

VS.GS.TSKH. NGUYỄN ANH TUẤN
TS. PHẠM VĂN HÙNG

MH SẮT HỌC



GS.TSKH. NGUYỄN ANH TUẤN, TS. PHẠM VĂN HÙNG

MA SẮT HỌC

*(Giáo trình dùng cho sinh viên, học viên cao học và kỹ sư
các ngành kỹ thuật)*

(In lần thứ nhất)

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2005

MA SÁT HỌC

Tác giả: GS. TSKH. Nguyễn Anh Tuấn
TS. Phạm Văn Hùng

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGS. TS. Tô Đăng Hải
Biên tập và sửa chế bản: Nguyễn Diệu Thúy, Thụy Anh
Trình bày và chế bản: Ngọc Huyền, Thụy Anh
Vẽ bìa: Quỳnh Châu

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2005

In 700 cuốn khổ 16 × 24 tại Công ty in Thương mại
Giấy phép số 150-45 do Cục Xuất bản cấp ngày 4/2/2005
In xong và nộp lưu chiểu 3/2005

LỜI NÓI ĐẦU

Tiến bộ khoa học kỹ thuật đòi hỏi phải luôn bổ sung và hoàn thiện kiến thức cho cán bộ lãnh đạo (quản lý) cũng như cán bộ khoa học kỹ thuật của các ngành công nghiệp trong lĩnh vực thiết kế máy, công nghệ và chuyên môn hoá sản xuất. Kinh nghiệm cho biết rằng kiến thức của kỹ sư được trang bị trong các trường đại học sau 8 đến 10 năm sẽ trở nên lỗi thời. Do đó cần thiết phải tiếp nhận thêm kiến thức của các ngành khoa học mới, mà trước đây chưa được dạy trong các trường đại học. Đó là khoa học về ma sát, độ tin cậy và tuổi thọ của máy; về kiểm tra và đánh giá chất lượng sản phẩm. Đặc biệt cần lưu ý tới **kỹ thuật ma sát** (ma sát, bôi trơn, mòn), khoa học về sự tương tác các bề mặt tiếp xúc khi có chuyển động tương đối, bao quát toàn bộ các giải pháp có liên quan đến vấn đề mòn, ma sát và bôi trơn máy. Đó cũng là lý thuyết và thực tiễn của cơ học bề mặt và cơ học tiếp xúc.

Ý nghĩa to lớn của kỹ thuật ma sát đối với nền kinh tế quốc dân là ở chỗ, phần lớn máy móc bị hỏng không phải do gãy mà do mòn và do hư hỏng bề mặt ma sát trong các môi liên kết động. Phục hồi máy móc phải tốn phí nhiều tiền của, vật tư, hàng chục vạn công nhân phải tham gia công việc này, hàng vạn máy công cụ được sử dụng trong các phân xưởng sửa chữa.

Ngoài việc giảm mòn và nâng cao tuổi thọ thiết bị máy móc, kỹ thuật ma sát còn có nhiệm vụ nghiên cứu các biện pháp giảm lực ma sát trong máy móc được thiết kế và đang vận hành. Chúng ta đều biết rằng hơn một nửa nhiên liệu dùng để chạy ô tô, đầu máy xe lửa và các phương tiện giao thông khác thực chất là để khắc phục trở lực do ma sát gây nên trong chi tiết máy. Trong ngành dệt có đến 80% năng lượng tiêu hao dùng để khắc phục lực ma sát. Hiệu suất nhiều thiết bị máy móc thấp do ma sát là chính.

Thí dụ, hiệu suất của hộp giảm tốc Glôbôit dùng trong thang máy, thiết bị nâng trong hầm mỏ, máy công cụ là 0,7; hiệu suất của bộ truyền đai ốc - vít me là 0,25.

Kỹ thuật ma sát được nhiều quốc gia hết sức coi trọng từ quan điểm tiết kiệm về vật liệu và nhân lực, vì vậy thu hút được sự quan tâm của các nhà thiết kế công nghiệp, người sử dụng và các nhà khoa học của nhiều lĩnh vực khác nhau. Nhiều biện pháp về thiết kế công nghiệp và khai thác máy đã được xây dựng nhằm nâng cao tuổi thọ của máy. Cơ sở khoa học của kỹ thuật Tribology cũng được vạch ra trên nền của các thành tựu mới nhất của các ngành vật lý, hoá học, vật liệu ...

Trong 30 năm gần đây, kỹ thuật ma sát được tiếp nhận như thành tựu mới trong lĩnh vực tìm hiểu cơ chế mòn, ma sát tương tác tiếp xúc của vật rắn, cơ chế bôi trơn và kể cả lý thuyết phân tử. Trong thực tiễn, đã xuất hiện nhiều vật liệu kim loại, pôlyme kim loại chịu mòn và chịu ma sát, vật liệu bôi trơn có hiệu quả; xuất hiện phương pháp thiết kế công nghệ, đảm bảo tuổi thọ của các cụm máy và chi tiết máy.

Ở trên thế giới, trong các nước công nghiệp phát triển như Mỹ, Anh, Pháp, Nhật Bản, các nước Tây Âu, Bắc Âu, các nước Đông Nam Á và Hàn Quốc, Liên Xô cũ và Nga hiện nay, các nước Đông Âu như Ba Lan, Tiệp Khắc, Hungari, Nam Tư ... đều hết sức chú ý phát triển và phổ biến kỹ thuật ma sát học trong các viện nghiên cứu, các công ty xí nghiệp công nghiệp, trong cán bộ kỹ thuật ma sát ở các trường đại học công nghiệp ... Hàng năm các nước, các khu vực có liên quan nhất trong kỹ thuật ma sát đều tổ chức các hội nghị khoa học về Tribology như LEEDS – LYON (hai năm một lần), NORD – TRIB (hai năm một lần), BALKAN TRIB, ASIA TRIB, Nhật, Nga, Trung Quốc, Pháp, Mỹ, Hàn Quốc đều nhóm họp. Tháng 9 năm 1997 Đại hội đồng ma sát học toàn thế giới lần thứ nhất (1st WORLD TRIB) được tiến hành ở Luân Đôn với sự tham gia và chủ trì của Việt Nam, từ đó đến nay, bốn năm một lần Đại hội đồng ma sát học toàn thế giới lại được tổ chức luân phiên tại các nước thành viên.

Ở nhiều nước trên thế giới, trong các trường đại học đều có giảng dạy những môn học về kỹ thuật tribology (kỹ thuật ma sát, mòn, bôi trơn) cho các sinh viên, các học viên cao học cũng như mở các lớp bồi dưỡng cho cán bộ khoa học kỹ thuật và quản lý ở các viện, trường và cơ sở sản xuất. Hiện nay ở Anh, Mỹ, Pháp, Hàn Quốc số giờ dạy cho sinh viên đang học về môn kỹ thuật Ma sát thường từ 120 đến 150

tiết. Các môn học kỹ thuật ma sát đã được giảng dạy tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội từ những năm 1975 với hai giáo trình cơ bản đó là: “Ma sát học” và “Công nghệ bôi trơn”.

Khi soạn thảo giáo trình “Ma sát học” chúng tôi đã tham khảo các tài liệu nước ngoài trong những năm gần đây cũng như các tài liệu đã được xuất bản trong nước từ năm 1990, sửa chữa và bổ sung thêm các phần tính toán chuyên sâu để tạo điều kiện thuận lợi cho việc sử dụng.

Để lần xuất bản sau tài liệu được hoàn chỉnh hơn, chúng tôi trân trọng cảm ơn những ý kiến đóng góp của bạn đọc và các đồng nghiệp.

Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Máy và Ma sát học, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội hoặc Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

Các tác giả

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
Mục lục	6
Chương 1 : Chất lượng bề mặt và tiếp xúc của bề mặt ma sát	
1.1 Khái niệm về chất lượng bề mặt.....	7
1.2 Các thông số đặc trưng và trạng thái hình học bề mặt ma sát.....	14
1.3 Trạng thái bề mặt của cặp ma sát trong quá trình tiếp xúc.....	26
1.4 Tiếp xúc ma sát của các bề mặt thực	41
Chương 2 : Ma sát ngoài	
2.1 Các khái niệm cơ bản về ma sát.....	46
2.2 Phân loại các dạng ma sát.....	49
2.3 Các định luật cơ bản về ma sát.....	51
2.4 Bản chất ma sát ngoài.....	59
2.5 Các lý thuyết tính hệ số ma sát.....	73
2.6 Một số khái niệm và định nghĩa về ma sát lăn	94
Chương 3 : Mòn vật liệu	
3.1 Các khái niệm và định nghĩa cơ bản.....	96
3.2 Một số cơ chế hình thành các phần tử mòn.....	105
3.3 Phân loại các dạng mòn.....	111
3.4 Các định luật cơ bản về mòn.....	120
3.5 Bản chất của quá trình mòn.....	128
3.6 Một số phương pháp tính cường độ mòn của cặp ma sát.....	137
3.7 Tính mòn cặp ma sát theo lý thuyết cơ phân tử	143
3.8 Các nhân tố ảnh hưởng đến cường độ mòn.....	157
3.9 Ảnh hưởng của dòng điện và rung động đến mòn.....	160
Chương 4 : Tính mòn khớp ma sát	
4.1 Mòn bề mặt và khớp ma sát.....	164
4.2 Các phương pháp tính mòn khớp ma sát	170
4.3 Tính mòn khớp ma sát trong điều kiện biến dạng tiếp xúc	189
4.4 Tính mòn giới hạn U_{max}	196
Tài liệu tham khảo	200

CHƯƠNG 1

CHẤT LƯỢNG VÀ TIẾP XÚC CỦA BỀ MẶT MA SÁT

1.1 Khái niệm về chất lượng bề mặt

Chất lượng bề mặt của các cặp ma sát có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình ma sát và mòn. Sử dụng chất lượng bề mặt ma sát để điều khiển quá trình ma sát mòn của máy móc, dụng cụ và cơ cấu là một trong những biện pháp quan trọng, phổ biến và có kết quả cao.

Chất lượng bề mặt của các cặp ma sát được xác định thông qua hình dạng của bề mặt, các tính chất cơ lý hoá của các lớp bề mặt mỏng và ứng suất bên trong các lớp ấy. Những yếu tố chất lượng bề mặt được quan tâm hàng đầu đó là trạng thái hình học của bề mặt, độ cứng, độ bền nhiệt, độ bền hoá học và trạng thái ứng suất.

Các biện pháp công nghệ thông dụng được sử dụng làm tăng độ bền của lớp bề mặt ma sát như: nhiệt luyện, hoá nhiệt luyện, mạ điện phân, làm bền cơ học kim loại, nhờ đó tính chống mòn của các cặp ma sát đã được nâng cao rõ rệt. Hiện nay có nhiều phương pháp nâng cao chất lượng bề mặt tiên tiến đã và đang được triển khai nghiên cứu, ứng dụng ở Việt Nam đó là: thấm nitơ ở nhiệt độ thấp (dưới nhiệt độ kết tinh lại), thấm nitơ - lưu huỳnh ở nhiệt độ thấp, thấm nguyên tố hiếm, v...v, bốc bay trong chân không.

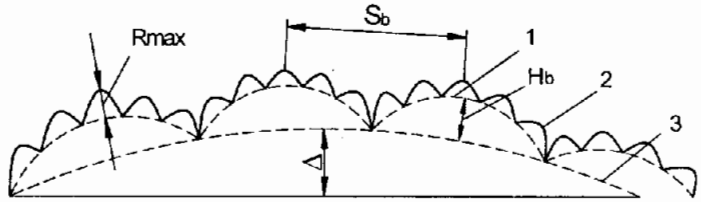
Bên cạnh những phương pháp công nghệ đảm bảo chất lượng và đặc tính của các lớp bề mặt, đã xuất hiện các phương pháp nâng cao chất lượng trực tiếp khi cặp ma sát đang hoạt động. Bản chất của phương pháp này là tạo ra cấu trúc thứ cấp bảo vệ lớp bề mặt ma sát trên cơ sở sử dụng các chất phụ gia đặc biệt pha vào dầu bôi trơn. Trong điều kiện ma sát sẽ tạo ra cơ chế tương tác của các chất phụ gia với kim loại bề mặt bị biến dạng và hình thành màng bảo vệ chống mòn.

1.1.1. Khái niệm chất lượng bề mặt theo quan điểm ma sát học.

Chất lượng bề mặt ma sát bao gồm các thông số về hình học bề mặt (hình 1.1), về đặc tính của các tính chất cơ lý hoá của các lớp bề

mặt mỏng và những ứng suất trong lớp đó. Các thông số của chất lượng bề mặt ma sát có liên quan và ảnh hưởng lẫn nhau.

Nhìn chung, chất lượng bề mặt của cặp ma sát là khác nhau trong trạng thái ban đầu, trạng thái làm việc và trạng thái còn lại. Sự sai khác của bề mặt thực chi tiết ma sát, và bề mặt



Hình 1.1. Sơ đồ hình học bề mặt của một vật rắn.

1- sóng bề mặt, 2- nhấp nhô bề mặt, 3- sai số hình dạng

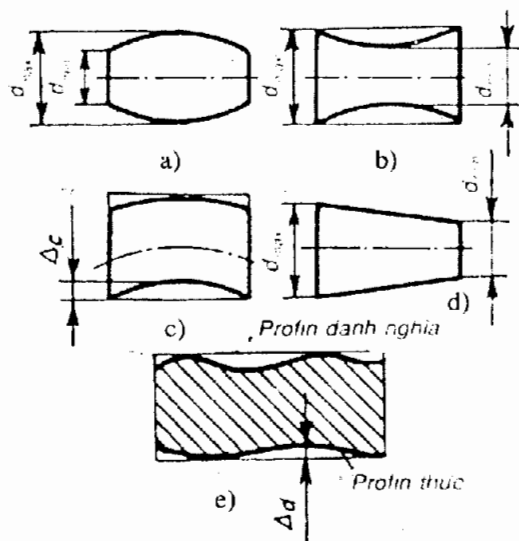
R_{max} – biên độ lớn nhất của nhấp nhô; S_b – bước sóng; H_b - độ cao sóng.

lí tưởng được thể hiện ở sự tồn tại của các nhấp nhô bề mặt ở các cấp độ vĩ mô, vi mô và siêu vi mô. Nguồn gốc tạo thành các nhấp nhô bề mặt vĩ mô và vi mô là do quá trình tách phoi trong nguyên công gia công lần cuối. Còn nguồn gốc của các nhấp nhô bề mặt siêu vi mô là do cấu trúc bên trong của vật rắn và khuyết tật của chúng.

Các tính chất cơ hoá lý của lớp bề mặt mỏng thường được xác định thông qua các thông số ban đầu của vật liệu, thông qua sự biến dạng xuất hiện khi tiếp xúc ma sát cũng như khi tiếp xúc với tác dụng hoá lý của môi trường làm việc và nhiệt độ làm việc. Mặt khác trạng thái của lớp bề mặt mỏng kim loại có quan hệ chặt chẽ với các thông số hình học của bề mặt.

1.1.2. Trạng thái hình học của bề mặt.

Trạng thái hình học của bề mặt ma sát là sự sai khác của bề mặt thực so với bề mặt lý tưởng ở các cấp độ vĩ



Hình 1.2. Các dạng sai số hình dạng dọc trục

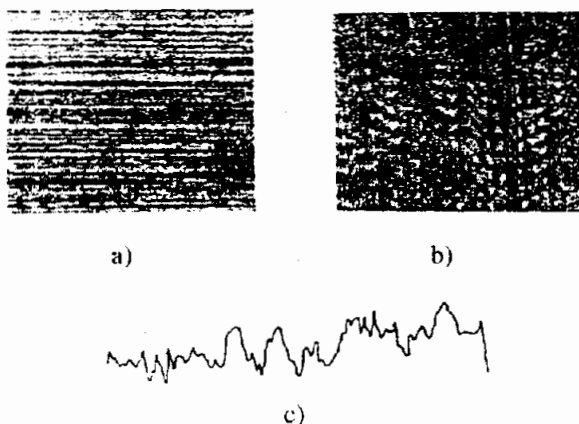
mô, vi mô và siêu vi mô.

Như vậy trạng thái hình học bề mặt cặp ma sát bao gồm: trạng thái hình học vĩ mô, trạng thái hình học vi mô, trạng thái hình học siêu vi mô.

Trạng thái hình học vĩ mô là sự sai khác của bề mặt trên toàn bộ chi tiết và độ nhấp nhô về hình dạng trên những kích thước lớn, đó chính là sai số hình dạng Δ và sóng bề mặt (hình 1.2). Chúng được tạo thành do sai số hình dạng của máy, dao động của hệ thống công nghệ:

máy, chi tiết và dụng cụ, thông thường $\frac{S_b}{H_b} > 40$.

Trạng thái hình học vi mô là đặc tính của hình dạng và kích thước của các nhấp nhô bề mặt được quan sát trong một hình vuông có cạnh khoảng một vết gia công (khoảng milimet), chủ yếu là các nhấp nhô bề mặt được hình thành trong quá trình tách



Hình 1.3. Bề mặt được gia công bằng mài

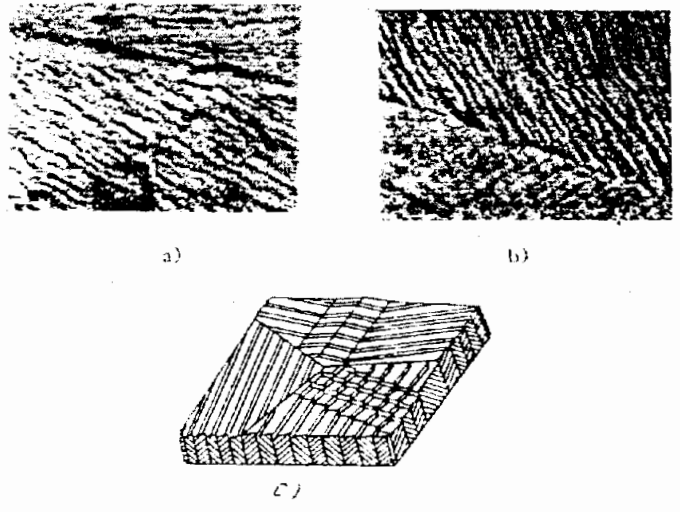
a) ảnh x 400, c) ảnh giao thoa x 290, b) đường ghi biên dạng

phoi, chúng chịu ảnh hưởng của chế độ công nghệ, bản chất vật liệu và hình dạng hình học của dụng cụ cắt đặc biệt là bán kính của mũi dụng cụ cắt (hình 1.3).

