



TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU KẾT CẤU BỀ MẶT TRONG BÔI TRƠN VÀ GIẢM MA SÁT CỦA HỆ THỐNG MA SÁT

Lê Văn Lợi

Viện Cơ khí Năng lượng và Mò- Vinacomim

Xu Ping, Yu Yinghua

Trường Đại học Kỹ thuật Liêu Ninh-Trung Quốc

Email: loile.iemm@gmail.com

TÓM TẮT

Hiện nay, các kết quả nghiên cứu trên thế giới chứng minh rằng, tạo kết cấu bề mặt ma sát một cách khoa học là một phương pháp hiệu quả để cải thiện đặc tính ma sát của bề mặt, và có khả năng giảm mòn bề mặt ma sát và hao tổn năng lượng của máy do ma sát gây nên. Để có thể lựa chọn kết cấu bề mặt ma sát như vậy, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về kết cấu bề mặt ma sát. Các nghiên cứu tập trung vào các hướng: nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng, thông số hình học, phân bố kết cấu đến hệ số ma sát; ảnh hưởng chế độ làm việc và bôi trơn với kết cấu bề mặt đã có đến khả năng giảm ma sát, giảm mòn bề mặt ma sát. Bài báo trình bày tổng quan các kết quả nghiên cứu về kết cấu bề mặt nhằm giảm ma sát trong hệ thống ma sát và đề xuất các hướng nghiên cứu chi tiết trong lĩnh vực này.

Từ khóa: kết cấu bề mặt, ma sát, bôi trơn, giảm ma sát, độ nhám bề mặt, hệ thống ma sát

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong hơn nửa thế kỷ qua, các nghiên cứu về kết cấu bề mặt (surface texture- “vân”, “hoa văn” 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 văn” với hình dạng với kích thước nhất định trên bề mặt cặp ma sát. Các “hoa văn”, “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 tiến hành tổng hợp, đi sâu tìm hiểu các nghiên cứu về kết cấu bề mặt, cơ chế giảm mài mòn của kết cấu bề mặt trong các điều kiện làm việc khác nhau, cũng như ảnh hưởng của hình dạng kết cấu bề mặt và các thông số hình học đối với khả năng chịu mài

mòn, bôi trơn của cặp ma sát của các nhà nghiên cứu trên thế giới và đề xuất hướng nghiên cứu trong lĩnh vực này.

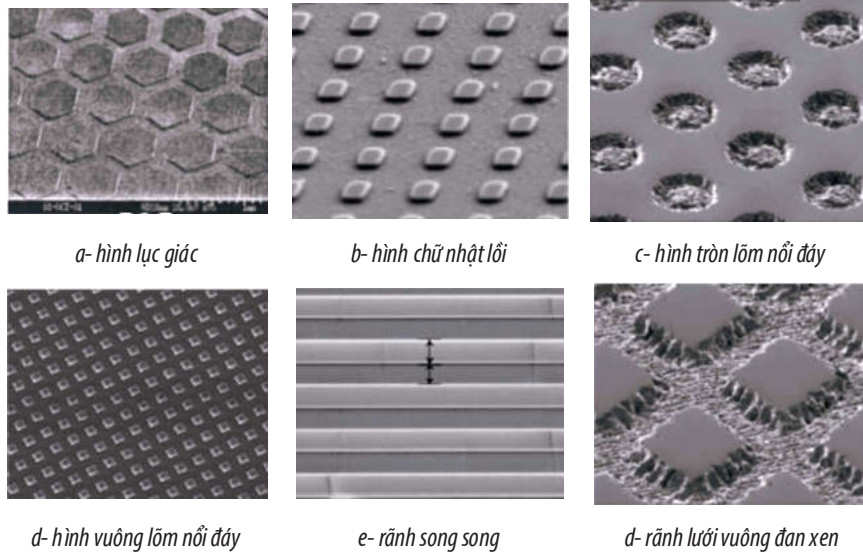
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Những nghiên cứu đầu tiên về ảnh hưởng của kết cấu bề mặt tới đặc tính ma sát được công bố vào những năm 60 của thế kỷ trước (Hamilton D.B. và cộng sự- 1966; Anno J. N. và cộng sự- 1969). Cho đến nay đã có nhiều công trình nghiên cứu trong lĩnh vực này được công bố. Những nghiên cứu này tập trung vào 05 hướng chính sau: ảnh hưởng của hình dạng kết cấu vi mô bề mặt; ảnh hưởng của phân bố kết cấu bề mặt; ảnh hưởng của một số thông số hình học kết cấu bề mặt; ảnh hưởng của thông số làm việc; cơ chế bôi trơn giảm ma sát của kết cấu bề mặt.

2.1. Ảnh hưởng của hình dạng kết cấu vi mô bề mặt

Kết cấu bề mặt có rất nhiều hình dạng, bao gồm: mấu lồi; hố lõm; rãnh lõm và nhiều hình dạng hỗn hợp khác. Một số hình dạng kết cấu vi mô bề mặt đặc trưng thường gặp thể hiện trên Hình H.1.

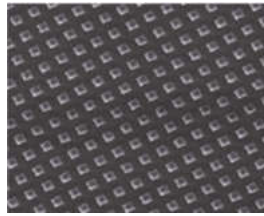
Jia Hongdao và cộng sự [9] đã nghiên cứu ảnh hưởng của 4 hình dạng kết cấu vi mô: trụ tròn; lục giác; ống lục giác kín và không kín. Trong đó lực ma sát tĩnh của hai kết cấu sau thay đổi mạnh hơn



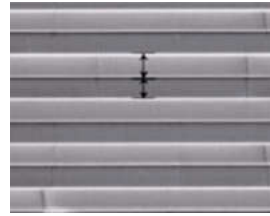
a- hình lục giác

b- hình chữ nhật lõi

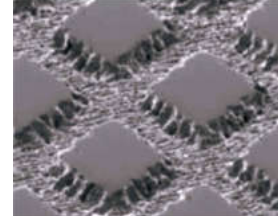
c- hình tròn lõm nổi đáy



d- hình vuông lõm nổi đáy



e- rãnh song song

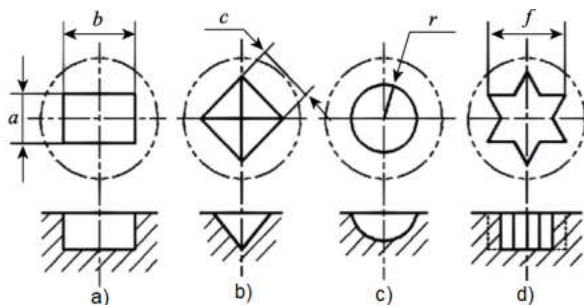


f- rãnh lưới vuông đan xen

H.1. Hình dạng đặc trưng một số kết cấu vi mô bề mặt

theo tỷ lệ diện tích bề mặt vi lõm. Hou Jimin và cộng sự (2020) đã tiến hành nghiên cứu và phân tích 4 kết cấu cổ điển dạng hố lõm, hình bao lõm, hình dạng vết và dạng rãnh, trong đó hiệu quả giảm mài mòn tốt nhất là dạng rãnh, tiếp theo là dạng hố lõm.

