu hóa) đã tăng 2,67%, hệ số ma sát giảm 32,1%, đồng thời lưu lượng rò rỉ của màng dầu tối ưu giảm 10,52% so với không kết cấu vi mô.

2.2.2. Ứng dụng kết cấu vi mô cho các thiết bị trong hệ thống thủy lực

Các thiết bị thủy lực hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong các thiết bị mỏ như máy khoan thủy lực, máy khâu than, máy đào lò, máy xúc lật thủy lực, hệ thống truyền động của xe vận tải mỏ và trạm thủy lực điều khiển giàn chống, ...

Li và cộng sự (2024) chứng tỏ việc tối ưu cấu trúc vi mô giảm hệ số ma sát tới 26,974%, nâng cao hiệu suất của bơm thủy lực. Luo Gang và nhóm nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của kết cấu vi mô dạng bán nguyệt đối với ma sát màng dầu của cặp pít tông-xy lanh trong bơm pít tông hướng trục.



Hình 3. Sơ đồ bố trí kết cấu vi mô

Kết quả nghiên cứu cho thấy, bán kính kết cấu lớn và tỷ lệ diện tích kết cấu cao cải thiện đáng kể khả năng giảm ma sát, trong khi độ sâu kết cấu có ảnh hưởng không rõ rệt. Mức độ ảnh hưởng được sắp xếp như sau: tỷ lệ diện tích > bán kính > độ sâu.

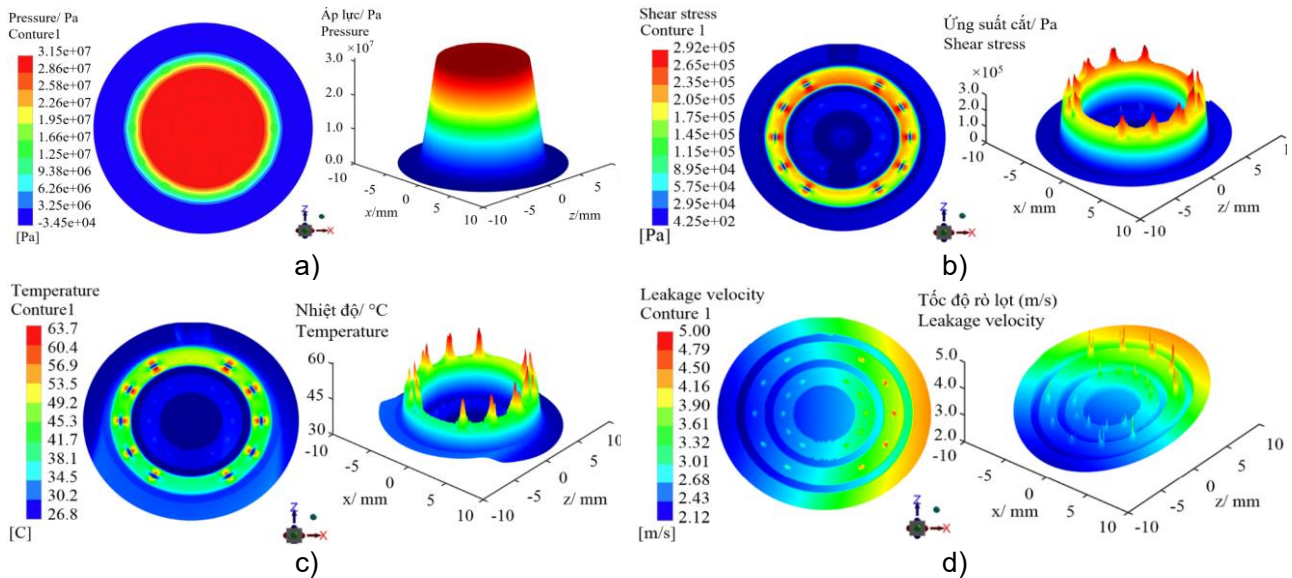
Độ lệch tâm được xác định là chỉ số phản ánh khả năng nâng đỡ của màng dầu. Tỷ lệ diện tích kết cấu phân bố 30% đạt hiệu quả tối ưu, với khả năng chịu tải cao hơn 12% so với mẫu có tỷ lệ phân bố 42%. Kết quả mô phỏng hệ số ma sát phù hợp tốt với thực nghiệm ở tải thấp, xác nhận độ chính xác của mô hình. Trong điều kiện tải cao, mẫu thử có bán kính 0,7 mm, độ sâu 30 μm và tỷ lệ 12%



cho hiệu quả giảm ma sát tốt nhất, giảm tới 29,8% so với mẫu không kết cấu.