Trạng thái hình học siêu vi mô là một dạng nhấp nhô đặc biệt có liên quan đến cấu trúc cũng như khuyết tật của kim loại, nó được nghiên cứu trên bề mặt có kích thước cỡ micromet (μm).

Trạng thái hình học siêu vi mô chủ yếu là các nhấp nhô thứ cấp, cấu trúc thứ cấp hình thành trong vùng tiếp xúc ma sát có tác dụng của môi trường làm việc (hình 1.4).

Chất lượng bề mặt công nghệ có ảnh hưởng lớn đến quá trình chạy rà và quá trình làm việc của cặp ma sát. Nó quyết định chế độ dung sai và lắp ghép của cặp ma sát sau khi chạy rà, cũng như trong quá trình làm việc sau này. Tuy nhiên, biên



Hình 1.4. Cấu trúc của bề mặt đặc trưng cho sự không hoàn thiện của cấu trúc bên trong
a- cốt sắt sau khi ủ và tẩm thực bằng hoá học, x 3000
b- nhôm sau khi biến dạng đi 10,5%, x 600.
c- sơ đồ

dạng hình học công nghệ không phải là yếu tố, đặc tính ban đầu quan trọng nhất. Trong quá trình làm việc biên dạng công nghệ sẽ biến đổi nhanh chóng. Do tác dụng của biến dạng dẻo, sự xuất hiện các cấu trúc thứ cấp và sự phá hoại bề mặt khi ma sát các thông số hình học bề mặt sẽ thay đổi căn bản. Với điều kiện sử dụng bình thường, các quá trình cơ lý hoá diễn ra trên lớp bề mặt ma sát có sự cân bằng động giữa sự xuất hiện và phá hoại của các lớp màng cấu trúc thứ cấp-mỏng, khi đó trạng thái hình học của bề mặt ma sát sẽ được đặc trưng bằng biến dạng hình học vi mô, siêu vi mô. Trạng thái này được dùng làm cơ sở cho việc đánh giá chất lượng bề mặt khi làm việc, nó có vai trò quyết định trong quá trình tạo thành lực ma sát, hình thành cấu trúc thứ cấp và cường độ mòn.

Chất lượng và số lượng của các thông số siêu vi mô về cơ bản gắn liền với trạng thái của các màng ôxyt và các chất lỏng, khí bị hấp thụ. Quan hệ tổng quát của sự hình thành biến dạng siêu vi mô của bề mặt ma sát :

$$H_{sh} \approx f(D, \sigma, K) \quad (1.1)$$

Trong đó : H_{sh} – thông số của biến dạng siêu vi mô

D – thông số đặc trưng cho cấu trúc tinh thể kim loại

σ – trị số ứng suất có tác dụng trong thể tích bề mặt kim loại

K – thông số kể đến đặc tính của các lớp hấp thụ trên bề mặt kim loại.

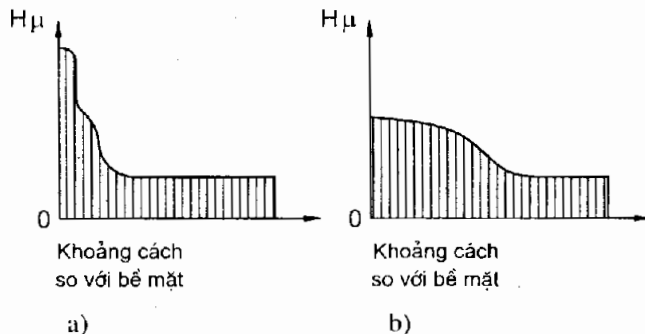
Dưới tác dụng ứng suất pháp, ứng suất tiếp cũng như quá trình mòn của lớp bề mặt mỏng ma sát sẽ quyết định việc hình thành biên dạng hình học khi làm việc của cặp ma sát.

1.1.3 Tính chất cơ lý hoá của các lớp bề mặt mỏng

Lớp bề mặt ma sát rất mỏng với chiều dày trong khoảng từ vài chục angström (Å) đến vài phần trăm hay phần mười milimet (mm) có đặc tính cấu trúc và tính năng cơ lý hoá hoàn toàn khác so với kim loại gốc của chi tiết. Lớp bề mặt mỏng trong tiếp xúc ma sát còn được gọi là vật thể thứ ba. Sự khác nhau đó là do các nguyên nhân: trạng thái đặc biệt của các nguyên tử bề mặt dẫn tới năng lượng bề mặt tự do và hoạt tính hấp thụ lớn, do tác dụng tổng hợp của cơ nhiệt hoá lý vào bề mặt kim loại trong giai đoạn chế tạo phôi và gia công tinh lần cuối, do tác dụng cơ nhiệt hóa lý lặp có chu kỳ trên bề mặt ma sát khi làm việc.

Bề mặt thuần khiết của kim loại có tương tác mãnh liệt với môi trường thể

lỏng hay khí khi tiếp xúc, dẫn tới sự hấp thụ các nguyên tử và phân tử hoạt tính của môi trường vào



Hình 1.5. Đồ thị thay đổi độ cứng của lớp bề mặt.

a- khi bị ôxy hoá; b- khi bị tróc loại I.

bề mặt của kim loại, bao gồm cả những phản ứng hoá học trực tiếp như

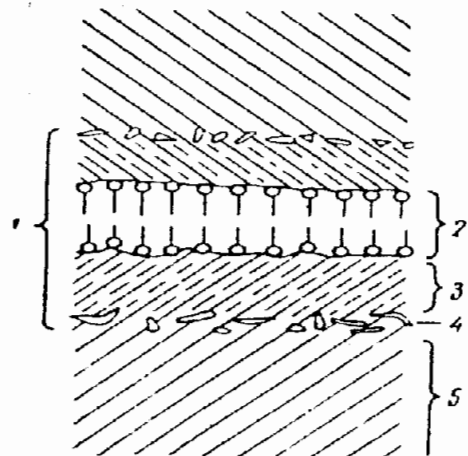
oxy hoá sắt tạo thành Fe_2O_3 .

Trong quá trình gia công kim loại có phoi hoặc không phoi, kim loại bị biến dạng dẻo rất mạnh, xuất hiện những thể tích cục bộ có nhiệt độ cao, đồng thời lại được làm mát bởi oxy không khí hoặc làm mát và bôi trơn bằng dung dịch trơn nguội. Khi đó lớp bề mặt kim loại bị gia công có độ sâu đến vài chục micromet (μm) sẽ bị biến tính rõ rệt.

Trong quá trình làm việc, lớp bề mặt mỏng khi tiếp xúc ma sát chịu tác dụng lặp đi lặp lại của ứng suất pháp và tiếp xúc cũng như bị nung nóng đến nhiệt độ cao rồi làm nguội nhanh do khối kim loại bao quanh, do đó tính chất cơ lý hoá của lớp bề mặt mỏng và kim loại gốc tất yếu là khác nhau. Trên hình 1.5a là biểu đồ về sự thay đổi của độ cứng theo chiều sâu của trục động cơ làm việc trong chế độ bôi trơn giới hạn bình thường, hình 1.5b thay đổi độ cứng trên lớp bề mặt ổ trục trượt khi xuất hiện tróc loại I.

Khi có biến dạng dẻo trong quá trình ma sát, sẽ tăng cường sự hoạt hoá các thể tích bề mặt kim loại và làm phát triển hiện tượng khuếch tán dẫn đến sự oxy hoá các lớp bề mặt ma sát của kim loại. Lớp màng ôxyt được tạo thành có tính chất cơ lý hoá khác hẳn kim loại ban đầu. Mòn oxy hoá là quá trình mòn lớp màng ôxyt hình thành khi làm việc, nó là một dạng mòn hết sức phổ biến, với đặc trưng là độ nhẵn bóng bề mặt cao và không làm thay đổi có hại đến cấu trúc của các thể tích bề mặt ma sát.

Đặc trưng của tiếp xúc ma sát là sự tồn tại lớp trung gian giữa các vật thể rắn, nó được hình thành từ màng dầu, ôxyt, hơi nước



Hình 1.6. Sơ đồ mặt cắt của liên kết ma sát tại điểm tiếp xúc

- 1- vật thể thứ ba, 2- lớp hấp thụ, 3- lớp ôxyt và các hợp chất hoá học, 4- lớp gián đoạn, 5- lớp vật liệu nền.

hấp thụ và màng thoái hoá của vật liệu cơ bản. Lớp trung gian – gọi là vật thể thứ ba này có sức bền trượt nhỏ hơn sức bền trượt của kim loại cơ bản. Sơ đồ mặt tiếp xúc ma sát giữa hai vật rắn thể hiện trên hình 1.6.

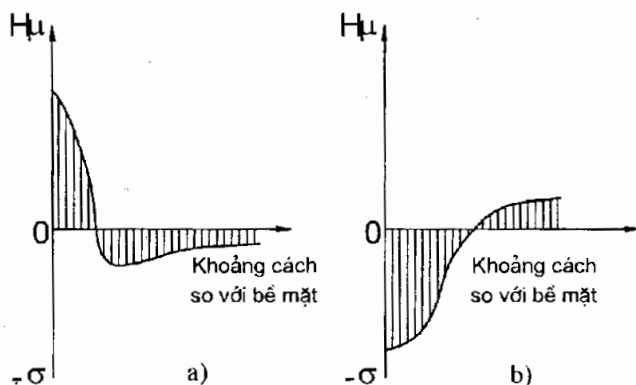
Vật thể thứ ba được hình thành từ một vài lớp, lớp ngoài cùng được tạo thành từ màng dẫn giới hạn, hấp thụ hoặc lực hút hoá học; chiều dày của nó có thể thay đổi từ vài chục Å đến 1000 Å, và phụ thuộc vào nhiệt độ tiếp xúc. Khi nhiệt độ tăng lên, lực hút hấp thụ của màng bị phá huỷ và màng hoá học được tạo thành. Dưới lớp này thường phân bố màng ôxyt kim loại hoặc các hợp chất hoá học khác như sunfua, clorua, photphit...

Lớp dưới cùng là lớp gián đoạn của vật liệu cơ bản. Sự cản trở chuyển động của vật thể thứ ba thay đổi trong khoảng rộng và phụ thuộc vào tính chất của các thành phần được tạo thành trong nó. Đối với polyme vật thể thứ ba được tạo thành từ kết quả giảm chiều dài của chuỗi trong vùng ma sát tương ứng với sự giảm của sức bền trượt và tạo ra sự thoái hoá của polyme. Sức cản trượt lưu biến cần phải nhỏ hơn sức bền trượt của kim loại cơ bản. Đặc trưng cơ bản và quan trọng của vật thể thứ ba là tỷ số $\tau_{\text{vật thể thứ ba}} / \tau_{\text{cơ bản}}$. Khi ma sát trượt thì vật thể thứ ba luôn hình thành và luôn phá huỷ.

1.1.4. Trạng thái ứng suất của lớp bề mặt tiếp xúc ma sát

Lớp bề mặt mỏng của chi tiết ma sát thường tồn tại ứng suất dư, nó được tạo thành trong quá trình công nghệ gia công và ứng suất của lớp bề mặt khi làm việc.

Trạng thái ứng suất dư trong lớp bề mặt sau khi gia công thường xuất hiện khi thay đổi thể tích kim



Hình 1.7. Ứng suất dư trong các lớp bề mặt của thép.
a) Khi tiện, b) Khi bị mòn do môi.

loại do sự biến đổi pha và cấu trúc, do kết quả của tác dụng nhiệt, do quá trình tách phoi. Hình 1.7a cho thấy giá trị của ứng suất dư trên bề mặt chi tiết sau khi tiện.

Trạng thái ứng suất lớp bề mặt khi làm việc được hình thành trong các thể tích kim loại cục bộ ở các lớp bề mặt khi tiếp xúc ma sát. ứng suất này thường tập trung trong thể tích rất nhỏ, gây khuyết tán và hoạt hoá kim loại dẫn tới việc hình thành oxyt kim loại. Hình 1.7b cho thấy giá trị ứng suất trên bề mặt thép khi bị mòn do môi.

Khái niệm chất lượng bề mặt với trạng thái hình học lớp bề mặt, tính chất cơ lý hoá và trạng thái ứng suất trên lớp đó đã cho thấy mối quan hệ qua lại giữa các trạng thái và sự ảnh hưởng lẫn nhau giữa chúng.

1.2. Các thông số đặc trưng của trạng thái hình học bề mặt ma sát

1.2.1. Đường trung bình của profin bề mặt vùng khảo sát

Các thông số đặc trưng của trạng thái hình học bề mặt được xác định trong khoảng khảo sát nhất định của bề mặt ma sát; còn kích thước của nó được xác định theo độ cao của nhấp nhô bề mặt và cấp độ bóng bề mặt và được tiêu chuẩn hoá trong bảng 1.1.

Đường trung bình của khoảng khảo sát M_1M_2 (hình 1.8) là cơ sở để xác định các thông số hình học bề mặt, nó được xác định qua 2 điểm có giá trị tọa độ trung bình là (x', y') và (x'', y'') , trong đó:

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x_1 + x_{n/2}}{2} & y' &= \frac{\sum_{i=1}^{n/2} y_i}{\frac{n}{2}} \\ x'' &= \frac{x_{n/2} + x_n}{2} & y'' &= \frac{\sum_{i=n/2}^n y_i}{\frac{n}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Trong đó:

x_i - khoảng chia đều 2mm trên đường cơ sở song song với profin vùng khảo sát (đường chân nhấp nhô), $(i=1, \dots, n)$.

y_i - giá trị tung độ đo được tại các điểm x_i $(i=1..n)$.

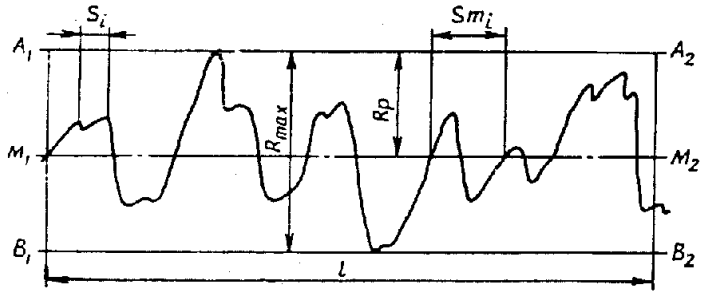
Bảng 1.1. Cấp độ bóng bề mặt và giá trị của khoảng khảo sát.

Cấp độ bóng bề mặt	Phân nhóm	Thông số nhấp nhô bề mặt		Chiều dài tiêu chuẩn L, mm
		Ra, μm	Rz, μm	
1	—	—	320 ÷ 160	8,0
2	—	—	160 ÷ 80	
3	—	—	80 ÷ 40	
4	—	—	40 ÷ 20	2,5
5	—	—	20 ÷ 10	
6	a	2,5 ÷ 2,0	—	8,0
	b	2,0 ÷ 1,6		
	c	1,6 ÷ 1,25		
7	a	1,25 ÷ 1,0	—	
	b	1,0 ÷ 0,8		
	c	0,8 ÷ 0,63		
8	a	0,63 ÷ 0,50	—	
	b	0,50 ÷ 0,40		
	c	0,4 ÷ 0,32		
9	a	0,32 ÷ 0,25	—	0,25
	b	0,25 ÷ 0,20		
	c	0,20 ÷ 0,16		
10	a	0,160 ÷ 0,125	—	0,25
	b	0,125 ÷ 0,100		
	c	0,100 ÷ 0,080		
11	a	0,080 ÷ 0,063	—	
	b	0,063 ÷ 0,050		
	c	0,050 ÷ 0,040		
12	a	0,040 ÷ 0,032	—	
	b	0,032 ÷ 0,025		
	c	0,025 ÷ 0,020		
13	a	—	0,100 ÷ 0,080	0,08
	b		0,080 ÷ 0,063	
	c		0,063 ÷ 0,050	
14	a	—	0,05 ÷ 0,04	
	b		0,032 ÷ 0,04	
	c		0,032 ÷ 0,025	

Đường đỉnh profin A_1A_2 là đường song song với đường trung bình, đi qua đỉnh nhấp nhô cao nhất nằm trong vùng khảo sát l .

Đường chân profin B_1B_2 là đường song song với đường trung bình, đi qua điểm thấp nhất của nhấp nhô bề mặt nằm trong vùng khảo sát l .

Khoảng cách từ đường đỉnh profin đến đường chân profin trong vùng khảo sát được gọi là biên độ lớn nhất R_{max} của nhấp nhô,



Hình 1.8. Thông số cơ bản của trạng thái hình học bề mặt

và khoảng cách từ đỉnh nhấp nhô đến đường trung bình là R_p . Giá trị của chúng được xác định từ 5 khoảng khảo sát bề mặt khác nhau:

$$R_{max} = \frac{1}{5} \sum_1^5 R_{max i} \quad R_p = \frac{1}{5} \sum_1^5 R_{p i} \quad (1.3)$$

1.2.2. Các thông số đặc trưng của trạng thái hình học bề mặt ma sát (hình 1.9 + 1.11).

Độ lệch trung bình của profin hình học bề mặt, R_a (μm):

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (1.4)$$

+ Độ lệch tiêu chuẩn của profin hình học bề mặt, R_q (RMS)

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx} \quad (1.5)$$

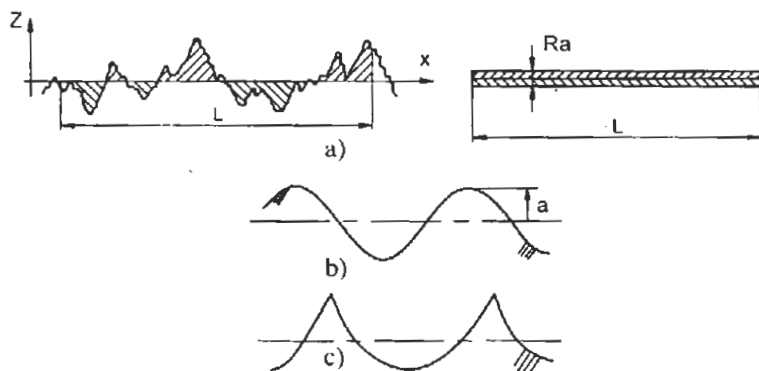
+ Độ sai lệch của nhấp nhô bề mặt theo chiều cao được xác định theo 10 điểm R_z (ISO):

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_1^5 |H_{max i}| + \sum_1^5 |H_{min i}| \right) \quad (1.6)$$

Trong đó:

H_{max} - độ lệch lớn nhất của nhấp nhô bề mặt so với đường kính trung bình.