Qiu Mingfeng và cộng sự [4] đã nghiên cứu so sánh ảnh hưởng của 6 kết cấu hố lõm dạng hình cầu, hình elip cầu, hình tròn, hình elip, hình tam giác, hình chữ V đối với khả năng chịu lực của ổ trượt. Kết quả chứng minh, kết cấu elip cầu có khả năng chịu tải cao nhất. Tác giả Peng Longlong và cộng sự (2015) đã tiến hành nghiên cứu 4 kết cấu bề mặt: hình chữ nhật, hình thoi, hình cầu và dạng bông tuyết (Hình H.2) và nhận thấy, kết cấu hình cầu có thể cải thiện khả năng chịu lực tốt nhất.



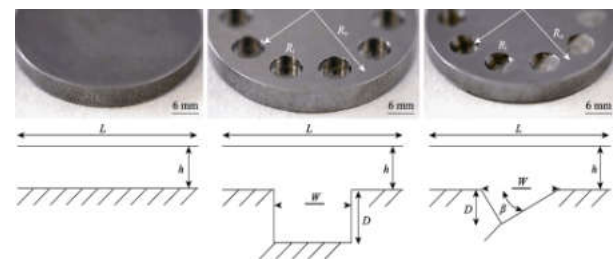
H.2. Các loại hình dáng kết cấu

a) Chữ nhật; b) Hình thoi; c) Hình cầu; d) Bông tuyết

Ngoài ra, các nhà nghiên cứu không chỉ tiến hành phân tích hình dạng kết cấu đơn như hố lõm, rãnh lõm, mà càng ngày càng có nhiều nghiên cứu ảnh hưởng của tổ hợp kết cấu đối với hiệu suất bôi

trơn giảm ma sát, trong đó, Wang Gurong và cộng sự (2019) đã phân tích quy luật ảnh hưởng của kết cấu hỗn hợp đối với hiệu suất bôi trơn áp động của cặp phốt làm kín bơm piston và nhận thấy rằng, ảnh hưởng của kết cấu hỗn hợp đến hiệu suất bôi trơn áp động chủ yếu là sự ảnh hưởng của kết cấu.

Những năm gần đây, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, công nghệ sản xuất tiên tiến, các nhà nghiên cứu đã bắt đầu nghiên cứu, đề xuất hàng loạt các hình dạng kết cấu bề mặt kiểu bất quy tắc, trong đó: tác giả Schuh J.K. và cộng sự [5] đã tiến hành nghiên cứu hình dạng kết cấu bề mặt không đối xứng (Hình H.3), nhận thấy rằng, kết cấu bề mặt không đối xứng có khả năng làm giảm hệ số ma sát một cách hiệu quả, khi góc $\beta = 5,3^\circ$ hệ số ma sát là nhỏ nhất. Uddin M.S. và cộng sự [6] đã đề xuất một loại kết cấu bề mặt dạng “hình sao”, có hệ số ma sát giảm mạnh so với kết cấu dạng elip, dạng chữ V, dạng tam giác và dạng hình tròn.



H.3. Khảo sát biên dạng, chiều sâu của một số bề mặt

Thông qua tối ưu hóa các hình dạng kết cấu cho thấy, các kết cấu bề mặt bất quy tắc, trong những

điều kiện nhất định, có đặc tính ma sát học so với kết cấu có quy tắc vượt trội.

Nhiều nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm chứng minh, tạo kết cấu bề mặt, kết hợp với kỹ thuật phủ bề mặt bảo vệ có khả năng cải thiện rất rõ đặc tính ma sát học của bề mặt cặp ma sát. Nhiều nghiên cứu đã tập trung theo hướng này. Sedla M. và cộng sự [7] đã nghiên cứu vết lõm kim tự tháp, vết lõm hình nón và vết lõm tia laser trước, sau khi tạo lớp phủ TiAlN trên bề mặt hợp kim cứng, đã nhận thấy, cho dù bất kỳ lớp phủ bề mặt được sắp xếp như thế nào, đặc tính ma sát học của bề mặt kết cấu lazer là tốt nhất, đặc tính ma sát học của bề mặt kết cấu kim tự tháp là xấu nhất, và thử nghiệm lớp phủ trước lớp kết cấu sau, bất luận là hình dáng kết cấu gì, lực ma sát đều có xu hướng giảm. Qi Penghao và cộng sự (2021) đã tiến hành thử nghiệm ma sát của 4 kết cấu dạng nét mảnh, dạng hình tròn, dạng chữ V, dạng “vân” vi mô trước và sau khi phủ lớp mạ DLC trên bề mặt đĩa thép GCr15, đã chứng minh: đặc tính giảm ma sát, kháng mòn của bề mặt lớp phủ được xử lý trong lớp kết cấu ngoài tương đối kém, còn đặc tính ma sát học của bề mặt lớp kết cấu được xử lý trong lớp phủ ngoài tương đối tốt, đặc tính ma sát học của bề mặt khi kết hợp lớp “vân” vi mô và lớp phủ DLC là tốt nhất.