Xu Ping, Yu Yinghua và nhóm nghiên cứu, tiến hành hàng loạt các nghiên cứu lý thuyết, phân tích mô phỏng CFD, thử nghiệm thực tế, thông qua ứng dụng phương pháp phân tích bề mặt đáp ứng và mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu kết hợp thuật toán

tối ưu cá voi, đã nghiên cứu ảnh hưởng của kết cấu vi mô EOOPT (Elliptic Opening Offset Parabola Micro Texture) đối với tính năng làm việc của cặp ma sát bạc trượt trong bơm pít tông hướng trục (áp lực chịu tải, hệ số ma sát, nhiệt độ và lượng rò lọt). Kết quả mô phỏng thể hiện trên các Hình 4.



a) Áp lực chịu tải màng dầu; b) Ứng suất cắt màng dầu; c) Nhiệt độ màng dầu
d) Tốc độ rò lọt màng dầu

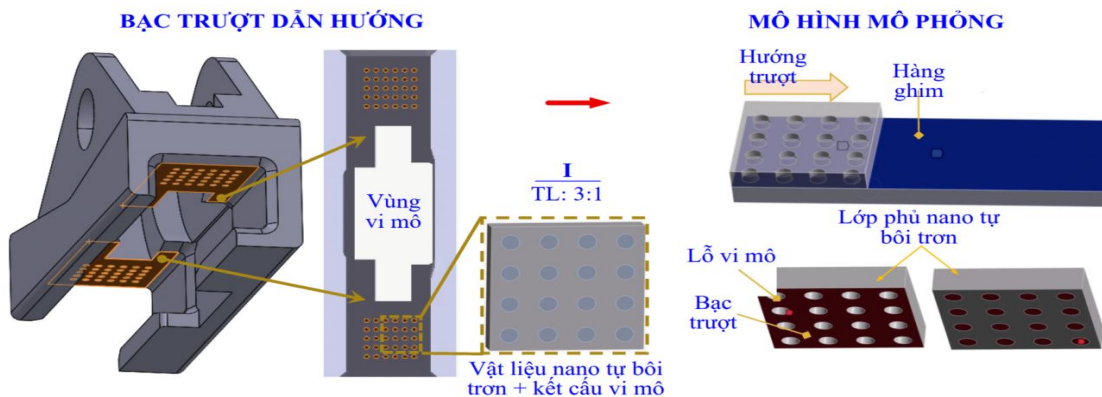
Hình 4. Kết quả mô phỏng các thông số cặp ma sát bạc trượt bơm pít tông hướng trục

Kết quả nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy kết cấu vi mô EOOPT tối ưu đã nâng cao khả năng chịu tải thêm 19,79%, giảm hệ số ma sát 22,47%, giảm nhiệt độ 12,41%, đồng thời giảm lượng rò tới 12,03% so với các cặp ma sát thông thường.

2.2.3. Ứng dụng kết cấu vi mô cho các thiết bị khác

Ngoài động cơ và thiết bị thủy lực, kết cấu vi mô còn được nghiên cứu cho các chi tiết làm việc trong điều kiện tải trọng lớn, tốc độ thấp và ma sát khô. Một hướng tiêu biểu là kết hợp kết cấu vi mô

với vật liệu nano tự bôi trơn trên bề mặt guốc trượt dẫn hướng máy khâu than. Trong hướng nghiên cứu này, nhóm tác giả đã kết hợp giữa công nghệ kết cấu vi mô (vân vi mô) và lớp phủ nano tự bôi trơn. Kết quả nghiên cứu bạc trượt dẫn hướng máy khâu than với bề mặt được phun lớp vật liệu nano tự bôi trơn kết hợp với gia công các kết cấu vi mô thể hiện hiệu quả giảm ma sát - bôi trơn vượt trội, có khả năng nâng cao đáng kể khả năng chống mài mòn và kéo dài tuổi thọ làm việc của bạc trượt máy khâu than [11~12] [7], [8].



Hình 5. Kết cấu bạc dẫn hướng máy khâu bố trí kết cấu vi mô nano bề mặt



Thông qua mô phỏng và thử nghiệm phương án tối ưu cho thấy, kết cấu vi mô dạng hố lõm tròn được bố trí so le thể hiện khả năng giảm ma sát và nâng cao hiệu quả bôi trơn với giá trị lực ma sát và độ sâu vùng ma sát giảm lần lượt là 30,5% và 58,6% so với bề mặt ma sát không có kết cấu vi mô.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu ứng dụng kết cấu vi mô bề mặt ma sát trên thế giới cho thấy đem lại hiệu quả kinh tế- kỹ thuật rõ rệt. Tại Việt Nam, cụ thể đối với thiết bị mỏ có thể và có điều kiện áp dụng công nghệ này.