H_{min} - độ lệch nhỏ nhất của nhấp nhô bề mặt so với đường kính trung bình.



Hình 1.9. Giá trị độ lệch trung bình R_a trên khoảng khảo sát L

Cả hai profile b) và c) có cùng $R_a = 0,64a$.

+ Chiều dài tương đối của nhấp nhô bề mặt trên đường trung bình t_m :

$$t_m = \frac{1}{5} \sum_1^5 t_{mi} \quad (1.7)$$

Trong đó: $t_{mi} = \frac{1}{L} \sum_1^1 \Delta l_{mi}$

Δl_{mi} - chiều dài mặt cắt của nhấp nhô trên đường trung bình.

L - chiều dài khoảng khảo sát.

+ Bán kính cong trung bình của đỉnh nhấp nhô bề mặt r :

$$r = \sqrt{r_n \cdot r_d} \quad (1.8)$$

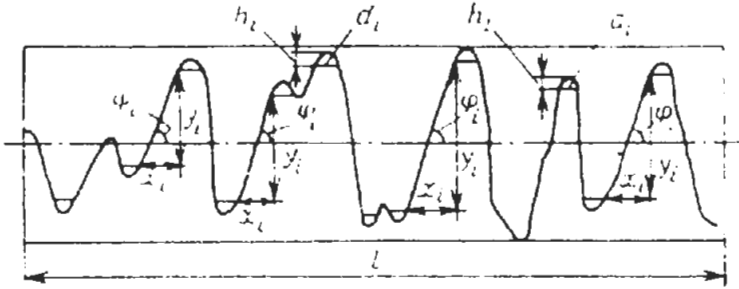
(đưa về mô hình đỉnh nhấp nhô dạng chòm cầu)

Trong đó: r_n - bán kính cong trung bình theo phương ngang profile.

r_d - bán kính cong trung bình theo phương dọc profile.

$$\left. \begin{aligned} \text{và} \quad r_n &= \frac{1}{K} \sum_1^K r_{ni} \\ r_{ni} &= \frac{\gamma_c}{\gamma_n^2} \cdot \frac{d_i^2}{8h_i} \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

Trong đó: γ_c, γ_n - giá trị khuếch đại theo độ cao và phương nằm ngang.



Hình 1.10. Sơ đồ tính bán kính cong và góc của đỉnh nhấp nhô.

Giá trị h_i có thể lấy bằng $0,3R_u$ hay $0,060.R_{max}$.

Giá trị bán kính cong của đỉnh nhấp nhô theo các dạng gia công được cho trong bảng 1.2.

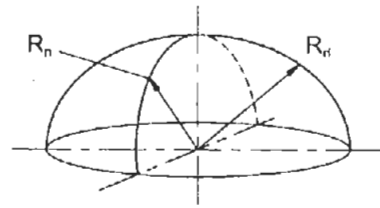
+ Góc nghiêng của nhấp nhô bề mặt so với đường kính trung bình φ_i được xác định theo công thức :

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\gamma_n y_i}{\gamma_c x_i} \quad (1.10)$$

Trong đó:

y_i - khoảng cách từ chân đến đỉnh nhấp nhô sau khi đã loại bỏ giá trị $0,06R_{max}$ ($0,3R_u$) ở hai đầu.

x_i - khoảng cách từ chân đến đỉnh nhấp nhô theo phương ngang sau khi đã loại bỏ giá trị $0,06R_{max}$ ($0,3R_u$).



Hình 1.11. Sơ đồ tính bán kính cong trung bình của đỉnh nhấp nhô.

Bảng 1. 2. Giá trị bán kính cong của đỉnh nhấp nhô bề mặt theo các dạng gia công Phương pháp gia công	Cấp độ bóng bề mặt	Bán kính (μm)	
		Ngang r_n	Đọc r_d
i	6 - 7	4 - 10	100 - 300
Tiện	8 - 9	10 - 40	100 - 300
	5 - 6	20 - 40	400 - 500
	7 - 9	40 - 120	-
Phay	4 - 5	30 - 60	400 - 500
	6 - 7	60 - 80	-
Đánh bóng	8 - 9	300 - 700	300 - 700
	10	500 - 1000	500 - 1000
Mài nghiền	10 - 12	20 - 70	-

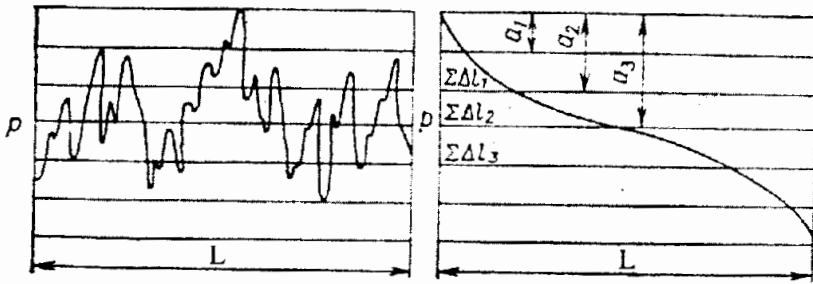
+ Góc nghiêng của nhấp nhô bề mặt so với đường trung bình được tính sau một số hữu hạn n các phép đo:

$$\text{tg}\varphi = \frac{1}{n} \sum_1^n \text{tg}\varphi_i \quad (1.11)$$

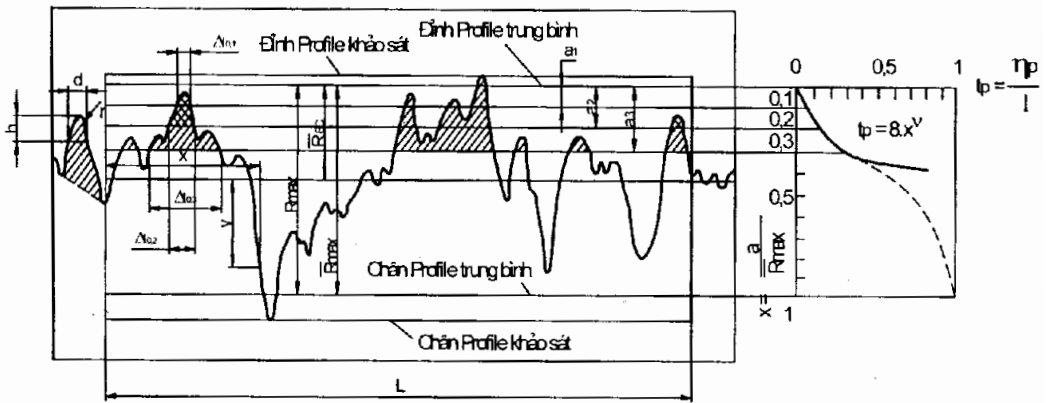
Đường cong phân bố nhấp nhô theo độ cao được thể hiện trên hình 1.12. Để vẽ được đường cong phân bố nhấp nhô, sơ đồ của profin hình học bề mặt được phân chia bởi p đường song cách đều nhau và song song với đường trung bình.

Sau đó xác định tổng các khoảng cách rộng ΔL_i của mặt cắt các nhấp nhô trên các mức p_i .

Đường cong phân bố của nhấp nhô bề mặt theo độ cao được hình thành khi đặt lần lượt các $\sum \Delta L_i$ lên các mức p_i và nối lại với nhau, trong hệ tọa độ 1 trục là L chiều dài khảo sát và R_{max} độ cao lớn nhất của nhấp nhô (hình 1.13).



Hình 1.12. Sơ đồ xác định đường cong phân bố nhấp nhô theo độ cao



Hình 1.13. Các thông số của profin hình học bề mặt ma sát

Để thuận tiện khi khảo sát và tính toán, trên thực tế thường sử dụng đường cong phân bố theo độ cao trong hệ đơn vị tương đối (không thứ nguyên).

Trong trường hợp này tỷ số của tổng khoảng rộng mặt cắt các nhấp nhô ở cùng một mức trên chiều dài của vùng khảo sát L được thể hiện trên trục hoành. Còn tỷ số của độ sâu thâm nhập a_i ở các mức p_i trên R_{max} (hoặc R_p) được thể hiện trên trục tung. Các điểm của đường cong phân bố ở các mức p được xác định theo dạng:

$$t_p = \frac{\sum \Delta L_p}{L} = \frac{A_p}{A_c} = b \cdot \left(\frac{a}{R_{max}}\right)^v = t_m \left(\frac{a}{R_p}\right)^v = bx^v \quad (1.12)$$

Trong đó :

$\sum \Delta L_p$ - chiều dài của mặt cắt profin trong vùng khảo sát.

A_p - diện tích của các nhấp nhô bề mặt ở mức p .

t_m - chiều dài tương đối của profin trên mức trung bình.

b, ν - hệ số và số mũ của đường cong phân bố.

$$b = t_m \left(\frac{R_{\max}}{R_p} \right)^\nu \quad \nu = 2t_m \cdot \frac{R_p}{R_a} - 1 \quad (1.13)$$

Trong trường hợp tiếp xúc của hai bề mặt nhấp nhô thì thông số ν, b được xác định theo công thức :

$$\left. \begin{aligned} \nu &= \nu_1 + \nu_2 \\ b &= K \cdot b_1 \cdot b_2 (R_{\max 1} + R_{\max 2})^{\nu_1 + \nu_2} \cdot \frac{1}{R_{\max 1}^{\nu_1} \cdot R_{\max 2}^{\nu_2}} \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

Trong đó :

$$K = \frac{\Gamma(\nu_1 + 1)\Gamma(\nu_2 + 1)}{\Gamma(\nu_1 + \nu_2 + 1)}$$

Hiện nay để đánh giá các đặc trưng hình học bề mặt trong kỹ thuật ma sát người ta sử dụng thông số tổ hợp của bề mặt hình học Delta được xác định như sau :

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{r \cdot b^{1/\nu}} \quad (1.15)$$

Các thông số đặc trưng hình học bề mặt nhấp nhô của thép, gang với phương pháp gia công chính xác và chạy rà đã được V.S.Kombalov , Kragelsky và E.V.Ryzhov đưa ra trong các bảng 1.3,1.4,1.5 và 1.6.

Bảng 1.3 Giá trị gần đúng các thông số đặc trưng hình học bề mặt khi gia công thép với các phương pháp gia công khác nhau

Phương pháp gia công	Cấp độ bóng bề mặt	R_{max} , μm	r , μm	b	v	Δ
Mài tròn ngoài	7	9,4	8	0,6	2,0	$1,6 \times 10^{-1}$
	8	4,7	12	0,9	1,9	$4,1 \times 10^{-2}$
	9	2,4	20	1,3	1,9	$9,6 \times 10^{-2}$
	10	1,2	30	2,0	1,9	$2,8 \times 10^{-2}$
Mài tròn trong	6	18	5	0,6	2,0	$49,6 \times 10^{-1}$
	7	9,4	8	0,9	1,9	$13,0 \times 10^{-1}$
	8	4,7	13	1,1	1,8	$3,6 \times 10^{-1}$
	9	2,4	18	1,4	1,7	$1,1 \times 10^{-1}$
Mài mặt phẳng	5	37	35	0,6	2,2	$1,24 \times 10^0$
	6	18	100	0,9	1,9	2×10^{-1}
	7	9,4	180	1,0	1,8	6×10^{-2}
	8	4,7	370	1,6	1,8	$1,3 \times 10^{-2}$
	9	2,4	550	2,3	1,6	$2,64 \times 10^{-3}$
Đánh bóng	8	4,7	230	2,0	1,7	$1,4 \times 10^{-2}$
	9	2,4	450	2,5	1,6	$3,0 \times 10^{-3}$
	10	1,2	670	3,5	1,5	$7,8 \times 10^{-4}$
Tiện	5	37	15	1,0	2,1	$2,50 \times 10^0$
	6	18	20	1,4	1,9	$7,9 \times 10^{-1}$
	7	9,4	35	1,8	1,8	$1,9 \times 10^{-1}$
	8	4,7	55	2,0	1,6	$6,3 \times 10^{-2}$
Phay mặt đầu	5	37	420	0,4	2,2	$1,4 \times 10^{-1}$
	6	18	900	0,5	1,6	$3,0 \times 10^{-2}$
	7	8	1300	0,6	1,4	1×10^{-2}
Mài nghiền mặt trụ	10	1,2	30	2,5	1,5	$2,2 \times 10^{-2}$
	11	0,6	40	2,6	1,4	$7,7 \times 10^{-2}$
	12	0,3	55	2,6	1,3	$2,6 \times 10^{-3}$
	13	0,15	75	3,3	1,2	$7,4 \times 10^{-4}$
Mài nghiền mặt phẳng	10	1,2	300	2,4	1,6	$2,34 \times 10^{-3}$
	11	0,6	500	3,0	1,4	$3,5 \times 10^{-4}$
	12	0,3	1000	3,3	1,2	$1,2 \times 10^{-4}$
	13	0,15	3000	4,5	1,1	$1,35 \times 10^{-5}$
Mài khôn	8	4,7	15	0,7	1,8	$0,37 \times 10^{-2}$
	9	2,4	20	1,0	1,7	$1,2 \times 10^{-1}$
	10	1,2	35	1,9	1,6	$2,26 \times 10^{-2}$
	11	0,6	70	2,5	1,6	$4,65 \times 10^{-3}$

Bảng 1.4. Giá trị gần đúng các thông số đặc trưng hình học bề mặt khi gia công các bề mặt trụ trong của chi tiết thép với các phương pháp gia công khác nhau

Phương pháp gia công lần cuối	Cấp độ bóng bề mặt	R_{max} , μm	r , μm	R_a , μm	b	v	Δ
Mài nghiền	10	0,84	30	0,14	2,5	1,5	$1,53 \times 10^{-2}$
		0,66	33	0,11	2,5	1,5	$1,08 \times 10^{-2}$
		0,54	36	0,09	2,4	1,4	$8,2 \times 10^{-3}$
	11	0,43	40	0,071	2,5	1,4	$5,46 \times 10^{-3}$
		0,33	45	0,066	2,5	1,4	$3,83 \times 10^{-3}$
		0,27	50	0,055	2,6	1,4	$2,75 \times 10^{-3}$
	12	0,21	55	0,036	2,6	1,3	$1,87 \times 10^{-2}$
		0,16	62	0,030	2,5	1,4	$1,3 \times 10^{-3}$
		0,13	70	0,022	2,5	1,3	$9,1 \times 10^{-4}$
	13	0,10	80	0,018	3,3	1,2	$5,4 \times 10^{-4}$
		0,08	75	0,014	2,8	1,4	$3,9 \times 10^{-4}$
		0,06	85	0,010	2,9	1,5	$2,9 \times 10^{-4}$
Đánh bóng kim cương	9	1,50	1300	0,25	0,9	1,0	$1,15 \times 10^{-3}$
		1,32	1300	0,22	2,1	1,2	$5,4 \times 10^{-4}$
		1,20	1230	0,20	0,9	1,2	$1,0 \times 10^{-4}$
	10	0,84	2300	0,14	1,0	1,4	$3,6 \times 10^{-4}$
		0,72	2200	0,12	1,0	1,3	$3,3 \times 10^{-4}$
		0,60	2400	0,12	1,1	0,5	$2,34 \times 10^{-4}$
	11	0,32	2400	0,066	1,6	1,5	$1,15 \times 10^{-4}$
		0,24	2600	0,058	2,0	1,0	$1,0 \times 10^{-4}$
		0,39	2800	0,040	2,0	1,2	6×10^{-5}
	12	0,22	3100	0,30	2,5	1,5	$3,9 \times 10^{-5}$
		0,17	3150	0,029	2,0	1,2	$2,9 \times 10^{-5}$
		0,21	3200	0,025	3,5	1,8	$2,4 \times 10^{-5}$

Bảng 1.5. Giá trị gần đúng các thông số đặc trưng hình học bề mặt khi gia công gang đúc với các phương pháp gia công khác nhau

Phương pháp gia công	Cấp độ bóng bề mặt	R_{max} , μm	r , μm	b	v	Δ
Mài tròn ngoài	6	11	50	0,70	1,9	$2,72 \times 10^{-1}$
	7	7,2	85	1,20	1,9	$6,5 \times 10^{-2}$
	8	3,5	150	1,25	1,8	$2,0 \times 10^{-2}$
	9	1,8	190	1,55	1,7	$7,5 \times 10^{-2}$
Mài tròn trong	6	11	12	1,60	2,6	$8,0 \times 10^{-1}$
	7	7,4	16	1,75	2,4	$3,7 \times 10^{-1}$
	8	3,6	25	1,95	2,3	$1,8 \times 10^{-1}$
	9	1,7	45	2,10	2,2	$7,7 \times 10^{-2}$
Phay mặt đầu	5	23	40	0,42	2,0	$8,9 \times 10^{-1}$
	6	11	60	0,70	1,9	$2,3 \times 10^{-1}$
	7	6,9	90	0,75	1,8	$9,5 \times 10^{-2}$
Tiện	4	48	25	1,10	1,9	$1,85 \times 10^{-1}$
	5	21	37	1,20	1,8	$5,4 \times 10^{-1}$
	6	12	60	1,45	1,7	$1,54 \times 10^{-1}$
	7	7,4	130	1,50	1,6	$4,4 \times 10^{-2}$
Phay phẳng	4	29	17	1,40	2,8	$2,54 \times 10^{-0}$
	5	23	20	1,60	2,6	$9,6 \times 10^{-1}$
	6	11	25	1,70	2,4	$3,7 \times 10^{-1}$
	7	7,2	50	2,10	2,1	$1,07 \times 10^{-1}$
Đoa	5	23	12	0,72	2,2	$2,2 \times 10^{-0}$
	6	11	13	1,00	2,2	$8,85 \times 10^{-1}$
	7	6,9	15	1,15	2,1	$4,3 \times 10^{-1}$
	8	3,8	20	1,75	2,0	$1,41 \times 10^{-1}$
Mài nghiền mặt phẳng	10	0,98	15	2,00	1,3	$3,9 \times 10^{-2}$
	11	0,42	20	2,30	1,2	$1,05 \times 10^{-2}$
	12	0,23	40	2,40	1,1	$2,6 \times 10^{-3}$
	13	0,18	55	3,10	1,0	$1,6 \times 10^{-3}$
Bào	4	48	18	0,75	2,2	$3,0 \times 10^{-0}$
	5	22	25	0,90	2,0	$9,3 \times 10^{-1}$
	6	11	100	1,20	1,9	$1,05 \times 10^{-1}$
	7	6,9	150	1,6	1,9	$3,5 \times 10^{-2}$