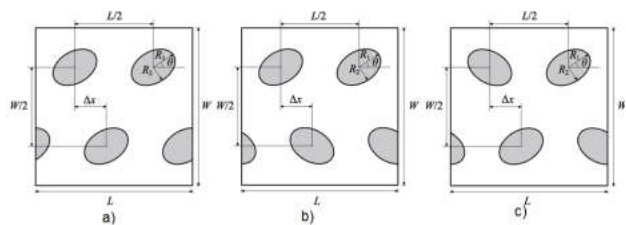
Các nghiên cứu kể trên chủ yếu bắt đầu từ kết cấu và thứ tự tác dụng của lớp phủ trước sau và hình dáng kết cấu, tuy có một số những khác biệt nhất định về kết quả, nhưng đều chứng tỏ rằng, phương pháp gia công lớp bề mặt phủ lên phía ngoài lớp kết cấu phía trong đều có giúp cải thiện đặc tính ma sát học của lớp vật liệu bề mặt. So sánh nghiên cứu các loại hình dạng kết cấu cho thấy, về mặt kết cấu có quy tắc mà nói, khả năng chịu tải của kết cấu dạng hình tròn, hình vuông cao hơn so với các kết cấu có quy tắc khác, nhưng trong quá trình ứng dụng thực tế, kết cấu dạng hình tròn do có ưu điểm kỹ thuật gia công thuận tiện, chi phí chế tạo thấp mà được ứng dụng phổ biến rộng rãi. Đồng thời, cũng có các tác giả đề xuất một số hình dáng kết cấu bất quy tắc, nhận thấy rằng ở điều kiện đặc biệt, đặc tính ma sát học tốt hơn các kết cấu có quy tắc.

Nhìn chung, các nghiên cứu hiện nay về hình dạng kết cấu bề mặt đều tập trung ở kết cấu đơn

lẻ, các nghiên cứu về kết cấu tổ hợp tương đối ít, loại hình kết cấu tổ hợp cũng tương đối đơn giản, và chưa đi sâu vào nghiên cứu thảo luận về loại kết cấu tổ hợp và hình dạng mặt cắt. Theo dạng kết cấu, có các phương thức kết hợp: hố lõm-lồi; hố lõm-rãnh; hố lồi-rãnh; ... Theo mặt cắt có các phương thức kết hợp: hình chữ nhật-hình tam giác; hình chữ nhật- hình cung tròn; hình chữ nhật- hình parabol; ... Cùng với việc đi sâu vào nghiên cứu kỹ thuật kết cấu bề mặt, ảnh hưởng của rất nhiều hình dáng kết cấu tổ hợp, kết cấu và tổ hợp lớp phủ bề mặt có tác động đối với khả năng bôi trơn giảm ma sát sẽ trở thành một vấn đề nóng trong các nghiên cứu trong tương lai.

2.2. Ảnh hưởng của phân bố kết cấu bề mặt

Các nghiên cứu phân bố kết cấu bề mặt hiện nay, chủ yếu là phân tích và so sánh các phương thức sắp xếp bố trí kết cấu, từ đó đạt được phương thức phân bố tối ưu nhất. Wang Hongtao [10] đã thiết kế 3 mô hình kết cấu vi mô hố lõm dạng hình trụ elip được bố trí sắp xếp khác nhau (Hình H.4), trong điều kiện bôi trơn toàn màng dầu, hệ số ma sát của 3 loại mô hình kết cấu vi mô bề mặt cơ bản đồng nhất, nhưng khả năng chịu áp suất động của bề mặt mẫu a) và b) so với mẫu c) là tối ưu hơn.

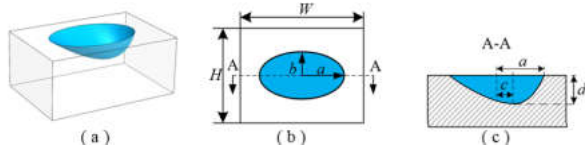


H.4. Phân bố kết cấu bề mặt dạng elip

a) Sắp xếp cùng chiều; b) Sắp xếp ngược chiều; c) Sắp xếp đan xen

Trong các nghiên cứu trên, vị trí phân bố kết cấu, kích thước và các điều kiện làm việc khác nhau cho thấy, việc nâng cao khả năng làm việc của cặp ma sát ượt không chỉ phụ thuộc vào hình dạng và loại kết cấu vi mô, mà còn liên quan chặt chẽ đến phân bố của kết cấu và điều kiện làm việc. Tác giả Yu Yinghua và cộng sự [11] đã tiến hành nghiên cứu những tính năng ưu việt của kết cấu vi mô bề mặt đối với việc nâng cao khả năng chịu tải, đặc tính chống ma sát mòn của ổ trượt trong động cơ ô tô, sử dụng lý thuyết quy hoạch thử nghiệm toàn phần-CCD, lý thuyết tối ưu hóa thiết kế bề mặt và phương pháp mô phỏng động học dòng chảy-

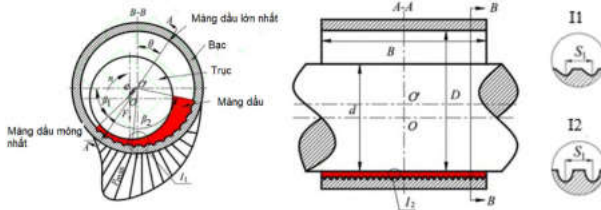
CFD để nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số cấu trúc vi mô dạng parabol không đối xứng có cửa mở hình elip (các Hình H.5 và H.6) đến hệ số ma sát và khả năng chịu lực của cặp ma sát.



H.5. Hình dạng đơn nguyên kết cấu vi mô dạng parabol không đối xứng

a- hình 3D; b- hình chiếu bằng; c- mặt cắt

Kết quả nghiên cứu, khả năng chịu tải tăng 21.05%, hệ số ma sát giảm 27,93% khi bề mặt được bố trí kết cấu vi mô với các thông số tối ưu nhất của kết cấu vi mô: bán kính dài, bán kính ngắn của elip là 200 μ m, 110 μ m; độ sâu và độ lệch tâm elip là 60 μ m và 30 μ m; góc ban đầu và góc bao là 4,65°, 116,75°; khoảng cách là 2,79 mm.