Về công nghệ tạo kết cấu vi mô bề mặt ma sát: Trong thời gia vừa qua, ở Việt Nam nói chung đã

đầu tư các thiết bị gia công chính xác và ở các nhà máy Cơ khí Than – Khoáng sản cũng có một số máy CNC có thể tạo các cấu trúc vi mô bề mặt ma sát cần thiết.

Về điều kiện áp dụng: Áp dụng công nghệ này trong ngành mỏ Việt Nam có thể trong hai trường hợp: (i) tạo kết cấu vi mô bề mặt ma sát cho các thiết bị mỏ chế tạo mới trong nước; (ii) tạo kết cấu vi mô bề mặt ma sát cho các phụ tùng chế tạo trong nước khi sửa chữa thiết bị mỏ. Trường hợp thứ hai này hoàn toàn phù hợp khi sửa chữa các loại bơm pít tông của thiết bị mỏ.

Số liệu thống kê ô tô tải mỏ và các thiết bị mỏ có bơm pít tông dùng Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Số lượng ô tô tải huy động trong TKV năm 2025

TT	Tải trọng xe, (Tấn)	Loại ô tô	Số lượng
1	90÷100	CAT 777D; 777E; HD 785-7; 785-8R	258
2	55÷60	CAT 773E; 773F; HD 465-7; 465-7R	137
3	26÷40	CAT 769D; HD 325-7R; HM400-3R; VOLVO A400	33
4	23	Scania; Howo; Kammat; Man	45
		Tổng số	473

Bảng 2. Số lượng thiết bị có lắp bơm pít tông huy động trong TKV năm 2025

TT	Tên thiết bị	Mã hiệu	Số lượng
1	Máy xúc 10 m ³	EKG-10	4
2	Máy xúc 8 m ³	EKG-8	6
3	Máy xúc 4 m ³ và 5 m ³	EKG-4,6, EKG-5	27
4	Máy xúc thủy lực 6,7 m ³	PC1250-7, 1250-8R; Hitachi 1200	37
5	Máy xúc thủy lực 12 m ³	PC 2000-7, 2000-8R; CAT 6020B	15
6	Máy xúc thủy lực 3,5 m ³	PC850-8, PC750-7; CAT 365, CAT 385, Hitachi 870	17
7	Máy xúc lật 6-7m ³	Kawashaki 115ZV	9
8	Máy xúc thủy lực < 2 m ³		9
9	Máy xúc lật 3-6 m ³	Kawashaki95ZV, 85ZIV, 80ZV	21
10	Máy khoan CБШ 250		30
11	Khoan thủy lực	DML; KS; CAT MD3	18
12	Khoan thủy lực phá đá		5
		Tổng số	202



Theo thông số do nhà chế tạo cấp (Bảng 5) [10], lượng tiêu thụ nhiên liệu diesel của một số xe tải công suất lớn dùng trong khai thác lộ thiên ở Việt Nam, cụ thể đối với xe tải công suất lớn HD465-7R (tải trọng 55 tấn, công suất động cơ 533kW, dung tích 780 lít) thì lượng dầu diesel cần thiết vận hành 1 ca (8h) ứng với BSFC = 238 g/kWh là 1.014,83 lít. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, việc áp dụng kết cấu vi mô giúp giảm tổn thất nhiên liệu từ (5÷8)%, tức là mỗi xe sẽ tiết kiệm được từ (50,7÷81,2) lít dầu / ca. Với giá dầu diesel trung bình khoảng 20.000 VNĐ/lít, mỗi xe tiết kiệm khoảng từ 1.014.000÷1.624.000 VNĐ/ xe, ca.

Tương tự như vậy có thể đánh giá hiệu quả tiết kiệm điện năng đối với các loại bơm pít tông áp dụng trong ngành mỏ. Với số lượng ô tô tải và bơm pít tông lớn đang sử dụng trong ngành mỏ (Bảng 1, Bảng 2), áp dụng công nghệ tạo kết cấu vi mô bề mặt ma sát sẽ đem lại hiệu quả kinh tế đáng kể.

4. KẾT LUẬN

➤ Kết quả nghiên cứu đã khẳng định hiệu quả áp dụng kết cấu vi mô bề mặt ma sát trong việc cải thiện đặc tính làm việc của các cặp ma sát trong thiết bị. Thông qua việc thiết kế, tối ưu hóa và ứng dụng các dạng kết cấu vi mô phù hợp, hiệu suất cặp ma sát đã được nâng cao rõ rệt, góp phần làm giảm tổn thất năng lượng, hạn chế mài mòn và tăng độ tin cậy trong quá trình vận hành;

➤ Hiện nay, trong điều kiện Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam hoàn toàn có thể áp dụng công nghệ tạo kết cấu vi mô bề mặt ma sát cho các thiết bị mỏ để tiết kiệm nhiên liệu, điện, nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị;