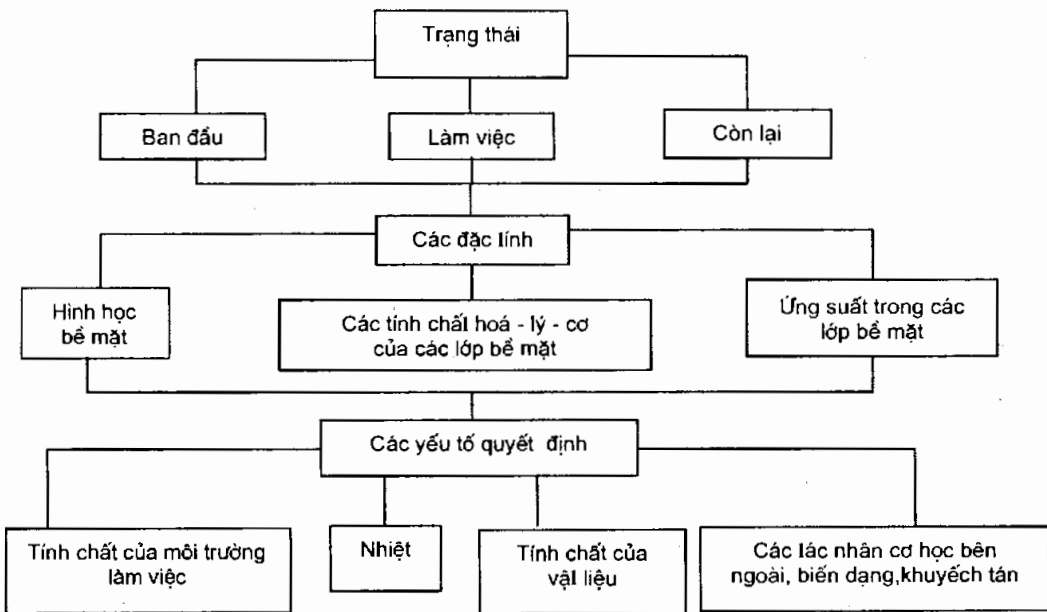
Bảng 1.6. Giá trị gần đúng các thông số đặc trưng hình học với các bề mặt chạy rà khác nhau

Các cặp ma sát	Cấp độ bóng max	R_{max} , μm	R , μm	b	v	R_a , μm	Δ
Bề mặt thép tại vị trí tiếp xúc vòng bít cao su chắn dầu.	9	0,72	180	3,1	3,0	0,13	$2,7 \times 10^{-10}$
Ổ trượt trụ (trục thép 2 X13)	9	0,84	58	1,8	2,0	0,15	$1,1 \times 10^{-2}$
Xéc măng bằng gang	11	0,15	85	1,8	2,3	0,03	$1,4 \times 10^{-3}$
Cần điều chỉnh trong máy tiện 1 D63	11	0,15	100	3,0	1,8	0,03	$1,1 \times 10^{-3}$
Ổ trượt trụ (bạc gồm kim loại có MoS_2)	7	5,40	77	3,5	1,8	0,09	$3,5 \times 10^{-2}$
Đĩa ngoài của ly hợp ma sát máy tiện 1A62	10	0,60	46	1,4	2,1	0,10	$1,1 \times 10^{-2}$
Đĩa trong của ly hợp ma sát máy tiện 1A62	9	1,8	60	2,8	2,2	0,32	$1,9 \times 10^{-2}$
Đường dẫn hướng búa máy	8	3,6	19	1,0	1,2	0,67	$0,2 \times 10^{-1}$
Rãnh vòng trong khối bánh răng	7	7,3	35	1,6	1,4	1,27	$1,5 \times 10^{-1}$
Đĩa và má phanh trong phanh máy bay được làm từ:							
<i>retinax</i>	7	4	30	4,0	2,4	0,70	74×10^{-2}
<i>ФМК - 11</i>	7	6,5	120	3,5	2,5	1,15	$3,3 \times 10^{-2}$
<i>MKB - 50</i>	7	6	15	1,1	2,1	0,91	$3,7 \times 10^{-1}$
<i>УНМХ</i>	8	4	76	1,0	2,1	0,65	$5,3 \times 10^{-2}$
<i>Thép 30ХГСА</i>	7	5	82	1,0	2,2	0,78	$5,5 \times 10^{-2}$
Ổnglót xylanh	9	1,2	1000	-	1,0	0,04	$1,2 \times 10^{-3}$
Xéc măng	10-11	0,48	270	-	0,4	0,02	$1,7 \times 10^{-3}$
Trục khuỷu (cổ trục chính, cổ biên)	9	1,6	500	-	1,2	0,05	$3,1 \times 10^{-3}$
Bạc trục khuỷu	8-9	2,6	300	-	-	0,42	86×10^{-3}
Chốt định vị	11	6,7	300	-	-	0,11	$2,2 \times 10^{-2}$
Bạc lót đầu nhỏ thanh truyền	10	7,0	250	-	-	0,112	$2,8 \times 10^{-2}$
Chốt piston	9	1,1	220	-	-	0,18	$5,0 \times 10^{-3}$
Vòi phun diesel	-	0,6	35	3,8	1,9	0,1	$1,7 \times 10^{-2}$
Bạc lót thanh truyền trong ô tô hiệu Volga M - 21	-	1,3	54	1,2	2,0	0,24	$2,4 \times 10^{-2}$

1.3 Trạng thái bề mặt của cặp ma sát trong quá trình tiếp xúc

1.3.1 Trạng thái bề mặt của cặp ma sát

Đánh giá trạng thái làm việc của bề mặt và các lớp bề mặt của chi tiết máy không thể dựa hoàn toàn vào đặc tính ban đầu của hình học bề mặt cũng như tính năng cơ lý hoá của lớp bề mặt do công nghệ gia công thực hiện. Trong quá trình làm việc tất cả các tính năng đó đều bị thay đổi rõ rệt. Dưới tác động của các yếu tố ma sát ngoài - tải, tốc độ chuyển động, nhiệt độ trong vùng tiếp xúc, môi trường ... trạng thái bề mặt ban đầu (bề mặt công nghệ) của cặp ma sát chuyển sang trạng thái làm việc. Sự thay đổi chất lượng bề mặt đặc biệt là trạng thái của các lớp bề mặt mỏng khi làm việc có thể là thuận nghịch hoặc không thuận nghịch. Do đó trạng thái làm việc của bề mặt ma sát không những được xác định bằng những đặc tính còn lại sau khi bỏ tải mà còn bằng cả những thay đổi diễn ra ngay trong quá trình ma sát. Như vậy lớp bề mặt ma sát thông thường thay đổi theo các trạng thái bề mặt như sau: trạng thái ban đầu, trạng thái làm việc và trạng thái còn lại.



Hình 1.14. Sơ đồ quan hệ giữa các trạng thái, đặc tính và các yếu tố ảnh hưởng

Trạng thái ban đầu của lớp bề mặt ma sát là tập hợp tất cả các trạng thái và tính năng cơ lý hoá của lớp bề mặt mỏng được hình thành trong quá trình chế tạo.

Trạng thái làm việc của lớp bề mặt ma sát được hình thành dưới tác dụng của các thông số ma sát ngoài, khi đó các trạng thái và tính năng ban đầu do quá trình gia công hình thành đã bị biến đổi cơ bản; trạng thái làm việc bao gồm cả các đặc tính chỉ diễn ra trong quá trình ma sát.

Trạng thái còn lại của bề mặt ma sát xuất hiện khi không còn tác dụng của các thông số ma sát ngoài. Khi đó các tính năng của lớp bề mặt mỏng bị thay đổi rõ rệt nhưng trạng thái hình học vẫn giữ nguyên trạng thái hình học làm việc. Đây là điều kiện thuận lợi để nghiên cứu trạng thái hình học bề mặt của cặp ma sát khi làm việc.

Sơ đồ mô tả trạng thái bề mặt ma sát, đặc tính chủ yếu của chất lượng bề mặt và các yếu tố gây ảnh hưởng quan trọng đến sự thay đổi được trình bày trên hình 1.14.

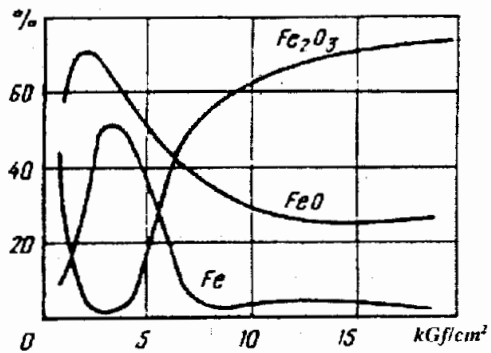
Trong quá trình làm việc và chịu biến dạng, những đặc điểm cấu tạo của các vật đa tinh thể và những hợp kim khác có cấu trúc không thuần nhất không những có ảnh hưởng đến việc xuất hiện các biến dạng siêu vi mô, mà còn có những biến dạng vi mô độc đáo được tạo thành, với độ cao của các nhấp nhô lớn hơn vài cấp so với biến dạng siêu vi mô. Biến dạng của các bề mặt được tạo nên do kết quả hoạt động của các nguồn biến vị bên trong và ngay dưới bề mặt. Nó phụ thuộc rõ rệt vào năng lượng bề mặt, sự tồn tại và thành phần của lớp màng hấp thụ. Màng hấp thụ và kim loại gốc có thể có các thông số màng và năng lượng bề mặt khác nhau do vậy ảnh hưởng đến sự phát triển của biến dạng bề mặt khi biến dạng dẻo.

Trường hợp thứ nhất khi màng mỏng thứ cấp trên bề mặt và kim loại gốc có cấu trúc và thông số mạng tinh thể khác nhau, giữa chúng hình thành một mạng lưới biến vị của những cấu trúc không phù hợp, nó cản trở sự thoát biến vị ra khỏi bề mặt. Điển hình là sự oxy hoá kim loại tạo thành các lớp kết cấu (màng ôxyt) trên bề mặt. Có ba kiểu màng ôxyt: màng ôxyt tự nhiên với chiều dày 15 đến 50 Å, màng ôxyt do tác dụng nhiệt độ lên kim loại là vẩy gỉ sắt, và màng ôxyt xuất

hiện trực tiếp ngay trong quá trình ma sát với chiều dày 1000 Å. Lớp màng mỏng ôxyt tự nhiên xuất hiện trong những điều kiện thông thường và trong điều kiện biến dạng thể tích kim loại không gây ảnh hưởng rõ rệt đến sự hình thành các biến dạng vật lý. Lớp màng ôxyt xuất hiện khi nung nóng (vẩy gỉ sắt) và đặc biệt là lớp màng ôxyt được tạo nên khi ma sát ngoài có ảnh hưởng rõ rệt đến biến dạng của bề mặt.

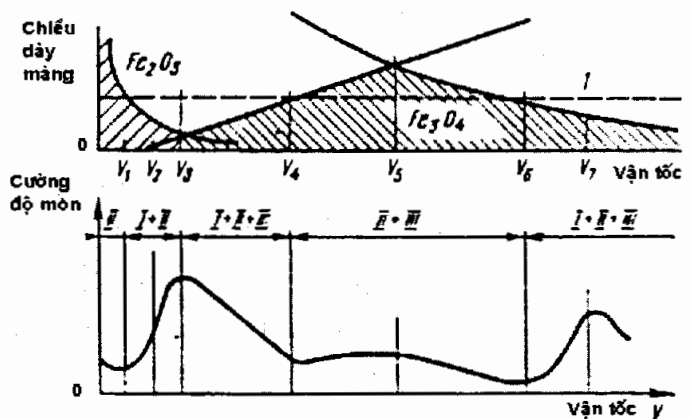
Đối với sắt, những lớp màng có chiều dày 200 – 600 Å kìm hãm mạnh sự phát triển của bề mặt trên tất cả các phân tử cấu trúc của nó.

Khi có lớp màng mỏng ôxyt biến dạng được san phẳng hơn, chiều cao của lớp nhấp nhô thứ cấp nhỏ hơn vài lần so với các nhấp nhô với cùng biến dạng như vậy khi không có lớp màng. Hình 1.15 cho thấy quá trình ôxy hoá bề mặt của thép khi ma sát khô phụ thuộc vào áp lực, khi áp lực từ



Hình 1.15. Thành phần sản phẩm mòn phụ thuộc vào áp lực của thép cac bon trên thép crôm với cùng vận tốc

0 đến 3 kG/cm² sản phẩm mòn là kim loại gốc và FeO tăng, còn sản phẩm mòn là Fe₂O₃ giảm. Khi tiếp tục tăng áp lực thì thành phần kim loại gốc và FeO giảm còn Fe₂O₃ tăng, đến giá trị 20 kG/cm² thì 70% sản phẩm mòn là Fe₂O₃, 25% là FeO và 5% là kim loại gốc.



Hình 1.16. Sự phụ thuộc của chiều dày màng ôxyt, cường độ mòn vào v.

Lớp màng mỏng ôxyt kim loại có tính chống mòn phụ thuộc vào độ bền liên kết giữa chúng với nhau, giữa chúng với kim loại nền cũng như vào ứng suất tác dụng. Các liên kết càng mạnh thì tỷ số thể tích của một đơn vị ôxyt và kim loại cơ bản càng nhỏ, đối với FeO là 1,72; Fe₂O₃ là 2,15, Fe₃O₄ là 2,1.

Hình 1.16 cho thấy mối quan hệ giữa cường độ mòn và chiều dày của các loại màng ôxyt với vận tốc trượt trong cùng một điều kiện thí nghiệm

Trường hợp thứ hai, các môi trường bôi trơn có chứa các chất hoạt tính bề mặt gây ảnh hưởng lớn đến biên dạng và do đó cấu trúc của bề mặt kim loại chịu biến dạng chủ yếu là do sự hấp thụ vật lý gây ra. Khi đó năng lượng tự do của kim loại chịu biến dạng sẽ bị giảm do tác dụng của các chất hoạt tính bề mặt làm hạ thấp hàng rào năng lượng để thoát các biến vị lên bề mặt và làm hoạt hoá các nguồn biến vị ở dưới bề mặt. Điều đó làm giảm giới hạn chảy, giảm bền và làm tròn hóa kim loại. Những biên dạng được tạo thành khi biến dạng trong môi trường chứa các chất hoạt tính bề mặt được đặc trưng bởi sự giảm rõ rệt của trị số nhấp nhô và tăng số lượng với những cấu trúc nhỏ mịn hơn.

Trong những điều kiện gia công chế tạo và làm việc thực tế, trạng thái bề mặt và cấu trúc của các lớp bề mặt là rất phức tạp, do ảnh hưởng của yếu tố thứ ba là cơ học tiếp xúc. Ảnh hưởng của tiếp xúc cơ học thường được đặc trưng bằng biểu đồ ứng suất trong các lớp bề mặt. Một hiệu ứng quan trọng của tác động cơ học đó là tạo thành nhiệt. Trong trường hợp tổng quát, sự hình thành biên dạng và chất lượng bề mặt được xác định bằng tổng của các tác động cơ, nhiệt, hoá, lý trên bề mặt kim loại. Do có sự khác biệt rõ ràng của các tác động ấy, trong quá trình gia công chế tạo và trong quá trình làm việc, trên bề mặt của cặp ma sát xuất hiện hai loại biên dạng khác nhau về nguyên tắc, biên dạng công nghệ và biên dạng sử dụng. Hay nói tổng quát hơn là chất lượng bề mặt công nghệ và chất lượng bề mặt làm việc.

1.3.2. Chất lượng bề mặt công nghệ của các phương pháp công nghệ phổ biến

Trạng thái hình học và các tính năng cơ học của bề mặt được

hình thành thông qua các dạng gia công kim loại như: tiện, bào, chuốt, mài, doa, rà lắp, v.v... đã được nghiên cứu và phổ biến trong các sổ tay về ma sát học. Trong bảng 1.7 trình bày ảnh hưởng của các tính chất cơ học đến sự hình thành chất lượng bề mặt mài rà các vật liệu khác nhau.

Bảng 1.7. Độ nhẵn bề mặt khi mài rà các kim loại với những tính chất cơ học khác nhau

Kim loại	Độ cao của các nhấp nhô vi mô, μm	Độ cứng tế vi, kG/mm^2	Cấp độ nhẵn bề mặt (theo ГОСТ)
Thiếc	4,5	20	7
Đồng	6,6	100	6
Gang	3,8	120	7
Cốt sắt	5,2	130	7
Thép Y8, ủ	4,3	180	7
ЖК 80 - 3,5	3,4	210	8
Đồng АЖМу 9,2	3,2	200	8
Đồng АЖМу 10 - 3,5	2,8	280	8
Gang	2,6	300	8
Thép 45 không tôi	3,0	270	8
ИИХ15 không tôi	3,0	200	8
ОХМА	2,5	320	8
P18 không tôi	2,55	325	8
ЭИ 437	2,55	450	8
Thép 45 tôi	1,9	400	9
P18 tôi	1,5	550	9
Thép Y8 tôi	1,3	395	9
Thép Y8 tôi	0,8	730	10
ИИХ15 tôi	0,6	780	10
Thép Y8 tôi	0,5	800	10 - 11

Thông qua các phương pháp công nghệ khác nhau chi tiết máy được tạo thành hình dạng hình học đã định với các kích thước và độ nháp nhô bề mặt yêu cầu. Trong quá trình gia công cơ khí, dưới tác dụng của lực gia công lớn kim loại trên các lớp bề mặt bị biến dạng, thay đổi độ lớn, xuất hiện nhiệt độ lớn, và thay đổi cấu trúc. Trong bảng 1.8 trình bày một số đặc tính của chất lượng bề mặt với các phương pháp công nghệ thông dụng.