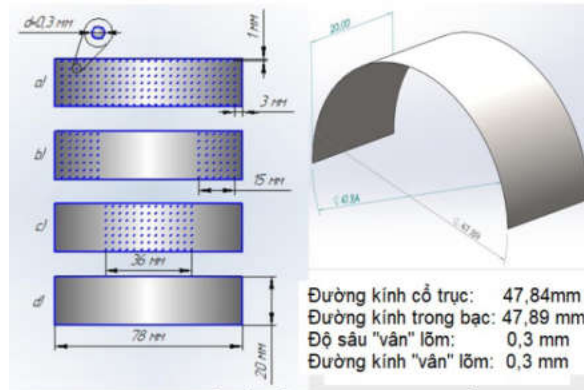


H.6. Kết cấu vi mô bề mặt ổ trượt

Ngoài ra, một số nghiên cứu đã đi sâu xác định các yếu tố ảnh hưởng của phân bố kết cấu, phương thức phân bố tối ưu và nhận thấy, sơ đồ phân bố kết cấu tối ưu liên quan mật thiết đến các thông số như mật độ, khoảng cách kết cấu.... Tác giả Xu Wenjing (2017) đã phân tích ảnh hưởng của phương thức bố trí kết cấu của các hố lõm vi mô hình tròn đối với khả năng chịu lực tải của ổ trượt thủy động trong khu vực tăng áp, nhận thấy rằng, cùng với sự gia tăng của mật độ kết cấu, sự phân bố kết cấu khác nhau đều sẽ dẫn đến khả năng chịu lực của ổ trượt giảm xuống. Wang Jingfu và cộng sự (2015) dựa vào phương trình Navier-Stokes, đã sử dụng phương pháp CFD phân tích đặc tính bôi trơn của bề mặt kết cấu với các cách bố trí sắp xếp kết cấu khác nhau. Kết quả cho thấy khả năng chịu tải màng dầu của kết cấu vi lõm so le (đan xen) với khoảng cách ngang dọc 250 μ m x 250 μ m là lớn nhất.

Gavrilov K.V. và Khudakov V.C. [8] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng thông số hình học kết cấu vân lõm, dạng tròn bề mặt bạc tay biên của động

cơ BA3-21083 lên hệ số ma sát (Hình H.7). Kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ, tổn thất do ma sát giảm (2,6÷4,3) % khi tạo kết cấu bề mặt. So với bề mặt không kết cấu thì khả năng chịu lực của bề mặt có kết cấu tăng từ 4,4% đến 18%.



H.7. Phân bố kết cấu hình học trên bề mặt

a- Phân bố toàn bộ; b- phân bố hai bên; c- phân bố trung tâm; d- không kết cấu

Ngoài việc tiến hành so sánh các dạng phân bố kết cấu mẫu thử của các nghiên cứu kể trên, cũng có học giả tiến hành tối ưu hóa kết cấu cục bộ (một bộ phận), chủ yếu từ phương diện phát triển nghiên cứu phân bố kết cấu toàn bộ, phân bố kết cấu cục bộ và vị trí phân bố kết cấu. Tác giả Jamwal G. và cộng sự [2] đã tạo một kết cấu vi mô dạng đuôi cá tại bề mặt trong của ổ trượt thủy động, nhận thấy rằng, độ ổn định của ổ trục với phân bố kết cấu hóa toàn bộ bề mặt là tối ưu nhất. Tác giả Mao Yazhou và cộng sự (2018) đã nghiên cứu ảnh hưởng của sự phân bố kết cấu theo hướng chu vi lên áp suất màng dầu của ổ trượt thủy động dựa trên phương trình Reynolds, nhận thấy rằng, tại vùng tăng áp, ổ trượt có phân bố kết cấu bề mặt cục bộ có hiệu suất bôi trơn tốt hơn, khả năng chịu tải tốt hơn, mà khi ở vùng hạ áp và phân bố kết cấu toàn bộ, áp suất màng dầu ổ trục thấp hơn so với bề mặt ổ trục không phân bố kết cấu.

Các nghiên cứu trên cho thấy, sự phân bố hợp lý của kết cấu vi mô bề mặt có thể cải thiện khả năng bôi trơn giảm ma sát. Đối với cùng một kết cấu, hình thức phân bố và vị trí phân bố không giống nhau, hiệu quả ma sát học cũng tương đối khác nhau, kết quả nghiên cứu thậm chí cũng có thể xuất hiện những mâu thuẫn với nhau. Điều này là do vật liệu và các thông số làm việc của các bề mặt kết cấu hóa cho các nghiên cứu là khác nhau, các phương pháp chọn lựa nghiên cứu cũng có khác

nhau, kết quả hình thức phân bố xuất hiện cũng tồn tại sai khác, vì vậy, đối với việc nghiên cứu phương thức phân bố kết cấu bề mặt, đồng thời xem xét nghiên cứu lý thuyết, cần phải xem xét các điều kiện thực tế như hiện trạng bôi trơn, vị trí phân bố của kết cấu,...

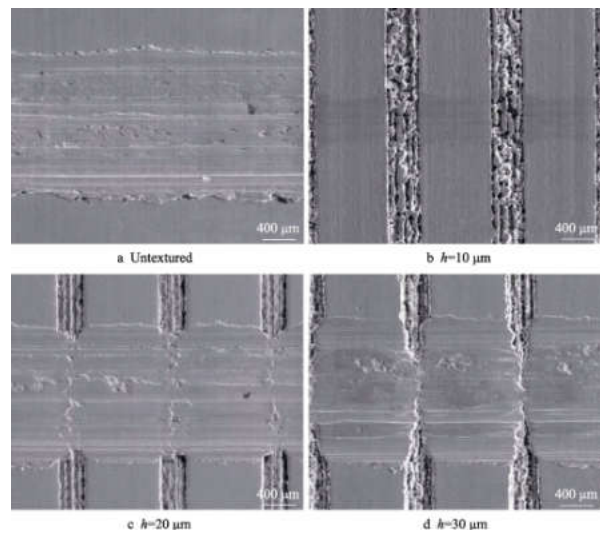
2.3. Ảnh hưởng của một số thông số hình học kết cấu bề mặt

Thông số hình học là một trong những nhân tố then chốt ảnh hưởng đến khả năng bôi trơn, giảm ma sát của kết cấu bề mặt. Thông số hình học kết cấu bề mặt thích hợp nhất có khả năng làm cho bề mặt kết cấu đó đạt được đặc tính ma sát học và khả năng bôi trơn tối ưu nhất. Độ sâu, tỷ lệ chiều sâu so với đường kính, tỷ lệ diện tích, ... của kết cấu bề mặt đều ảnh hưởng đến hiệu suất ma sát và mòn. Li Gan và cộng sự [12] đã thiết kế chế tạo kết cấu vi mô bề mặt dạng rãnh với các kích thước khác nhau trên bề mặt thép không gỉ 316L, nhận thấy, khi chiều rộng rãnh là 100 μm và khoảng cách giữa các rãnh là 200 μm , kết cấu có đặc tính giảm ma sát và kháng mòn tốt nhất. Sun Jianfang và cộng sự (2018) đã nghiên cứu 4 loại phân bố kết cấu có mật độ khác nhau trên bề mặt kết cấu hợp kim Ti, phát hiện ra rằng, trong điều kiện ma sát khô, tồn tại 8,7% mật độ kết cấu tối ưu, khiến cho khả năng giảm ma sát kháng mòn của bề mặt hợp kim Ti tốt nhất.