➤ Nội dung bài báo mới đưa ra các thông tin tham khảo và đánh giá sơ bộ ban đầu. Để có thể áp dụng cho các thiết bị cụ thể sử dụng trong Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam cần đầu tư nghiên cứu, lập đề án áp dụng thử và đánh giá kết quả để triển khai áp dụng rộng rãi □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Holmberg. K & Erdemir. A, "Influence of Tribology on Global Energy Consumption, *Costs and Emissions*", *Friction*, 5(3): 263-284, 2017.
- [2] Guo. P, Yan. Z, Xu. J, Shen.Y, et al, "Wear life prediction of pít tông ring and cylinder liner based on integration of experiment and bench test data", *Engineering Failure Analysis*, 161, 108259, 2024.
- [3] Lugt. P. M, "Modern advancements in lubricating grease technology", *Tribology international*, 97, 467-477, 2016.
- [4] Kenneth Holmberg, Päivi Kivikytö-Reponen, Pirita Härkisaari, et al, "Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry". *Tribology International*, 115, 116-139, 2017.
- [5] Shahzad A, Haque UU, Lazoglu I, "Effect of the micro-textured pít tông on the performance of a hermetic reciprocating compressor", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 237(5): 1107-1118, 2022
- [6] Гаврилов К В, Худяков В С. "Оценка потерь на трение в текстурированных гидродинамических трибосопряжениях поршневых машин. Часть 2", Параметрические исследования шатунного подшипника ДВС. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*, 22(01):24-35, 2022.
- [7] 于英华,朱华杰,阮文新,徐平,沈佳兴, "发动机缸孔椭圆开口偏置类抛物线微织构研". *润滑与密封*, 48(07): 100-106, 2023
- [8] 沈佳兴,杨景辉, 范林浩, 杨乐冲, "纳米镶嵌式自润滑采煤机滑靴摩擦性能优化", *表面技术*, 54(17): 67-79, 2025, DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2025.17.006.
- [9] 沈佳兴, 范林浩, "织构采煤机滑靴摩擦副减摩特性", *中国表面工程*, 1-15[2026-07-27], <https://link.oversea.cnki.net/urlid/11.3905.TG.20250911.1216.004>.
- [10] Nguyễn Đăng Tấn, Tạ Ngọc Hải, "Nghiên cứu, ứng dụng pin nhiên liệu "Fuel Cell" thay thế cho dầu diesel sử dụng trên các thiết bị khai thác mỏ lộ thiên nhằm giảm ô nhiễm môi trường", *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, 2025(4).
- [11] Xu Ping, Luo Jing, Dong. L. P, Yu Yinghua, al el, (2024). Multi-objective optimization of parabolic micro-textures with elliptical openings for slipper pair of axial pít tông pumps, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 43(7):1189-1198.
- [12] 徐平,罗晶,于英华,沈佳兴,黎文利, "轴向往塞泵微织构滑靴副优化设计及性能分析". *兵器装备工程学报*, 46(06): 27-37, 2025.



ENERGY CONSUMPTION REDUCTION VIA SURFACE MICRO-TEXTURE ENGINEERING OF FRICTION PAIRS AND ITS APPLICABILITY TO MINING EQUIPMENT

Yinghua Yu¹, Van Bach¹, Van Loi Le^{2,*}, Vu Dinh Dang²

¹Liaoning Technical University, 88 Yulong, Fuxin, Liaoning, China

²Vinacomin Institute of Energy and Mining Mechanical Engineering, 565 Nguyen Trai, Ha Noi, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 25/6/2026

Revised: 27/7/2026

Accepted: 29/7/2026

^{1,2*} Corresponding author:

Email: loile.iemm@gmail.com

ABSTRACT

One of the problems that needs to be solved for machines and equipment is to reduce energy loss due to friction. Traditional solutions to reduce friction such as: using lubricating materials, anti-wear coatings, finishing manufacturing materials, selecting working modes, etc., although widely applied and effective, still have limitations. In the world, the solution of creating micro-textures on the surface of friction pairs has become a breakthrough in the field of tribology. Micro-textures such as small grooves, concave pits, convexities or other special structures have the ability to significantly improve lubrication efficiency, reduce friction coefficients and enhance load-bearing capacity. This technology has been successfully researched, developed and applied by countries such as the United States, Germany, Japan, Russia and China, reducing the coefficient of friction by up to 20%, increasing the life of parts by 15% ÷ 35%, while effectively saving energy and significantly reducing equipment operating costs.

The article introduces research results in this field and proposes applications for some equipment serving the mining industry.

Keywords: friction, micro-textures, energy losse

@ Vietnam Mining Science and Technology Association