Bảng 1.8. Các dạng gia công và tính chất của các lớp bề mặt

Dạng gia công	Mức độ biến cứng		Độ sâu biến cứng, μm	
	$\frac{H_{\alpha \text{ bề mặt}}}{H_{\alpha \text{ bên trong}}} \cdot 100\%$			
	Trung bình	Lớn nhất	Trung bình	Lớn nhất
Tiện thường và nhanh	120 - 150	200	30 - 50	200
Tiện tinh	140 - 180	220	20 - 60	-
Phay mặt đầu	140 - 160	200	40 - 100	200
Phay trụ	120 - 140	180	40 - 80	110
Khoan và khoét	160 - 170	-	181 - 200	250
Đoa	-	-	-	300
Chuốt	150 - 200	-	20 - 75	-
Phay răng và xọc răng	160 - 200	-	dưới 100	-
Cà răng	-	-	-	-
Mài tròn :				
Thép cacbon không tôi	140 - 160	200	30 - 60	-
Thép ít cacbon	160 - 200	250	30 - 60	-
Thép tôi	125 - 130	-	20 - 40	-
Mài mặt phẳng	150	-	16 - 35	-
Rà bằng bột rà GOH	112 - 117	-	3 - 7	-

Ngoài các biện pháp công nghệ cơ học, còn sử dụng các phương pháp gia công điện hoá, hoá cơ và điện để gia công chi tiết hay bề mặt

chi tiết máy như tia lửa điện, cắt dây EDM, mạ điện, mạ xoa, thấm các nguyên tố hiếm, v...v. Trong các phương pháp gia công trên ngoài việc đạt được mục đích chính là có được hình dáng, biên dạng và kích thước của bề mặt hay chi tiết máy đã định, còn làm cho cấu trúc và tính năng cơ lý hoá của lớp bề mặt thay đổi rất nhiều. Hiện nay đây là hướng phát triển rất mạnh trong ngành chế tạo máy mà điển hình là quá trình tạo mẫu nhanh (rapid prototyping). Dưới đây là đặc tính của lớp bề mặt chi tiết với các phương pháp công nghệ làm bền khác nhau (bảng 1.9).

Bảng 1.9. Các phương pháp công nghệ làm bền và độ cứng bề mặt

Phương pháp làm bền	Độ cứng, kG/mm ²
Làm cứng nguội bề mặt	300 - 390
Nhiệt luyện:	
<i>Tôi có ram</i>	650 - 700
<i>Tôi bằng dòng cao tần</i>	740 - 760
<i>Tôi bằng bức xạ điện từ</i>	740 - 760
Gia công nhiệt hoá :	
<i>Xémentit hoá</i>	570 - 780
<i>Thấm nitơ</i>	1100 - 1200
<i>Thấm crôm bằng nhiệt khuếch tán</i>	1500 - 1600
<i>Thấm bo</i>	2200
<i>Thấm vanadi</i>	1800
<i>Thấm niôbi</i>	2000
Mạ điện phân:	
<i>Mạ crôm</i>	900 - 1200
<i>Mạ crôm và cacbit hoá</i>	1800
<i>Mạ kẽm</i>	600 - 1100
<i>Mạ kẽm bằng phương pháp hoá học</i>	900 - 950
<i>Mạ phủ mangan</i>	980 - 1100
Khuyếch tán ma sát	1100 - 1300
Tia lửa điện	650

Một trong những đặc tính quan trọng nhất của chất lượng bề mặt công nghệ đó là giá trị ứng suất dư xuất hiện sau quá trình công nghệ gia công chi tiết máy. Trên bảng 1.10 trình bày số liệu về giá trị và dấu của ứng suất dư với các biện pháp công nghệ khác nhau.

Bảng 1.10. Ứng suất dư trong lớp bề mặt với các phương pháp công nghệ khác nhau

Dạng gia công	Vật liệu gia công	Ứng suất dư, kG/mm ²	Dấu của ứng suất dư	Độ sâu phân bố ứng suất dư, mm
Tôi	Thép cacbon	40 - 75	-	-
Lăn ép bề mặt bằng con lăn	Thép	70 - 80	-	-
Phun bi		100 - 120	-	-
Thấm nitơ	Thép ЭИ 275	75 - 84	-	-
	Thép 38 - XMIOA	120 - 130	-	-
Mạ crôm	Vật liệu mạ	40	(-)	-
Mạ niken	nt	45	(-)	-
Phủ bằng đồng		20	(-)	-
Mài tròn	Thép 20	18	(-)	0,25
	Thép ít cacbon	35	(-)	0,35
Mài phẳng	Thép không gỉ			
	Thép 45	40	(-)	0,35
	Thép 20	16 - 28	(-)	-
Tiện	Thép	88	-	-
Phay mặt đầu		140 - 150	-	-

Tiếp bảng 1.10

Dạng gia công	Vật liệu gia công	Ứng suất dư, kG/mm ²	Dấu của ứng suất dư	Độ sâu phân bố ứng suất dư, mm
Cắt nhanh với góc âm lớn	Thép 18XHMA	90 - 100	(+)	-
Phay mặt đầu với tốc độ cắt gọt 210 m/ph	Thép 45	100 - 110	(-)	-
Phay mặt đầu với tốc độ cắt gọt 610 m/ph	Thép 45	50 - 60	(+)	-
Mài tròn ngoài	Thép	40 - 100	-	0,025 ÷ 0,03
Tiện	Thép tôi	30 - 40	(+)	-
Tiện	Thép 40	40 - 60	(-)	0,006 ÷ 0,15
Mài	Thép thông dụng	40 - 100	(+)hay(-)	0,005 - 0,008
Mài	Thép ủ	60 - 80	-	-
Tiện bằng dao cùn	Thép	100	-	-
Tiện và phay với tốc độ cắt từ 11 - 16 đến 210 m/ph	Thép 45	60 - 95	(-)	-
(+) ứng suất nén (-) ứng suất kéo				

Các biện pháp công nghệ cải thiện trạng thái hình học bề mặt và tăng bền lớp bề mặt chỉ có thể đạt được hiệu quả cao nếu chúng tạo ra bề mặt ma sát có chất lượng phù hợp và đáp ứng với các thông số cơ học p, v và nhiệt độ cũng như thành phần của môi trường làm việc.

1.3.3 Chất lượng bề mặt làm việc của cặp ma sát

Biên dạng làm việc của các chi tiết máy được hình thành do tác dụng của ba yếu tố sau:

- Tải cơ học lặp đi lặp lại các giá trị, tính chất của ứng suất và biến dạng làm việc trên những đoạn tiếp xúc trực tiếp và ở trong vùng chịu ảnh hưởng.

- Tác dụng hoá lý của môi trường làm việc, biểu hiện bởi sự có mặt của màng ôxyt của các cấu trúc thứ cấp với những thành phần khác nhau và các lớp bôi trơn bị hấp thụ.

- Trạng thái cấu trúc lớp bề mặt.

Chất lượng bề mặt công nghệ có vai trò quan trọng trong quá trình chạy rà của cặp ma sát hoặc trong giai đoạn làm việc đầu tiên. Sau giai đoạn chạy rà cặp ma sát chuyển sang giai đoạn ổn định. Một đặc trưng quan trọng của quá trình ma sát là luôn luôn gắn liền với quá trình phân tán và mòn, có ảnh hưởng trực tiếp đến việc hình thành biên dạng làm việc. Biên dạng làm việc của cặp ma sát thông thường được chia làm hai nhóm chính: biên dạng bình thường và không cho phép. Trong đó việc nghiên cứu biên dạng không cho phép không có ý nghĩa thực tế. Trạng thái làm việc bình thường của bề mặt chi tiết máy có liên quan tới: quá trình tạo dải trong các lớp bề mặt mỏng của kim loại, quá trình hoạt hoá của nó, quá trình hình thành các cấu trúc thứ cấp cùng với quá trình phá hoại và phục hồi cấu trúc đó, mà điển hình là chế độ mòn ôxy hoá. Trong trường hợp ma sát có bôi trơn, tùy thuộc vào thành phần của các chất bôi trơn và đặc biệt là của các chất phụ gia, các lớp màng cấu trúc thứ cấp sẽ là kết quả tương tác phức tạp của ôxy không khí, của các thành phần hoạt tính của chất bôi trơn và của các pha kim loại. Trong điều kiện bôi trơn tới hạn trên các bề mặt kim loại sẽ có một lớp bôi trơn đặc biệt có tính chất tựa đàn hồi được tạo thành. Lớp này được hình thành do tác dụng của điện trường của bề mặt kim loại.

Đối với các chi tiết máy chịu tải nặng, trên bề mặt được bổ sung các cấu trúc bảo vệ sơ cấp bằng phương pháp làm bão hoà trên bề mặt kim loại các nguyên tố lưu huỳnh, photpho, nitơ, ôxy, cacbon, bo, crôm và các nguyên tố quý hiếm khác. Những cấu trúc này ít bị biến

đôi khi ma sát. Trong mọi điều kiện ma sát ngoài bình thường luôn tồn tại cấu trúc bảo vệ bề mặt, với tính chất chung là có khả năng chống lại tải trọng pháp tuyến lớn, nhưng lại dễ trượt dưới tác dụng của lực tiếp tuyến. Quá trình ma sát mòn bình thường luôn có sự cân bằng động của các quá trình hình thành các cấu trúc thứ cấp với sự biến đổi và sự phá huỷ các cấu trúc đó. Có hai quá trình khác nhau hoàn toàn là phá hoại và phục hồi những cấu trúc thứ cấp. Thứ nhất là hình thành lớp màng bề mặt mỏng chuyển vị dẻo (vô định hình) mà vẫn bảo toàn các tiêu chuẩn trạng thái kim loại. Thứ hai là sự hình thành lớp màng bề mặt giòn, thường là rất cứng và bị phá huỷ do các lớp này có tính chất hoàn toàn khác với kim loại gốc.

Trong trường hợp bề mặt ma sát làm việc không có chất bôi trơn sẽ diễn ra quá trình hình thành màng ôxyt rất mạnh là các ôxyt bão hoà ôxy ở mức giới hạn, tức là các hợp chất hoá học. Chất lượng bề mặt ma sát khi mòn ôxy hoá có hai dạng biến thể cơ bản.

Dạng thứ nhất : trong quá trình ma sát lớp màng cấu trúc thứ cấp động, dịch chuyển trên bề mặt ma sát và điền đầy tất cả những chỗ lõm và nhấp nhô, tạo thành bề mặt nhẵn bóng đạt cấp 11 – 14, có độ cứng lớn hơn kim loại gốc. Các loại thép được nhiệt luyện và gang làm việc trong điều kiện ma sát bình thường có chất lượng bề mặt ma sát thuộc dạng này.

Cơ chế hình thành cấu trúc thứ cấp dạng thứ nhất như sau : khi ma sát, các lớp bề mặt mỏng của thể tích bề mặt bị biến dạng dẻo lặp đi lặp lại làm tăng mật độ lỗ trống và các nguyên tử bị biến vị tăng lên rất đột ngột, làm phát triển các hiện tượng khuếch tán. Những thể tích bị hoạt hoá của các lớp bề mặt, khi tương tác với oxy không khí, sẽ tạo nên các dung dịch rắn và các cùn tinh có mức độ bão hoà khác nhau cùng với sự dịch chuyển liên tục của lớp màng rất mỏng này trên bề mặt tiếp xúc ma sát và sự phá huỷ sau đó của chúng. Lớp màng mỏng này không có giới hạn chuyển tiếp rõ ràng từ các cấu trúc thứ cấp sang cấu trúc của kim loại gốc.

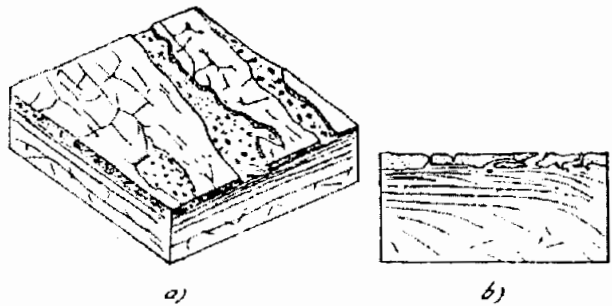
Dạng thứ hai là quá trình hình thành những lớp màng cấu trúc thứ cấp mỏng, cứng và giòn. Lớp màng này có độ nhẵn tương đối cao, và có độ cứng lớn hơn rất nhiều so với kim loại gốc. Cấu trúc màng mỏng thứ cấp này chủ yếu hình thành trên các hợp kim có gốc kim

loại màu và trên các loại thép đã được nhiệt luyện tới độ cứng cao. Đặc biệt cấu trúc này đặc trưng cho điều kiện ma sát lăn.

Cơ chế hình thành và phá hoại bề mặt ma sát có cấu trúc dạng thứ hai gắn liền với sự tăng độ giòn của chúng, thường có liên kết không bền với kim loại gốc, giữa chúng có sự phân biệt rõ ràng, không có cấu trúc chuyển tiếp trung gian. Thông thường các lớp màng có ứng suất dư lớn, xuất hiện do sự thay đổi thể tích riêng khi tạo thành các lớp này.

Khi tạo thành hợp chất hoá học với ôxy có thể chia tất cả các kim loại và hợp kim thành hai nhóm: nhóm thứ nhất các ôxyt kim loại, tăng thể tích đến 5%, nhóm thứ hai các ôxyt kim loại giảm thể tích. Các ứng suất nén sẽ xuất hiện khi hình thành nhóm ôxyt thứ nhất, mà tính chống mòn và độ bền của nó cao hơn nhóm thứ hai.

Do liên kết không bền với kim loại gốc và giòn, dưới tác động lặp đi lặp lại của tải pháp tuyến và tiếp tuyến ở lớp màng mỏng trên bề mặt sẽ xuất hiện các vết nứt tế vi và sau đó bị bong tách khỏi bề mặt



Hình 1.17. Sơ đồ hình thành và phá huỷ các cấu trúc giòn thứ cấp khi bị ma sát ôxy hoá.

a) trên bề mặt, b) trong mặt cắt ngang

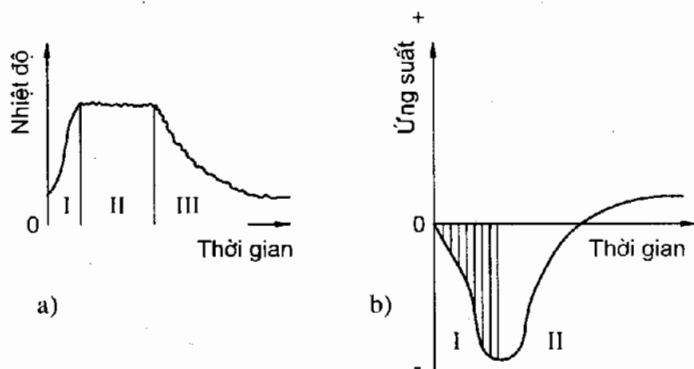
ma sát. bề mặt bị bong tách này rất gồ ghề, đặc biệt dưới tác động của tải và bề mặt đối diện, dần dần hình thành những lớp màng mới. Sơ đồ hình thành và phá huỷ các cấu trúc giòn này được trình bày trên hình 1.17.

1.3.4. Chất lượng bề mặt còn lại của bề mặt tiếp xúc ma sát sau khi bỏ tải

Khi chuyển từ trạng thái làm việc sang trạng thái còn lại, các đặc tính về trạng thái hình học bề mặt ma sát gần như không thay đổi. Nhưng tính năng cơ lý hoá của lớp bề mặt mỏng tham gia tiếp xúc ma

sắt bị thay đổi rõ rệt. Nguyên nhân trực tiếp đó là việc giảm áp lực bề mặt, không còn sự chuyển động tương đối giữa các nhấp nhô bề mặt của hai bề mặt ma sát, dẫn đến việc giảm nhiệt độ và quá trình ma sát oxy hoá sẽ ngừng lại. Các sản phẩm của ma sát oxy hoá sẽ thay đổi thành phần cũng như cấu trúc trên lớp bề mặt. Các kết quả đo nhiệt độ xuất hiện trên bề mặt ma sát (được trình bày trên hình 1.18a) gồm có 3 giai đoạn phân biệt. Khi bắt đầu làm việc, nhiệt độ bề mặt ma sát tăng dần cho tới giá trị ứng với điều kiện của tải. Sau đó là thời kỳ ổn định với sự cân bằng động của các quá trình cơ hoá lý diễn ra trên bề mặt tiếp xúc ma sát. Sau khi bỏ tải, các lớp bề mặt ma sát hạ nhiệt độ dần cho tới nhiệt độ môi trường.

Về mặt vi mô, các đỉnh nhấp nhô bề mặt khi tham gia vào tiếp xúc ma sát trong điều kiện tải trọng cao, thời gian ngắn từ 10^{-7} đến 10^{-8} s sẽ tạo thành các cấu trúc ma sát plasma kèm theo sự



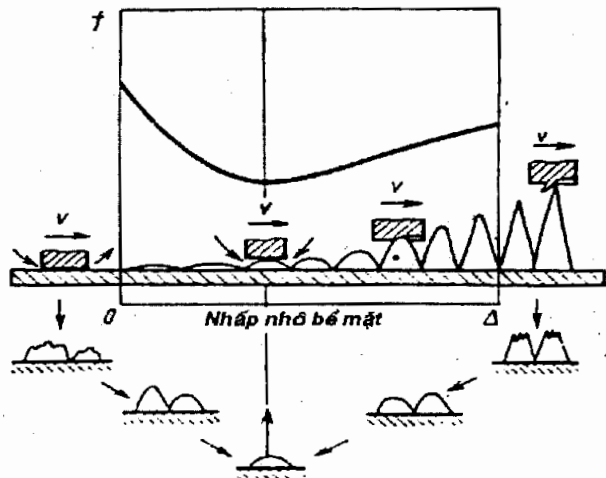
Hình 1.18. Đồ thị biến thiên nhiệt độ bề mặt và ứng suất khi ma sát ngoài

I – Bắt đầu làm việc; II – Chế độ ổn định ; III – Sau khi bỏ tải

phát xạ điện tử. Trong điều kiện như vậy đỉnh nhấp nhô bị nung nóng tức thời tới nhiệt độ nóng chảy, sau đó được làm nguội cực nhanh do truyền nhiệt xuống khối kim loại gốc dưới nó, sẽ tạo thành cấu trúc như khi tôi, có độ cứng cao và giòn dễ dàng bị bẻ gãy và làm nảy sinh các ứng suất dư vi mô. Về mặt vĩ mô, do được truyền nhiệt từ các đỉnh nhấp nhô trong quá trình ma sát, toàn bộ lớp bề mặt sẽ dẫn nở. Khi đó sẽ hình thành ứng suất nén tức thời, phụ thuộc vào nhiệt độ bề mặt ma sát có thể dẫn tới việc nén dẻo kim loại trong lớp bề mặt. Mặt khác, khi bỏ tải và nguội đi, trong lớp bề mặt tiếp xúc ma sát nảy sinh các ứng suất kéo dư, chúng cân bằng với các ứng suất nảy sinh trong phần còn lại của thiết diện kim loại. ứng suất này thường xuất hiện trong

các kim loại tinh và hợp kim tinh (trong chúng không có sự thay đổi về pha cũng như về cấu trúc). Hình 1.18b cho thấy giá trị ứng suất trong các lớp bề mặt ma sát khi làm việc và khi bỏ tải.