Đại đa số các nghiên cứu kể trên đều ở một điều kiện bôi trơn nhất định hoặc điều kiện ma sát khô. Tuy nhiên, trong thực tế làm việc, đa số các cặp ma sát đều ở trạng thái bôi trơn hỗn hợp. Trong quá trình chuyển động, trạng thái bôi trơn của chúng cũng sẽ phát sinh những biến đổi, thậm chí thiếu dầu bôi trơn. Tác giả Li Yajun và cộng sự (2018) đã tạo các kết cấu bề mặt với mật độ khác nhau trên bề mặt thép C45, trong điều kiện ma sát khô và thiếu dầu. Khi mật độ kết cấu là 8,1%, hiệu quả kháng mòn tốt nhất. Cai Xingxing (2019) đã nghiên cứu quy luật ảnh hưởng của các thông số kết cấu khác nhau đối với khả năng bôi trơn giảm ma sát trong điều kiện bôi trơn hỗn hợp. Ở tải trọng nhẹ, đối với kết cấu hình tròn, thông số hình học của khả năng bôi trơn giảm ma sát tối ưu: tỷ lệ diện tích kết cấu là 20%, bán kính 100 μm , độ sâu 17 μm .

Cùng với việc đi sâu nghiên cứu, một số nghiên cứu đã làm rõ, kích thước hình học tối ưu của kết cấu bề mặt, sẽ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như

điều kiện làm việc, phương thức bôi trơn, ... Tác giả Li Donhi và cộng sự (2018) đã sử dụng phương pháp CFD để xem xét ảnh hưởng của độ sâu kết cấu đối với khả năng chịu lực màng dầu khi có và không có hiện tượng xâm thực, và nhận thấy, cùng với sự thay đổi của độ sâu kết cấu, cuối cùng cũng tồn tại độ sâu kết cấu tối ưu làm cho khả năng chịu lực của màng dầu lớn nhất, và giá trị của độ sâu kết cấu tối ưu nhất có liên quan đến hiện tượng xâm thực. Su Fenghua và cộng sự (2019) nghiên cứu phát hiện ra, trong điều kiện bôi trơn bằng dầu PAO6 tồn tại độ sâu tối ưu 10 μm , dẫn đến hiệu quả kháng mòn và giảm ma sát của bề mặt thép không gỉ là tối ưu (Hình H.8).



H.8. Hình dáng bề mặt mài mòn của các rãnh kết cấu với độ sâu khác nhau

Từ các nghiên cứu trên có thể thấy rằng, độ lệch, điều kiện bôi trơn khác nhau thì độ sâu kết cấu tối ưu cũng khác nhau. Mật độ vùng tối ưu nhất và điều kiện tải trọng cũng liên quan đến nhau, do vậy các thông số hình học cụ thể luôn cần phải kết hợp với điều kiện làm việc thực tế mới có thể xác định. Hướng tới các thông số hình học điển hình, một số nghiên cứu đã xem xét có hay không có sự tồn tại thứ tự chi phối đối với ảnh hưởng của khả năng bôi trơn, giảm ma sát. Zhang Dongya và cộng sự [13] đã nghiên cứu quy luật ảnh hưởng của các thông số kết cấu bề mặt (đường kính, vùng mật độ, độ sâu) đối với hệ số ma sát cặp gối trượt, kết quả chứng minh, thứ tự chi phối của các nhân tố là: đường kính > vùng mật độ > độ sâu. Wai Peiliang và cộng sự (2020) đã nghiên cứu ảnh hưởng của

các thông số kết cấu hình cánh điều (tỷ lệ diện tích, góc nghiêng, độ sâu, góc kẹp, kích thước kết cấu) đối với hệ số ma sát, kết quả chứng minh. Thứ tự chính yếu của các thông số là: độ sâu > kích thước kết cấu > góc nghiêng > góc kẹp > tỷ lệ diện tích.

Có thể nhận thấy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số hình học theo thứ tự chi phối hiện nay tuy chưa mang tính hệ thống nhưng nó đã cung cấp cơ sở lý thuyết và căn cứ thực nghiệm cho các phương pháp thiết kế và tối ưu hóa các thông số kết cấu bề mặt. Các nghiên cứu trên chủ yếu xác định ảnh hưởng của các thông số hình học như độ sâu kết cấu (h_p), tỷ lệ diện tích (s_p), tỷ lệ chiều sâu so với đường kính (μ) v.v... trong đó độ sâu kết cấu là nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến tính năng ma sát học của bề mặt kết cấu. Trong các điều kiện bôi trơn khác nhau, tồn tại một độ sâu kết cấu tối ưu nhất làm cho hiệu quả bôi trơn tốt nhất. Tuy nhiên, khi tác dụng tổng hợp các thông số hình học như tỷ lệ chiều sâu so với đường kính, tỷ lệ diện tích sẽ dẫn đến những sai khác nhất định quanh phạm vi của độ sâu kết cấu tối ưu nhất. Điều đáng để đi sâu nghiên cứu, đó là đối với hiện trạng bôi trơn khác nhau, tổ hợp thông số hình học kết cấu khác nhau, có thể tiến hành giải quyết bằng một phương trình hoán đổi $f(h_p, s_p, \mu)$ hay không.