Trong trường hợp ma sát của các kim loại và hợp kim có cấu trúc giả bền, ứng suất phát sinh tại các lớp bề mặt liên quan không những đến các ứng suất có nguồn gốc nhiệt thuần túy mà còn liên quan đến các ứng suất thể tích (cấu trúc) do sự thay đổi pha tạo nên. Trong điều kiện ma sát ngoài bình thường, quá trình biến dạng đàn hồi tại lớp bề mặt tiếp xúc ma sát sẽ được tiến triển một cách tự phát trong quá trình chạy rà. Khi đó trạng thái hình học bề mặt sẽ được chuyển tiếp đến trạng thái tối ưu phù hợp với điều kiện của tải cơ học, trong điều kiện như vậy hệ số ma sát sẽ là nhỏ nhất và ổn định. Hình 1.19 trình bày quá trình hình thành nhấp nhô bề mặt tối ưu khi ma sát.



Hình 1.19. Quá trình hình thành nhấp nhô bề mặt tối ưu với sự san phẳng và hình thành các nhấp nhô mới.

1.3.5. Nâng cao chất lượng bề mặt ma sát ở trạng thái ban đầu và trạng thái làm việc

Chất lượng bề mặt ma sát có liên quan chặt chẽ đến trạng thái hình học bề mặt, cơ học tiếp xúc, đặc điểm cấu trúc bên trong và điều kiện môi trường. Để nâng cao chất lượng bề mặt công nghệ cần phải thực hiện các yêu cầu sau đây khi thiết kế và chế tạo các chi tiết máy chịu ma sát:

- Lựa chọn phương pháp tạo phôi, các phương pháp gia công cơ, phương pháp nhiệt luyện, phương pháp gia công lần cuối, cũng như các phương pháp nâng cao chất lượng bề mặt tiên tiến như thấm N, S, Va ở nhiệt độ thấp... phù hợp với hình dạng và kích thước cũng như yêu cầu hình học bề mặt. Điều đó tạo ra biểu đồ ứng suất khi gia công chế tạo và ứng suất dư sau gia công thuận lợi cho quá trình tạo ra bề mặt ma sát có sự tăng bền đồng đều ở các lớp bề mặt. Trạng thái hình học bề mặt sau gia công phải gắn với trạng thái tối ưu khi đặt tải làm việc, nhằm giảm được thời gian chạy rà.

- Môi trường gia công chế tạo phải có khả năng làm giảm năng lượng bề mặt khi gia công và sau khi gia công, đồng thời tạo điều kiện hoá dẻo và đưa các biến dạng vào những lớp bề mặt mỏng. Điều này đặc biệt quan trọng khi sử dụng các phương pháp công nghệ gia công điện hoá, điện cơ và điện v...v.

Để nâng cao chất lượng bề mặt ma sát ở trạng thái làm việc thì khi thiết kế cũng như khi sử dụng cần đáp ứng những vấn đề sau:

- Biểu đồ ứng suất khi làm việc của lớp bề mặt phải phù hợp với việc giảm tập trung tải trọng ngoài ở mức cao nhất, tạo điều kiện cho việc hình thành các dải đều và các lớp màng oxyt sao cho tốc độ ôxyt hoá lớn hơn tốc độ phá huỷ màng.

- Điều kiện làm việc của cặp ma sát, trong mọi trường hợp cần phải đảm bảo ở chế độ ma sát bình thường, thông thường đó là chế độ mòn ôxy hoá.

- Môi trường làm việc của cặp ma sát phải đảm bảo phát sinh màng bảo vệ thứ cấp và cục bộ hoá biến dạng dẻo trong lớp bề mặt.

Trong mọi trường hợp, việc thu được biên dạng làm việc có lợi nhất đều có liên quan đến biên dạng công nghệ ban đầu vì vậy cần phải sử dụng các phương pháp gia công cơ hiện đại, có độ chính xác hình học cao để tạo hình dạng chi tiết, đặc biệt là các biện pháp công nghệ gia công tinh lần cuối không hạt mài.

Trong quá trình ma sát không bình thường thì quá trình phá hoại màng cấu trúc bảo vệ thứ cấp mạnh hơn quá trình tạo thành và hồi phục chúng. Hiện tượng tróc loại I và loại II xuất hiện, nó liên quan tới hiện tượng quá tải trong vùng tiếp xúc thực và quá nhiệt trên lớp bề

mặt mỏng do vận tốc lớn cũng như khi màng bôi trơn bị gián đoạn, mất cân bằng nhiệt, hoặc môi trường xung quanh có hoạt tính cao.

Đối với bề mặt tiếp xúc ma sát không được bảo vệ nghiêm bản cũng tạo ra điều kiện ma sát không bình thường, hoặc khi quá tải trong điều kiện ma sát lăn sẽ gây nên hiện tượng mòn mỏi rồi hình thành các vết nứt và bong tróc các lớp kim loại, hình thành các vết lõm.

1.4. Tiếp xúc ma sát của các bề mặt thực

1.4.1. Tương tác của nhấp nhô bề mặt trong tiếp xúc ma sát

Hai bề mặt nhấp nhô tiếp xúc với nhau dưới tác dụng của tải pháp tuyến, khi đó nhấp nhô của các bề mặt đối tiếp có tổng độ cao lớn nhất sẽ tham gia vào tiếp xúc đầu tiên. Khi tải pháp tuyến tăng lên, các cặp đỉnh nhấp nhô đối ứng có tổng độ cao nhỏ hơn sẽ dần dần tham gia vào tiếp xúc. Trong tiếp xúc thứ nhất, bề mặt của các đỉnh nhấp nhô bị biến dạng, biến dạng này là biến dạng đàn hồi. Khi tải vượt quá giới hạn cho phép, tất yếu biến dạng chuyển sang biến dạng dẻo hay đúng hơn là đàn dẻo, do vật liệu nền có khuynh hướng làm biến dạng dẻo tại các đỉnh tiếp xúc và chuyển dời về biến dạng đàn hồi.

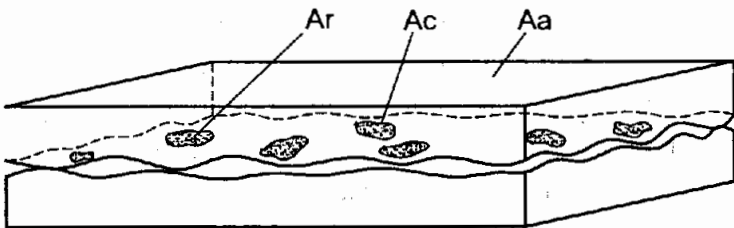
Tải trọng tăng lên làm tăng biến dạng đàn hồi của bề mặt nhấp nhô có sóng. Những biến dạng đàn hồi của bề mặt có sóng dẫn đến sự tăng của diện tích tiếp xúc và đưa đến tăng số lượng của đỉnh nhấp nhô tham gia chịu tải. Do độ cao của các đỉnh nhấp nhô không như nhau, tại các thời điểm khác nhau, biến dạng trên cùng một đỉnh hay trên bề mặt sẽ là khác nhau. Cặp đỉnh nhấp nhô cao nhất trong tiếp xúc sẽ bị biến dạng nhiều nhất, ngược lại các cặp đỉnh nhấp nhô có độ cao nhỏ hơn giá trị trung bình, thường không tham gia vào tiếp xúc ngay cả khi tải pháp tuyến lớn. Khi bề mặt vật thể tiếp xúc có độ cứng khác nhau, đỉnh nhấp nhô của bề mặt cứng hơn sẽ thâm nhập vào bề mặt mềm hơn. Các đỉnh trên bề mặt mềm sẽ bị đè bẹp và thay đổi hình dạng. Khi đó đặc tính của tiếp xúc sẽ chịu ảnh hưởng của sai số hình dạng vật thể cứng hơn và đặc tính cơ của vật thể mềm hơn. Đặc tính tiếp xúc trong lần đầu và những lần kế tiếp chịu tải của bề mặt là khác nhau. Ở lần đặt tải đầu tiên biến dạng dẻo chiếm ưu thế trên bề mặt kim loại có độ nhấp nhô không quá nhỏ ($R_a > 0,16$). Ở các chu kỳ đặt

tải kế tiếp nếu không có sự thay đổi vị trí của bề mặt đối tiếp thì sẽ đưa đến tiếp xúc đàn hồi hoàn toàn. Nếu một bề mặt bị dịch chuyển so với bề mặt đối tiếp thì đó là cặp tiếp xúc mới, có đỉnh nhấp nhô chưa biến dạng tham gia vào tiếp xúc và quá trình biến dạng tại điểm tiếp xúc sẽ là dẻo hoàn toàn.

Nếu bề mặt tiếp xúc trượt tương đối trên bề mặt khác trong quá trình chạy rà, đặc trưng hình học của chúng sẽ bị thay đổi, các nhấp nhô bề mặt biến đổi và đưa đến giá trị ổn định, đây chính là đặc trưng của ma sát trong chạy rà. Trong quá trình chạy rà, tính chất cơ lý của lớp bề mặt cũng thay đổi do biến dạng dẻo chiếm ưu thế trong tiếp xúc. Chính vì vậy đặc trưng hình học của bề mặt công nghệ và tính chất của bề mặt kim loại nên sẽ xác định đặc tính của tiếp xúc ma sát chỉ trong quá trình chạy rà ban đầu. Khi quá trình chạy rà chuyển sang giai đoạn ổn định, trạng thái hình học bề mặt sẽ được tái tạo lặp đi lặp lại, tính chất của lớp bề mặt có giá trị không thay đổi, ở các đỉnh nhấp nhô của bề mặt thực biến dạng đàn hồi chiếm ưu thế.

1.4.2. Diện tích tiếp xúc ma sát của bề mặt thực

Đặc điểm nổi bật của quá trình ma sát ngoài là sự rời rạc của các điểm tiếp xúc thực giữa hai bề mặt. Khi tải thay đổi, các thông số tiếp xúc ma sát thay đổi trong phạm vi rộng. Đặc điểm rời rạc của ma sát ngoài được thể hiện ở ba loại diện tích tiếp xúc: diện tích tiếp xúc danh nghĩa A_a , diện tích tiếp xúc vòng A_c , diện tích tiếp xúc thực A_r . Hình 1.20 trình bày ba loại diện tích trong tiếp xúc ma sát.



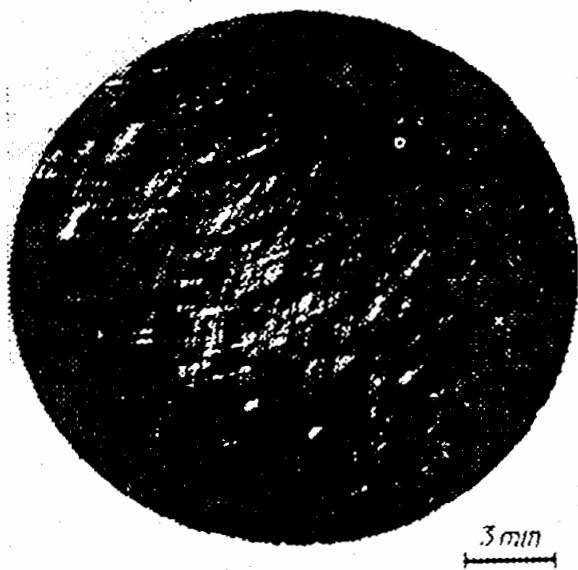
Hình 1.20. Các loại diện tích tiếp xúc

A_a - diện tích tiếp xúc danh nghĩa, A_c - diện tích tiếp xúc vòng,
 A_r - diện tích tiếp xúc thực.

Diện tích tiếp xúc danh nghĩa A_a là tổng diện tích hình học của các tiếp xúc ma sát thực tế có thể xảy ra, nó phụ thuộc vào hình dạng

và kích thước của vật thể tiếp xúc ma sát. Trong tiếp xúc của bề mặt chi tiết máy, diện tích tiếp xúc danh nghĩa thường bị giảm đáng kể do ảnh hưởng của sóng bề mặt và sai số hình dạng. Sóng của bề mặt hình thành các nhóm vết tiếp xúc rời rạc ở các đỉnh, tổng của các diện tích tiếp xúc này tạo thành diện tích tiếp xúc vòng. Diện tích tiếp xúc vòng có thể xác định theo diện tích của bề mặt mà sóng tiếp xúc. Các tiếp xúc này bị gián đoạn rõ rệt bởi các nhấp nhô bề mặt. Do có sự khác biệt giữa nhấp nhô và sóng bề mặt về mức độ đơn vị đo nên đường bao của diện tích tiếp xúc vòng có thể được nhận dạng trên cơ sở các định nghĩa tiếp theo. Diện tích tiếp xúc vòng thường tạo thành ở trong phần diện tích tiếp xúc của bề mặt thực, trong đó khoảng cách giữa các vết tiếp xúc không vượt quá chiều dài khảo sát L được tiêu chuẩn hóa cho việc đo nhấp nhô bề mặt.

Giữa một bề mặt đối tiếp có sóng và bề mặt kia tương đối phẳng, diện tích tiếp xúc vòng sẽ là đặc trưng cho diện tích ma sát, nó diễn ra trong quá trình mòn bề mặt và là kết quả của tương tác giữa các bề mặt thực. Khi sử dụng phương pháp đo gân đúng (là phương pháp đo vết màu tiếp xúc), kết quả thu được chính là diện tích tiếp xúc vòng.



Hình 1.21. Diện tích tiếp xúc giữa hai nền thép

Tóm lại diện tích tiếp xúc vòng Ac là diện tích được hình thành do biến dạng của các thể tích bề mặt cục bộ của vật thể trong tiếp xúc ma sát mà nguyên nhân chủ yếu là do sóng bề mặt. Diện tích tiếp xúc vòng thường bằng từ 5 đến 15% diện tích tiếp xúc danh nghĩa, trong trường hợp diện tích tiếp xúc danh nghĩa nhỏ, bỏ qua sóng thì có thể

coi $A_c = A_a$.

Áp suất vòng là tỷ số của tải trên diện tích tiếp xúc vòng $P_c = N/A_c$, áp suất vòng thường lớn gấp nhiều lần áp suất danh nghĩa. Hình 1.21 là ảnh của tiếp xúc bề mặt của hai nền thép trên đó có thể quan sát được diện tích tiếp xúc vòng và diện tích tiếp xúc thực.

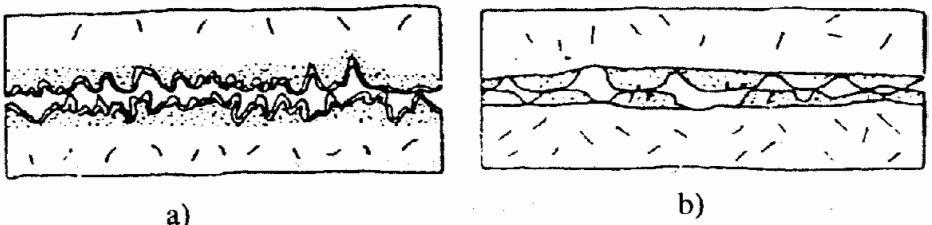
Diện tích tiếp xúc thực là tổng diện tích tiếp xúc thực tế tế vi của bề mặt vật thể tiếp xúc ma sát, nó được tạo thành từ các đỉnh nhấp nhô tiếp xúc rời rạc. Diện tích tiếp xúc thực thường nằm trong lòng vết tiếp xúc của các bề mặt thực có nhấp nhô. Diện tích tiếp xúc thực là nơi xảy ra các tương tác nguyên tử và phân tử của các bề mặt tiếp xúc ma sát. Diện tích tiếp xúc thực thường rất nhỏ, nó không vượt quá 0,01 đến 0,1% diện tích tiếp xúc danh nghĩa, và rất rời rạc với các tiếp xúc có đường kính từ 3 đến 50 μm .

Áp suất thực p_r là tỷ số giữa tải trọng và diện tích tiếp xúc thực: $p_r = N/A_r$. Áp suất này gần đạt tới giá trị độ cứng của vật liệu khi xảy ra tiếp xúc dẻo và thấp hơn nhiều cho tiếp xúc đàn hồi.

Khi áp suất danh nghĩa tăng, áp lực vòng tăng tương đối nhỏ, còn áp suất thực hầu như không thay đổi trên thực tế.

1.4.3 Tiếp xúc của các bề mặt trong quá trình ma sát

Trong tiếp xúc tĩnh, do sự có mặt của lực ma sát, nên hình thành vùng tiếp xúc "vùng đỉnh trụ", nó hạn chế biến dạng của các diện tích tiếp xúc thực. Ngược lại trong quá trình tiếp xúc ma sát động, diện tích tiếp xúc thực tăng lên, đồng thời biến dạng của lớp bề mặt mỏng cũng diễn ra mạnh hơn. Vùng đỉnh trụ biến mất, thay vào đó là một lớp bề mặt linh động có chất lượng bề mặt thay đổi rõ rệt.



Hình 1.22 Sơ đồ tiếp xúc

a - của các bề mặt có biên dạng công nghệ.

b - của các bề mặt có biên dạng làm việc.

Trong quá trình tiếp xúc ma sát, cân bằng động giữa phá hoại và phục hồi các màng ôxyt mỏng trên bề mặt là đặc trưng của quá trình ma sát bình thường. Trên hình 1.22 trình bày sơ đồ tiếp xúc của bề mặt công nghệ và bề mặt làm việc trong điều kiện tải cơ học là như nhau.