2.4. Ảnh hưởng của thông số làm việc

Ngoài phương thức phân bố, hình dạng và thông số hình học của kết cấu, thông số làm việc cũng là nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến tính năng ma sát và bôi trơn của kết cấu bề mặt. Mohmad và cộng sự [3] đã tạo kết cấu lazer trên bề mặt vật liệu tổng hợp than hoạt tính, nhận thấy rằng, hệ số ma sát cùng với sự gia tăng của tốc độ trượt mà giảm đi, cùng với sự gia tăng của tải trọng mà tăng lên. Như vậy, với điều kiện làm việc khác nhau, ảnh hưởng đến bôi trơn giảm ma sát của bề mặt kết cấu cũng sẽ khác nhau, do vậy việc phân tích thông số làm việc như tốc độ, tải trọng trong quá trình làm việc là đặc biệt quan trọng, đối với việc lựa chọn tối ưu các thông số làm việc phù hợp. Song Kefeng (2020) đã nghiên cứu phát hiện rằng, hệ số ma sát và độ sâu mòn của kết cấu bề mặt PTFE thay đổi tương đồng cùng với quy luật biến đổi của tải trọng và tốc độ trượt. Điều kiện làm việc tốt nhất là tải trọng 5N, tốc độ trượt động 5 cm/s. Có thể nhận thấy, các kết quả nghiên cứu hiện tại về tổ hợp thông số điều kiện

làm việc tối ưu chưa hoàn toàn nhất quán, nhưng nhìn chung, kết cấu bề mặt có tính chất ma sát tốt hơn trong điều kiện tốc độ cao và tải nhẹ.

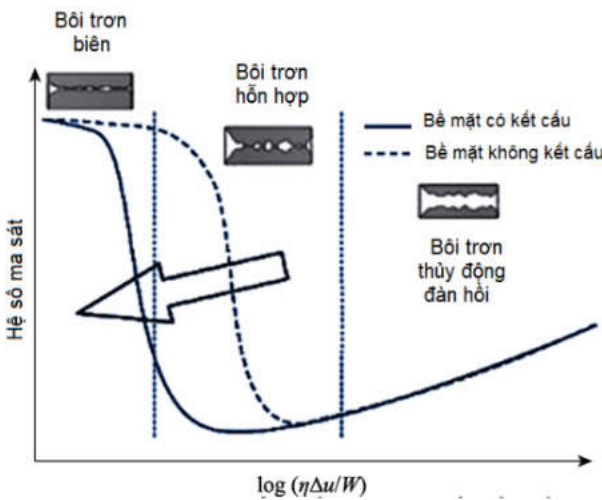
Ngoài các điều kiện làm việc điển hình (tải trọng, tốc độ quay), cũng có không ít các nhà nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu các thông số khác như độ nhớt động học của dầu bôi trơn, tần số, áp suất làm việc của cặp ma sát. He Xia và cộng sự (2018) đã dùng dầu bôi trơn L-CKD150 có độ nhớt thấp và mỡ bôi trơn phức hợp Lithium có độ nhớt cao để bôi trơn và nhận thấy, trong cùng điều kiện làm việc, khi bôi trơn bằng mỡ phức hợp Lithium độ nhớt cao, đường kính kết cấu tối ưu nhất càng lớn. Xie Xuan và cộng sự (2019) đã tiến hành nghiên cứu lần lượt ảnh hưởng của tải trọng và tần suất chuyển động qua lại đối với đặc tính ma sát bề mặt vật liệu thép ổ lăn GCr15 trong điều kiện bôi trơn bằng mỡ, và thấy rằng, hệ số ma sát có xu hướng giảm nhẹ cùng với sự gia tăng của tải trọng và tần suất chuyển động.

Trên thực tế, nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hiện nay về tính năng bôi trơn giảm ma sát của kết cấu bề mặt trong các điều kiện làm việc khác nhau vẫn tương đối hạn chế, đặc biệt trong điều kiện làm việc khắc nghiệt là khoảng trống, rất có triển vọng và thực sự cần thiết để nghiên cứu sâu hơn nữa. Qua phân tích so sánh có thể thấy, tải trọng và tốc độ hiện là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến tính chất ma sát và bôi trơn của bề mặt ma sát, và tồn tại một giá trị tối ưu nhất, để làm cho đặc tính kết cấu bề mặt tối ưu. Tuy nhiên, tác dụng bôi trơn-giảm ma sát của kết cấu bề mặt không chỉ bị ảnh hưởng bởi tải trọng và tốc độ, mà còn liên quan chặt chẽ đến nhiệt độ, độ ẩm tương đối và độ nhám bề mặt. Một mặt, các nghiên cứu hiện nay về các thông số điều kiện làm việc chủ yếu tập trung vào các thông số đơn lẻ như tải trọng và tốc độ, có rất ít nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số điều kiện làm việc kết hợp như: tải nặng- tốc độ cao; tải nặng- tốc độ thấp đối với tính năng ma sát và bôi trơn của kết cấu bề mặt. Mặt khác, cùng với sự phát triển của kỹ thuật, yêu cầu đối với tuổi thọ và độ tin cậy của thiết bị cơ khí ngày càng cao, việc nghiên cứu các thông số làm việc của bề mặt kết cấu các cặp ma sát cũng cần phải phát triển theo hướng nhiệt độ cao, áp suất cao và cường độ ăn mòn mạnh.

2.5. Cơ chế bôi trơn giảm ma sát của kết cấu bề mặt

Cơ chế bôi trơn giảm ma sát và trạng thái bôi trơn của bề mặt có kết cấu (có “vân”, “hoa văn”) liên quan mật thiết với nhau. Ở trạng thái bôi trơn khác nhau, cơ chế bôi trơn giảm ma sát của bề mặt có kết cấu cũng khác nhau. Hiện nay, trạng thái bôi trơn chủ yếu có bôi trơn thủy động, bôi trơn biên, và ma sát khô. Đồ thị đường cong Stribeck (Hình H.9) có thể hiển thị đầy đủ sự chuyển đổi giữa các trạng thái bôi trơn khác nhau, được cho rằng là một trong những phương pháp đơn giản có hiệu quả để đánh giá trạng thái bôi trơn. Wan Yi và cộng sự [29] căn cứ tỷ lệ màng dầu $\lambda = h_{min}/R$, trên đồ thị đường cong Stribeck tiến hành phân cơ chế bôi trơn thành 3 loại: bôi trơn biên, bôi trơn hỗn hợp, bôi trơn thủy động.