Những điều kiện cơ bản của ma sát, mòn bình thường (hay là mòn ôxy hoá):

- Không có sự phá huỷ kim loại gốc khi tiếp xúc ma sát.
- Biến dạng dẻo và phá huỷ chỉ tồn tại cục bộ trong những lớp cấu trúc thứ cấp rất mỏng trên bề mặt tiếp xúc ma sát.
- Có sự cân bằng động của tất cả các quá trình cơ lý hoá nhằm ổn định việc hình thành và phá huỷ cấu trúc thứ cấp, hay nói cách khác là tỷ số diện tích màng thứ cấp và diện tích danh nghĩa luôn là hằng số trong quá trình tiếp xúc ma sát: $A_{\text{màng}}/A_a = \text{const.}$

CHƯƠNG 2

MA SÁT NGOÀI

2.1. Các khái niệm cơ bản về ma sát

2.1.1 Các định nghĩa về ma sát ngoài

Ma sát ngoài là hiện tượng phức tạp phụ thuộc vào biến đổi của các quá trình diễn ra trên diện tích tiếp xúc thực và trên lớp bề mặt mỏng trong quá trình chuyển động tương đối của một vật thể trên bề mặt vật thể khác.

Ma sát ngoài chịu tác dụng bởi các quá trình diễn ra dưới lớp bề mặt cực mỏng và ở giới hạn rời rạc của tiếp xúc thực trên bề mặt vật thể rắn. Lực ma sát phụ thuộc vào tính chất cơ lý của lớp này, nó hoàn toàn khác với tính chất của các lớp dưới. Vì vậy lực tương tác phân tử không đối xứng ở lớp dưới bề mặt và nguyên tử không đạt được vị trí có mức năng lượng thấp nhất như trong khối vật liệu nền. Cấu trúc của lớp dưới bề mặt này là cấu trúc biến dạng do quá trình gia công và do chính sự biến dạng của lớp này cũng như sự thay đổi của nhiệt độ bề mặt trong quá trình ma sát. Do đó năng lượng của lớp dưới bề mặt sẽ cao hơn năng lượng của toàn khối kim loại.

Các nguyên tử của môi trường xung quanh hấp thụ vào bề mặt vật rắn, tạo thành màng hợp chất hóa học với bề mặt vật rắn. Trong trường hợp đơn giản đó là lớp màng mỏng ôxyt. Nhìn chung lớp dưới bề mặt có cấu trúc biến dạng, chứa đựng màng mỏng ôxyt và một lớp hấp thụ của nước hoặc khí (thường là không khí). Để giảm tương tác của các tiếp xúc vật rắn khi ma sát, thường sử dụng chất bôi trơn. Trong trường hợp này tương tác ma sát thường xảy ra trên lớp phủ mỏng hơn là trên bề mặt của chúng. Phụ thuộc vào điều kiện bề mặt của vật rắn khi ma sát, phân biệt ma sát không bôi trơn, ma sát giới hạn và ma sát chất lỏng.

Lực ma sát là lực cản trở dịch chuyển tương đối của các vật rắn có hướng ngược chiều chuyển động xuất hiện tại các vết tiếp xúc thực. Lực ma sát ngoài không ổn định, công của lực ma sát phụ thuộc vào

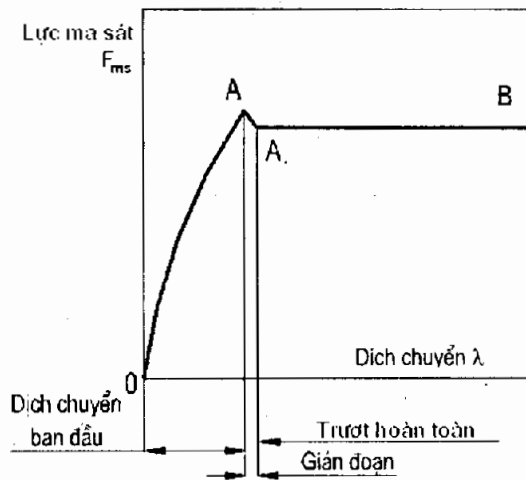
quãng đường mà vật rắn di chuyển. Độ lớn của lực ma sát ngoài nhìn chung được xác định theo khoảng dịch chuyển của vật rắn theo phương tiếp tuyến. Căn cứ vào khoảng dịch chuyển này phân biệt lực ma sát ngoài tĩnh và lực ma sát ngoài động.

Lực ma sát khởi động là lực cản trở chuyển động trong trường hợp dịch chuyển nhỏ, khoảng dịch tiếp tuyến có tính thuận nghịch này được gọi là dịch chuyển ban đầu. Lực ma sát khởi động thường xuất hiện trong các khớp ma sát trượt không liên tục dưới tác động của tải trọng.

Lực ma sát tĩnh là toàn bộ lực ma sát tương ứng với dịch chuyển ban đầu lớn nhất, hay nói cách khác là sự dịch chuyển từ trạng thái dịch chuyển ban đầu sang trạng thái trượt. Hình 2.1 trình bày nguyên tắc phụ thuộc của lực ma sát vào giá trị dịch chuyển. Sau trạng thái dịch chuyển ban đầu là trạng thái trượt ổn định với giá trị lực ma sát không đổi.

Lực ma sát động là lực ma sát xuất hiện trong quá trình có chuyển động tương đối ở vùng tiếp xúc.

Lực ma sát trượt có xu hướng cản trở chuyển động theo phương tiếp tuyến trên vật thể tiếp xúc ma sát, nó không phụ thuộc vào độ lớn của dịch chuyển.



Hình 2.1. Sự phụ thuộc của lực ma sát F_{ms} vào giá trị dịch chuyển λ .

Lực ma sát ngoài có quan hệ với cường độ biến dạng của lớp bề mặt trên vật thể mềm do sự thâm nhập của các nhấp nhô bề mặt cứng. Nhưng cần lưu ý, không phải mọi quá trình biến dạng trên lớp bề mặt đều liên quan đến quá trình ma sát ngoài. Trên thực tế ma sát ngoài chỉ liên quan tới biến dạng của lớp bề mặt theo phương tiếp tuyến với chuyển động trong tiếp xúc của vật thể rắn.

Về mặt động học, ma sát trượt và ma sát lăn là khác biệt nhau nhưng thường xảy ra một quá trình ma sát có tồn tại cả hai dạng nói trên.

2.1.2. Các đại lượng đặc trưng của ma sát

Để đánh giá ma sát thường sử dụng ba đại lượng không thứ nguyên: hệ số ma sát, hệ số ma sát khi va đập và hệ số mất mát năng lượng khi ma sát.

Hệ số ma sát trượt là tỷ số giữa lực ma sát và tải pháp tuyến :

$$f = \frac{F}{N} \quad (2.1)$$

Trong đó : F - lực ma sát

N - tải pháp tuyến

Trong trường hợp gia công chi tiết bằng biện pháp gia công áp lực thì hệ số ma sát là tỷ số của sức bền tiếp tuyến trong vùng tiếp xúc giữa 2 vật thể và giới hạn chảy của kim loại yếu hơn, nó tương ứng với lý thuyết biến dạng dẻo, hệ số ma sát vượt quá 0,5.

Hệ số ma sát khi va đập là tỷ số của lượng thay đổi về mặt động lượng của vật thể va đập theo hướng tiếp tuyến và pháp tuyến:

$$f = \frac{\Delta(mv_t)}{\Delta(mv_n)} \quad (2.2)$$

Trong đó : $\Delta(mv_t)$ - lượng thay đổi động lượng theo phương tiếp tuyến.

$\Delta(mv_n)$ - lượng thay đổi động lượng theo phương pháp tuyến.

Hệ số mất mát năng lượng khi ma sát là tỷ số của công tiêu hao để thắng lực ma sát và công tiêu hao chung :

$$f = \frac{W_T}{W_\Sigma} \quad (2.3)$$

Trong đó: W_T - công tiêu hao để thắng lực ma sát.

W_Σ - công tiêu hao chung.

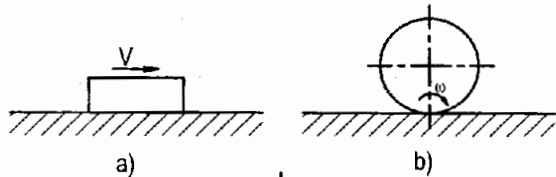
Các đại lượng đặc trưng nói trên thường được sử dụng để phân tích và đánh giá các tổn thất về ma sát trong máy và cơ cấu.

2.2. Phân loại các dạng ma sát

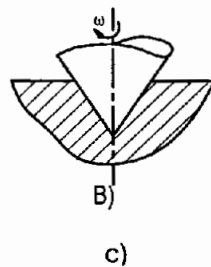
2.2.1. Phân loại ma sát theo dạng chuyển động

Căn cứ vào dạng chuyển động của bề mặt ma sát có: ma sát trượt, ma sát lăn, ma sát xoay và ma sát hỗn hợp.

- Ma sát trượt là ma sát giữa hai bề mặt của vật rắn có chuyển động trượt tương đối, vận tốc tại các điểm tiếp xúc có giá trị và phương như nhau (hình 2.2a).



- Ma sát lăn là ma sát giữa hai bề mặt của vật rắn có chuyển động lăn tương đối, vận tốc tại các điểm tiếp xúc có thể khác nhau về giá trị nhưng luôn có phương như nhau (hình 2.2b).



Hình 2.2. Các dạng ma sát theo căn cứ chuyển động

- Ma sát xoay là ma sát giữa hai bề mặt có chuyển động xoay tương đối, vận tốc tại các điểm tiếp xúc có thể khác nhau về giá trị và về phương (hình 2.2c).

- Ma sát hỗn hợp là ma sát giữa các bề mặt có tổng hợp của các dạng ma sát trượt, lăn và xoay.

2.2.2. Phân loại ma sát theo điều kiện bề mặt

Ma sát không chất bôi trơn là ma sát của hai vật rắn tiếp xúc khi trên các bề mặt của chúng không có điều kiện khẳng định rõ ràng sự tồn tại của chất bôi trơn hoặc bất kỳ chất nào. Trong một số trường hợp nó còn được gọi là ma sát khô.

Ma sát bôi trơn giới hạn là ma sát của hai vật rắn khi giữa liên kết của chúng tồn tại một lớp chất lỏng rất mỏng có cơ tính hoàn toàn

khác khối chất bôi trơn (chiều dày từ cỡ phân tử đến $0,1 \mu\text{m}$). Ma sát bôi trơn giới hạn cũng xảy ra khi bôi trơn bằng chất rắn. Do chiều dày màng dầu rất mỏng nên trong trường hợp này các phương trình thủy động không áp dụng được.

Ma sát ướt là ma sát giữa hai bề mặt vật rắn được phân tách hoàn toàn bởi các lớp chất bôi trơn có chuyển động tương đối, khi đó tập hợp của tất cả các ứng suất tiếp tạo thành lực ma sát.

Ma sát nửa ướt là ma sát giữa hai bề mặt vật rắn khi giữa chúng tồn tại cả ma sát bôi trơn giới hạn lẫn ma sát bôi trơn ướt. Ma sát nửa ướt thường xảy ra trong quá trình quá độ làm việc của ổ thủy động.

2.2.3. Phân loại ma sát theo động lực học tiếp xúc

Ma sát tĩnh là ma sát xuất hiện giữa hai bề mặt vật rắn trong trạng thái dịch chuyển ban đầu, khi đó thông thường lực ma sát sẽ ngăn cản biến dạng của lớp bề mặt.

Ma sát động là ma sát xuất hiện giữa hai bề mặt vật rắn trong quá trình có chuyển động tương đối ở vùng tiếp xúc, trong trường hợp này lực ma sát động sẽ có tác dụng thúc đẩy quá trình biến dạng trên lớp bề mặt mỏng và làm tăng diện tích tiếp xúc.

2.2.4. Phân loại ma sát theo điều kiện làm việc

Ma sát bình thường là quá trình ma sát được đặc trưng bởi sự cân bằng động giữa phá hủy và phục hồi lớp màng mỏng có tính bảo vệ trên bề mặt ma sát, mà thông thường là lớp màng ôxyt. Trong quá trình chạy rà điều kiện ma sát bình thường sẽ dần được thiết lập một cách tự phát trong khớp ma sát.

Ma sát không bình thường là dạng ma sát không được phép xảy ra trong khớp ma sát, khi đó đỉnh nhấp nhô bề mặt tiếp xúc ma sát sẽ thâm nhập vào nhau, gây ra cây, xước hoặc cắt vi mô, v.v... Khi đó tất cả các đặc tính tiếp xúc sẽ thay đổi hoàn toàn. Nói cách khác là sự cân bằng động giữa phá hủy và phục hồi lớp màng thứ cấp có tính bảo vệ bị phá vỡ. Ma sát không bình thường hay được áp dụng để làm cơ sở cho các phương pháp công nghệ gia công tinh lẫn cuối như mài nghiền, đánh bóng, v.v...

2.3. Các định luật cơ bản về ma sát

Ma sát ngoài là quá trình tiêu hao năng lượng khi hai vật thể rắn có chuyển động tương đối ở vùng tiếp xúc thực dưới tác động của tải trọng ngoài. Các định luật tổng quát về bảo toàn năng lượng, chuyển động và các nguyên lý cực tiểu được ứng dụng trong điều kiện ma sát mòn bình thường cho phép hoàn toàn xác định được mối quan hệ giữa các dạng tương tác khác nhau trong quá trình ma sát.

2.3.1. Định luật ma sát thứ nhất

Với ý nghĩa tổng quát nhất, quá trình ma sát ngoài là quá trình chuyển từ chuyển động cơ học vĩ mô của các vật rắn tiếp xúc ma sát thành chuyển động vi mô và siêu vi mô bên trong, kèm theo sự sinh nhiệt và sự thay đổi cấu trúc bên trong của những phần thể tích bề mặt tế vi tham gia vào quá trình. Theo định luật nhiệt động thứ nhất, quá trình ma sát ngoài được biểu diễn bằng quan hệ :

$$A = Q + \Delta E_m + \Delta E_s + E_t + E_c \quad (2.4)$$

Trong đó: A - công của lực ma sát.

Q - nhiệt được sinh ra.

ΔE_m - lượng thay đổi nội năng.

ΔE_s - số gia của năng lượng bề mặt.

E_t - năng lượng tiêu tán bên ngoài.

E_c - công dùng để cắt và trượt trong lớp giới hạn.

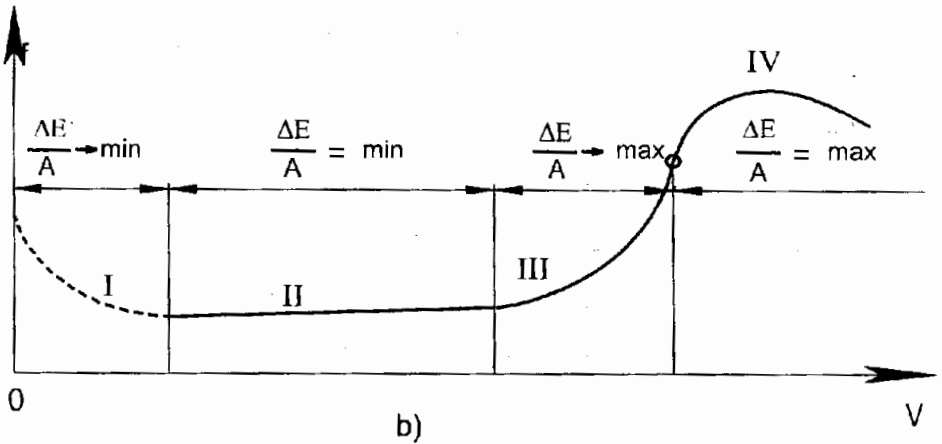
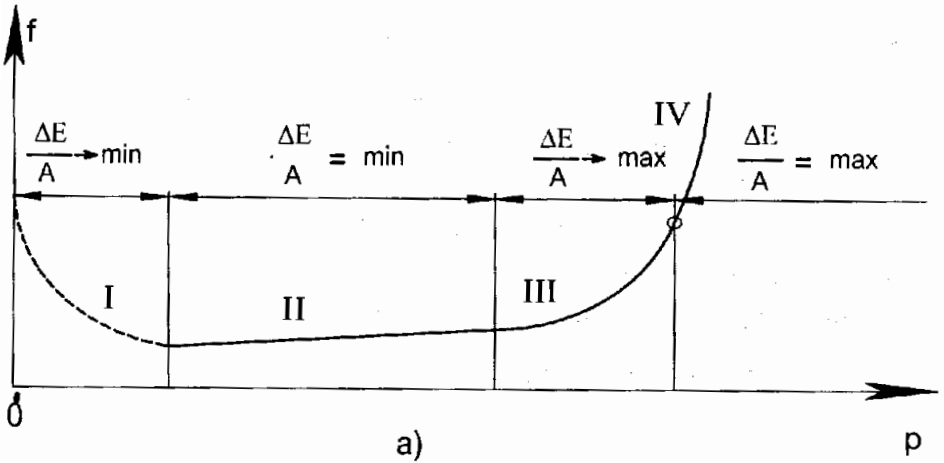
Trên thực tế năng lượng tiêu tán bên ngoài E_t và số gia của năng lượng bề mặt ΔE_s là rất nhỏ và có thể bỏ qua.

Định luật thứ nhất của lý thuyết ma sát ngoài được phát biểu như sau :

“Công của ma sát ngoài bằng tổng của nhiệt được sinh ra và các năng lượng được hấp thụ” (chủ yếu do kim loại):

$$A = Q + \Delta E \quad (2.5)$$

ΔE - tổng số độ tăng nhiệt hàm của bộ phận ma sát, vì độ tăng nhiệt hàm đầu không lớn nên có thể coi là năng lượng do kim loại hấp thụ.



Hình 2.3 . Quan hệ năng lượng $\frac{\Delta E}{A}$ đối với các vùng ma sát khác nhau

a) khi thay đổi áp suất pháp tuyến p , b) khi thay đổi tốc độ chuyển động v .

I – vùng chuyển tiếp ứng với giá trị p, v nhỏ.

II – vùng ma sát ngoài bình thường.

III – vùng phá hoại cân bằng.

IV – vùng phát triển các quá trình không bình thường.

$A > Q$ (không bao giờ công của ma sát ngoài biến hoàn toàn thành nhiệt).

$\Delta E > 0$ (không bao giờ năng lượng hấp thụ bằng không).