Dưới trạng thái bôi trơn thủy động chủ yếu xuất hiện tác dụng vi áp suất thủy động, chuyển động tương đối của bề mặt cặp ma sát đưa chất lỏng nhớt vào vùng hố vi mô lõm, hình thành một màng chất lỏng nhớt có độ dày (1÷100) μm , và tạo ra sự phân bố áp suất không đối xứng trong mỗi khu vực hố vi lõm, khiến cho màng dầu bôi trơn có lực tải và khả năng chịu tải nhất định (Hình H.10a).

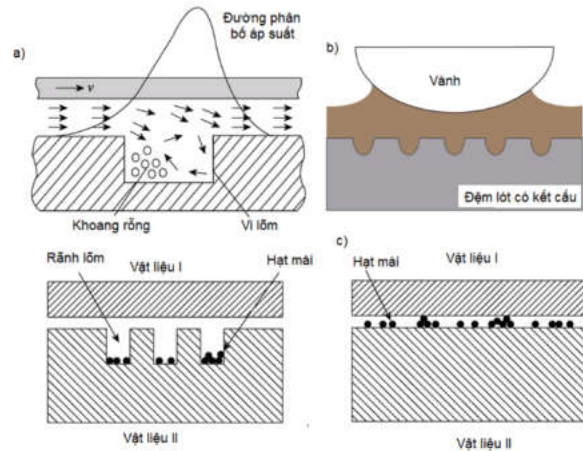


H.9. Phụ thuộc hệ số ma sát vào trạng thái bôi trơn

Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, hiệu suất bôi trơn thủy động của bề mặt có kết cấu bị ảnh hưởng bởi các yếu tố: tỷ lệ diện tích và tỷ lệ độ sâu với đường kính, hình dạng “vân” lõm; sự thay đổi vị trí tương đối các “vân”; phương thức tiếp xúc cặp ma sát (tiếp xúc đường, tiếp xúc mặt). Ở trạng thái bôi trơn biên, chủ yếu xuất hiện hiệu ứng “bôi trơn thứ

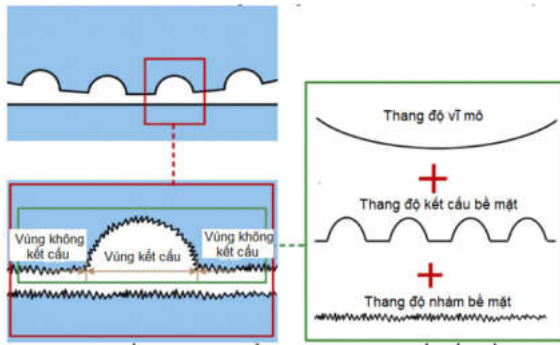
cấp”. Các phân tử phân cực trong thuốc bôi trơn của bề mặt cặp ma sát sẽ hấp thụ vào bề mặt cặp ma sát hình thành một lớp màng dày (0,005÷0,01) μm . Tính chất màng bôi trơn biên của dầu bôi trơn không giống nhau, lúc này khe hở của mặt ma sát dần dần giảm xuống. Sự tác dụng qua lại giữa các vi lồi (“hoa văn”) bề mặt được tăng cường. Độ dày của màng dầu bôi trơn biên nhỏ hơn so với độ cao của đỉnh nhám bề mặt (Hình H.10b). Màng bôi trơn biên của không gian giữa các vi lồi và bề mặt thuốc bôi trơn chịu phần lớn tải trọng (Xu Dichu (2019); Liu Zhan (2019)). Ji Jinghu và cộng sự [14] kết luận: khi tải thấp, bề mặt ở trạng thái bôi trơn thủy động và tải trọng chịu áp lực thủy động do màng dầu bôi trơn tạo ra; khi tải nặng, bề mặt ở trạng thái bôi trơn biên, kết cấu rãnh đóng vai trò tích trữ chất bôi trơn, tác dụng cung cấp và bổ sung chất bôi trơn cho bề mặt ma sát.

Ở trạng thái ma sát khô “vân” lõm tác dụng tích trữ hạt mài, trên bề mặt sẽ có hạt mài do ma sát. Các hạt mài sẽ tạo rãnh trên bề mặt tiếp xúc, phá hủy bề mặt. Kết cấu (“vân” lõm) bề mặt tiếp nhận, tích trữ các hạt mài, giảm thiểu mài mòn thứ cấp (Hình H.10c).



H.10. Cơ chế hình thành bôi trơn bề mặt a- bề mặt có kết cấu; b- màng dầu khe hở cặp ma sát; c- bề mặt không có kết cấu

Gu Chunxing (2018), Chen Xiaolan (2019), Ji Jinghu (2018) đã nghiên cứu tính năng bôi trơn thủy động có tính độ nhám bề mặt của mẫu thử. Độ nhám có ảnh hưởng tương đối lớn đối với bôi trơn tiếp xúc (Hình H.11).



H.11. Các thang độ của kết cấu bề mặt

Ngoài ra, kết cấu bề mặt có ảnh hưởng trực tiếp đến tính thấm ướt bề mặt của vật liệu, mà tính thấm ướt lại liên quan với đặc tính ma sát học của vật liệu. Wang Xinyu và cộng sự (2021) nhận thấy, so với lớp phủ DLC của bề mặt không kết cấu, kết cấu bề mặt lớp phủ DLC của mẫu dầu bôi trơn PAO được xử lý bề mặt có tính thấm ướt và tính năng ma sát tốt hơn. Coniglio N. và cộng sự [1] đã phát hiện, khả năng thấm ướt có liên quan đến kích thước của “vân” và độ nhám bề mặt. Có thể thấy, kết cấu bề mặt ảnh hưởng tới: khả năng thấm ướt bề mặt; tính năng ma sát của bề mặt. Trạng thái bôi trơn, môi chất bôi trơn, thông số kết cấu, thứ tự kết cấu hóa lớp phủ ... đều có ảnh hưởng đến khả năng thấm ướt bề mặt. Khả năng thấm ướt cần được nghiên cứu sâu rộng hơn, hệ thống hơn nữa.

Về nghiên cứu lý thuyết kết cấu bề mặt đối với vấn đề cải thiện bôi trơn và giảm ma sát, hiện nay phổ biến cho: tác dụng vi áp suất thủy động, hiệu ứng (bôi trơn thứ cấp), tác dụng tích trữ vụn mài, giảm thiểu diện tích tiếp xúc ... Cơ chế bôi trơn, giảm ma sát của bề mặt có kết cấu có tính chỉ dẫn khi thiết kế kết cấu của bề mặt. Đối với các điều

kiện khắc nghiệt như tốc độ cao và tải nặng, rất nhiều loại hình kết cấu hỗn hợp và mòn động vẫn chưa được đề cập trong và ngoài nước, vẫn còn thiếu lý thuyết tối ưu hóa thiết kế thống nhất, như: khi tốc độ cao- tải nặng; đặc tính giảm ma sát của kết cấu bánh răng; và cơ chế tác dụng của môi chất bôi trơn ...

3. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu tổng quan các kết quả nghiên cứu cho thấy, kết cấu bề mặt có ảnh hưởng rất lớn tới tính năng ma sát và bôi trơn của cặp ma sát. Vì vậy, cần triển khai một số nội dung nghiên cứu sau:

- > Nghiên cứu về quy luật điều tiết bôi trơn giảm ma sát của kết cấu điển hình dạng hố lõm, dạng rãnh và thông số kết cấu đơn lẻ, dưới tác dụng tổng hợp của rất nhiều ngẫu hợp đa thông số, hình dạng phức tạp, và phương án tổ hợp của chúng;

- > Áp dụng các lý thuyết mới trong nghiên cứu tác động ngẫu hợp kết cấu bề mặt tới lớp phủ, hệ thống màng mỏng, cơ chế phối hợp, điều tiết bôi trơn nhám;

- > Xây dựng, lựa chọn hệ phương trình thống nhất hoặc các chỉ tiêu xác định, đánh giá hiệu quả bôi trơn giảm ma sát của kết cấu, tối ưu hóa thông số tổ hợp, tìm kiếm cơ chế bôi trơn giảm ma sát kết cấu bằng trí tuệ nhân tạo, áp dụng lý thuyết thiết kế tối ưu thông minh và phương pháp lựa chọn đánh giá bôi trơn giảm ma sát của kết cấu bề mặt dưới tác dụng ngẫu hợp đa tham số;

- > Phát triển nghiên cứu khả năng bôi trơn, giảm ma sát dưới tác dụng ngẫu hợp của độ nhám bề mặt và kết cấu vi mô (micro-nano) bề mặt tiếp xúc, tiến hành nghiên cứu kết cấu mô phỏng sinh học đối với kết cấu bề mặt □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Coniglio N. et al. (2018), Effect of nano-penning surface texturing on self-cleaning function[J]. Surface and coatings technology, 2018, 353:126-134.
2. Jamwal G., Sharma S., Awasthi R. K. (2019), The dynamic performance analysis of chevron shape textured hydrodynamic bearings [J]. Industrial lubrication and tribology, 2019, 72(1): 1-8.
3. Momad M. et al. (2018), Frictional characteristics of laser surface textured activated carbon composite derived from palm kernel [J]. The international journal of advanced manufacturing technology, 2018, 95(5-8): 2943-2949.
4. Qiu Mingfeng, Delic A., Raeymakers B.(2012), The effect of texture shape on the load-carrying capacity of gaslubricated parallel slider bearings [J]. Tribology letters, 2012, 48(3): 315-327
5. Schun J.K., Ewoldt R. H. (2016), Asymmetric surface textures decrease friction with Newtonian fluids in full film lubricated sliding contact[J]. Tribology international, 2016, 97: 490-498.



6. Uddin M. S., Liu Y. W. (2016), Design and optimization of a new geometric texture shape for the enhancement of hydrodynamic lubrication performance of parallel slider surfaces [J]. Biosurface and biotribology, 2016, 2(2): 59-69.
7. Sedla E. K. M. et al. (2017), Influence of geometry and the sequence of surface texturing process on tribological properties [J]. Tribology international, 2017, 115: 268-273.
8. Гаврилов. К.В., Худяков В.С. (2022), Оценка потерь на трение в текстурированных гидродинамических трибосопряжениях поршневых машин. Часть 2. Параметрические исследования шатунного подшипника ДВС. Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2022. Т. 22, №1-С. 24–35.
9. 贾洪铎, 于海武, 唐火红, 等 (2016), 微凸起结构化 PDMS 表面静摩擦特性研究 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2016, 39(12): 1614-1618.
10. 王洪涛 (2015), 油润滑条件下减摩织构表面的优化设计[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
11. 于英华, 杨帅彬, 曹茂林, 沈佳兴, 阮文新 (2022), 滑动轴承表面椭圆偏置类抛物线微织构研究[J]. 表面技术:1-10[2022-01-26].
12. 厉淦, 沈明学, 孟祥铠, 等 (2015), 316L 不锈钢沟槽型表面微织构减摩特性实验研究 [J]. 功能材料, 2015, 46(2): 2033-2037.
13. 张东亚, 孙喜洲, 高峰, 等 (2019), 表面织构参数对液压马达滑靴副的摩擦学性能影响研究[J]. 表面技术, 2019, 48(4): 230-236.
14. 纪敬虎, 周加鹏, 王沫阳, 等 (2019), 初始表面粗糙度对沟槽织构摩擦性能的影响 [J]. 表面技术, 2019, 48(2): 139-143.

RESEARCH STATUS ON SURFACE TEXTURE IN LUBRICATION AND FRICTION REDUCTION OF TRIBOLOGICAL SYSTEMS

Le Van Loi, Xu Ping, Yu Yinghua

ABSTRACT

Currently, the research results in the world prove that, scientifically creating friction surface texture is an effective method to improve the tribological properties of the surface, and has the ability to reduce surface wear and energy loss of the machines caused by friction. In order to be able to choose such a friction surface texture, there are many studies on the friction surface texture in the world. The research focuses on the following directions: studying the influence of shape, geometrical parameters, texture distribution on the coefficient of friction; affect the working and lubricating mode with the existing surface texture on the ability to reduce friction, reduce wear of the friction surface. This paper presents an overview of research results on surface textures in lubrication and friction reduction of tribological systems and proposes detailed research directions in this field.

Keywords: surface texture, friction, lubrication, friction reduction, surface roughness, tribological system.

Ngày nhận bài: 14/5/2022;

Ngày gửi phản biện: 16/5/2022;

Ngày nhận phản biện: 20/6/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 12/8/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.