Tỷ số giữa năng lượng bị hấp thụ và công của ma sát ngoài là một đại lượng thay đổi, phụ thuộc vào tính chất vật liệu và điều kiện

ma sát ngoài:

$$\frac{\Delta E}{A} \neq \text{const hay } \frac{\Delta E}{A} = f(p, v, \bar{c}) \quad (2.6)$$

Trong đó:

p - áp suất.

v - tốc độ trượt.

\bar{c} - vectơ thông số ma sát phụ thuộc vào tính chất vật liệu môi trường, nhiệt độ, v.v...

Tỷ số giữa năng lượng bị hấp thụ và công của ma sát ngoài được gọi là hàm năng lượng hấp thụ tương đối của bề mặt ma sát.

Các sơ đồ nguyên tắc mô tả những quan hệ năng lượng có thể có đối với khoảng biến thiên tương ứng của tác động cơ học là áp suất p và tốc độ chuyển động v được trình bày trên hình 2.3

Định luật thứ nhất cho phép đưa ra khả năng điều khiển quá trình ma sát bằng cách điều chỉnh cân bằng năng lượng để có tỷ số $\frac{\Delta E}{A}$ ổn định và nhỏ nhất.

2.3.2. Định luật ma sát thứ hai

Trên cơ sở phân tích ma sát ngoài trong mối quan hệ với các quá trình xảy ra trong vùng tiếp xúc, cho phép phát biểu định luật thứ hai của lý thuyết ma sát như sau: *“Lực ma sát là tổng của các lực thành phần được dùng để làm tiến triển các quá trình cơ lý hóa tất yếu ứng với điều kiện tiếp xúc nhất định của các vật thể ma sát”*

$$F_{ms} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + \dots + F_{10} \quad (2.7)$$

Trong đó: F_{ms} - tổng lực của các dạng liên kết chủ yếu.

F_1 - lực ma sát bên trong của các lớp thủy khí động.

F_2 - lực ma sát tựa thủy động (các lớp biên) - sự bám trượt.

F_3 - lực trượt trong các lớp giới hạn.

F_4 - lực hình thành dải trong các lớp bề mặt kim loại vật mỏng (từ $100 \div 400 \text{ \AA}$).

F_5 - lực tạo ra trong quá trình dao động đàn hồi trong lớp dưới bề mặt.

F_6 - lực biến dạng của các thể tích bề mặt vĩ mô - các thành phần cơ học.

F_7 - lực phá hoại các liên kết khuếch tán (thành phần dính kết).

F_8 - lực tương tác của trường phân tử của các pha rắn.

F_9^{BT} - lực phá hủy các khuyết tật tích lũy và làm tan rã cấu trúc thứ cấp.

F_9^{KBT} - lực phá hoại thể tích vĩ mô kim loại.

F_{10} - lực tản mát năng lượng ra ngoài (dao động âm, phát xạ ...).

Thật vậy, liên kết là một trong những lực gây ra công ma sát. Căn cứ vào các thành phần lực nói trên (*dạng liên kết chủ yếu*) có thể xác định các dạng ma sát chủ yếu như sau :

+ Chế độ thủy khí động: $\dots F_1 \& F_2$

+ Quá trình ma sát bình thường: $F_3, F_4, F_5, F_8, F_9^{BT}, F_{10}$

+ Quá trình ma sát không bình thường: $F_6, F_7, F_8, F_9^{KBT}, F_{10}$

Cần khẳng định rằng quá trình ma sát bình thường và ma sát không bình thường tương ứng với các dạng liên kết khác nhau. Quá trình ma sát được quan tâm nhất về lý thuyết và có ý nghĩa to lớn nhất đối với thực tiễn là quá trình ma sát bình thường và các liên kết tương ứng với nó. Quá trình ma sát bình thường được đặc trưng bằng tính ổn định của hệ số ma sát và giá trị của hệ số ấy là nhỏ nhất.

2.3.3. Định luật ma sát thứ ba

Giai đoạn ổn định bình thường luôn gắn liền với dạng chuyển đổi và phá hủy nhất định của bề mặt. Trong những điều kiện làm việc thông thường đó là quá trình cơ hóa lý của ma sát mòn oxy hóa. Các hiện tượng diễn ra trong các lớp bề mặt của vật thể ma sát ở điều kiện bình thường có liên quan tới ba trạng thái biến dạng - ứng suất sau:

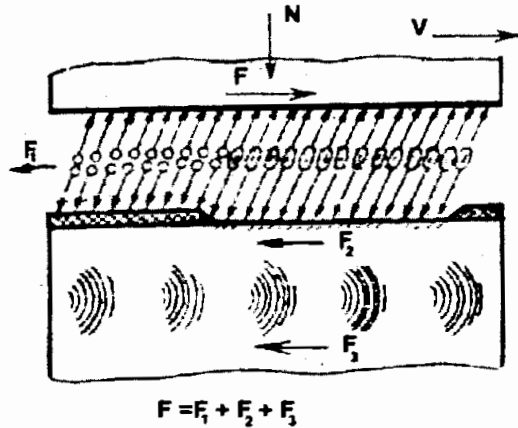
1. Ở giới hạn phân chia các pha rắn diễn ra sự dịch chuyển và sự trượt của lớp tới hạn, kết quả làm nảy sinh và phá hủy các liên kết phân tử có bản chất phân tán.

2. Trong các lớp bề mặt rất mỏng ($100 \div 100\text{\AA}$) diễn ra biến dạng mạnh và có hướng – sự tạo dải.

3. Trong các lớp nằm bên dưới có quá trình lan truyền (dạng sóng) của các biến dạng đàn hồi có liên quan với dịch chuyển tương đối của vật thể ma sát.

Ba trạng thái biến dạng – ứng suất được thể hiện trên hình 2.4

Có thể diễn giải quá trình mòn bình thường theo ba giai đoạn: biến dạng và hoạt hóa, hình thành các cấu trúc thứ cấp và phá hủy các cấu trúc thứ cấp.



Hình 2.4. Ba trạng thái biến dạng – ứng suất N- tải pháp tuyến, F- lực tiếp tuyến, F_1 - lực liên kết do sự trượt của lớp giới hạn tạo nên, F_2 - lực liên kết do sự biến dạng có hướng (tạo dải) của các lớp bề mặt tạo nên, F_3 - lực liên kết do biến dạng sóng đàn hồi tạo nên.

Định luật thứ ba được phát biểu như sau: “*Ứng với một tổ hợp các thông số (vật liệu, môi trường) nhất định, có một vùng của tác dụng cơ học trong đó tích phân của tỷ số năng lượng dự trữ trên công của lực ma sát lấy trong toàn thể tích bị biến dạng có giá trị cực tiểu*”.

$$\int_{\lambda} \frac{\Delta E_m(\lambda) d\lambda}{A} = \min \quad (2.8)$$

Vùng ma sát bình thường được trình bày bằng sơ đồ ở hình 2.5. trong vùng đó gần như toàn bộ công ma sát bị biến thành nhiệt.

Định luật thứ ba cho phép phân tích các thông số chủ yếu trong miền ổn định của các điều kiện ma sát khác nhau.

Ba định luật về ma sát ngoài cho phép phân tích quá trình ma sát phức tạp và chỉ ra miền bình thường (ổn định), xác định các giới hạn chuyển sang các hiện tượng hư hỏng và nghiên cứu giảm ma sát trong vùng ổn định. Từ đó có thể điều khiển có hiệu quả các quá trình ma sát

nhằm cải thiện tính chống mòn, tính chống ma sát, và tính ma sát mong muốn của các cặp ma sát.

2.3.4. Những quy luật ma sát thực nghiệm

2.3.4.1. Sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào áp suất pháp tuyến $f = f(p)$.

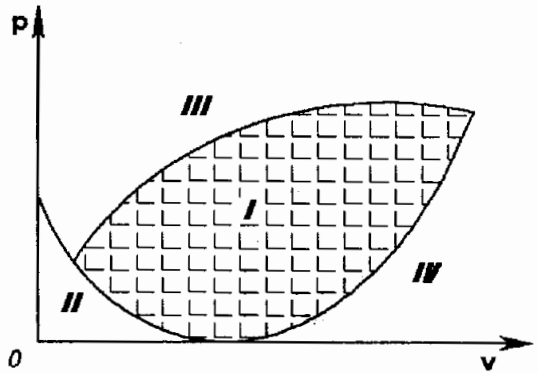
Quan hệ này có ba vùng đặc trưng như trên hình 2.6.

I – vùng ổn định, ứng với chế độ làm việc bình thường của cặp ma sát (mòn ôxy hóa).

II – vùng chuyển tiếp.

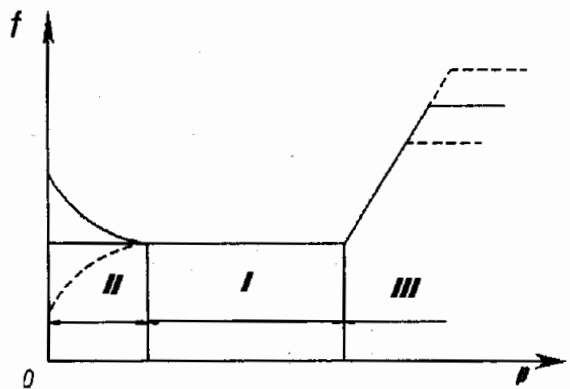
III – vùng hư hỏng, trên đó diễn ra những quá trình không bình thường (tróc, cây, xước v.v...).

Chế độ ma sát bình thường được xác định bằng hệ số ma sát ổn định và mòn nhỏ nhất, xảy ra do sự hình thành các cấu trúc thứ cấp bên trên bề mặt các kim loại chịu ma sát. Đoạn chuyển tiếp ứng với khả năng thích ứng của bề mặt, trong đó hàm $f = f(p)$ có thể có tính chất khác nhau (được biểu diễn bằng nét đứt trong vùng II hình 2.6). Giới hạn của chế độ làm việc bình thường (ma sát bình thường) được xác định bởi trị số áp suất pháp tuyến tới hạn p_{th} . Khi vượt quá p_{th} sẽ dẫn tới hiện tượng tróc, dập, cào xước và những quá trình không bình thường khác với cường độ khác nhau (nét đứt trên đồ thị hình 2.6 đặc



Hình 2.5. Sơ đồ vị trí các vùng ma sát bình thường và không bình thường.

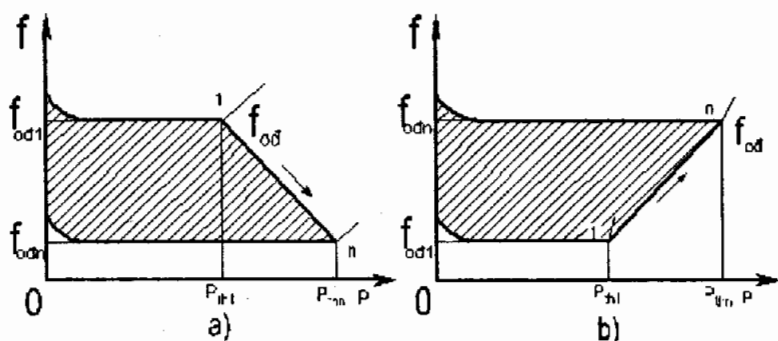
I - vùng ma sát bình thường; II - vùng chuyển tiếp; III, IV - hư hỏng cơ học mạnh và tróc loại I; IV - tróc loại II.



Hình 2.6. Sơ đồ nguyên tắc biến thiên hệ số ma sát phụ thuộc vào áp suất pháp tuyến $f = f(p)$

trung dao động lớn của lực ma sát) và mòn mãnh liệt do đó nó chuyển nhanh sang trạng thái hư hỏng.

Khi thay đổi các thông số ma sát (điều kiện) sẽ làm cho vùng ổn định biến đổi, nó được thể hiện trên hình 2.7.



Hình 2.7. Sự mở rộng vùng ổn định khi thay đổi điều kiện ma sát đồng thời làm việc (các đường cong $l \rightarrow n$)

a) giảm f_{od} ; b) tăng f_{od}

2.3.4.2. Sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào vận tốc trượt $f = f(v)$

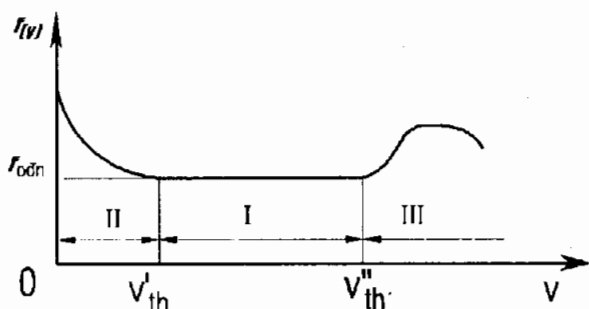
Quan hệ này có ba vùng đặc trưng, hình 2.8, như sau:

I – vùng bình thường, ứng với ma sát ôxy hóa ổn định: $v_{th}' \leq v \leq v_{th}''$.

II – vùng chuyển tiếp - không bình thường, với tốc loại I ($0 < v < v_{th}'$).

III – vùng không bình thường với hiện tượng tốc loại II ($v > v_{th}''$).

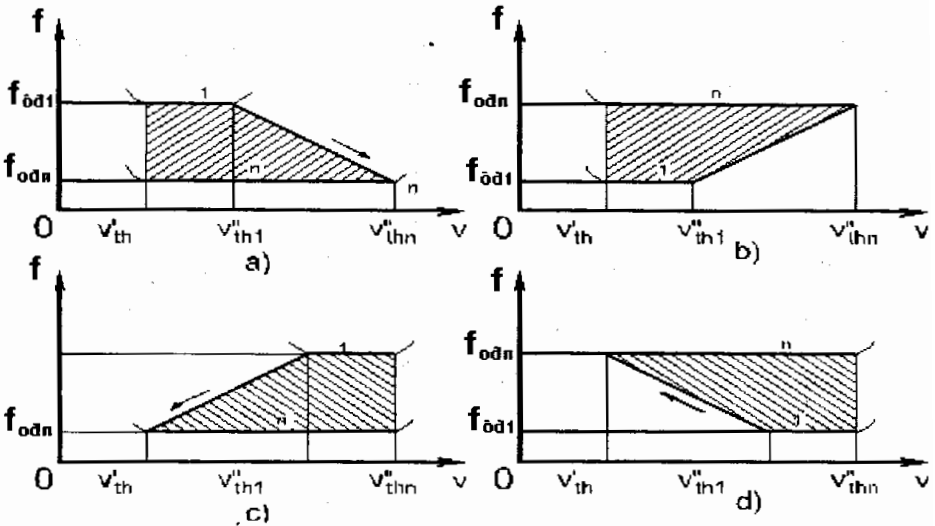
Vùng ma sát bình thường nằm giữa tốc độ v_{th}' và v_{th}'' được đặc trưng bởi giá trị ổn định



Hình 2.8. Sơ đồ nguyên tắc biến thiên hệ số ma sát phụ thuộc vận tốc trượt $f = f(v)$.

của hệ số ma sát và mòn cho phép. Nó được quyết định bởi sự cực tiểu hóa chiều dày của lớp biến dạng dẻo và sự hình thành các cấu trúc thứ cấp tùy thuộc vào sự thay đổi của các thông số ma sát. Đồ thị $f = f(v)$

có thể dịch chuyển được trình bày trên hình 2.9.



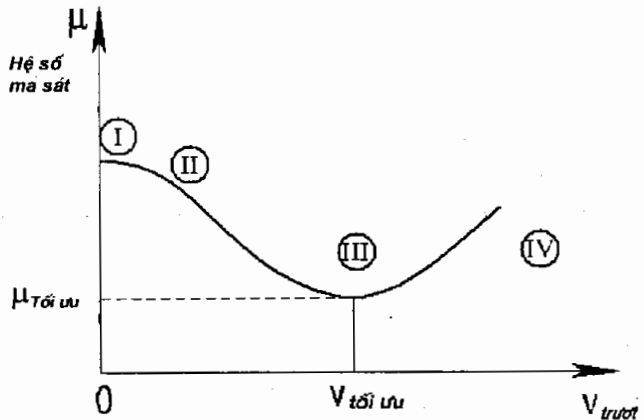
Hình 2.9 Sự mở rộng vùng ổn định khi thay đổi điều kiện ma sát đồng thời làm việc ($1 \rightarrow n$)

- a) giảm f_{od} , $v_{th}' = \text{const}$; b) tăng f_{od} , $v_{th}' = \text{const}$
 c) giảm f_{od} , $v_{th}'' = \text{const}$; d) tăng f_{od} , $v_{th}'' = \text{const}$

2.3.4.3. Sự phụ thuộc hệ số ma sát vào vận tốc khi có bôi trơn

Đồ thị Stribech chỉ ra sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào áp suất và vận tốc trượt, hình 2.10.

- I -- vùng thay đổi ma sát khô.
 II -- ma sát giới hạn và nửa ướt.
 III -- ma sát ướt.
 IV -- ma sát trong chế độ bôi trơn rối.



Hình 2.10. Đường cong Stribech – sự phụ thuộc của hệ số ma sát vào áp suất pháp tuyến và vận tốc trượt.

2.3.4.4. Sự phụ thuộc hệ số ma sát vào các thông số ma sát khác

Khi cặp ma sát làm việc trong chế độ ổn định bình thường, hệ số ma sát sẽ chịu ảnh hưởng của các thông số ma sát : vật liệu, công nghệ chế tạo, dung sai kích thước lắp ghép, dạng và tính chất của chất bôi trơn, v.v... Tác dụng tổng hợp của các thông số ấy sẽ làm thay đổi các hàm số chủ yếu $f = f(p)$, $f = f(v)$. Ảnh hưởng này được xác định thông qua vectơ \bar{c} là tập hợp của các thông số nói trên. Trong trường hợp tổng quát, quan hệ của lực ma sát hay hệ số ma sát được biểu thị bằng toán tử $f = A\{p, v, \bar{c}\}^{bt}$ và chỉ trong chế độ ma sát bình thường mới có thể được biểu diễn dưới dạng hàm số của áp suất hay tốc độ trượt. Hàm này chỉ có ý nghĩa đối với một tổ hợp nhất định của các thông số.

Việc chọn chế độ sử dụng bình thường của bộ phận máy và cơ cấu đối với mỗi cặp ma sát phụ thuộc vào giá trị tác động cơ học bên ngoài và ảnh hưởng của các thông số gắn liền với việc xác định những vùng ổn định của các quan hệ cơ bản $f = f(p)$ và $f = f(v)$ và các vùng dịch chuyển của chúng.

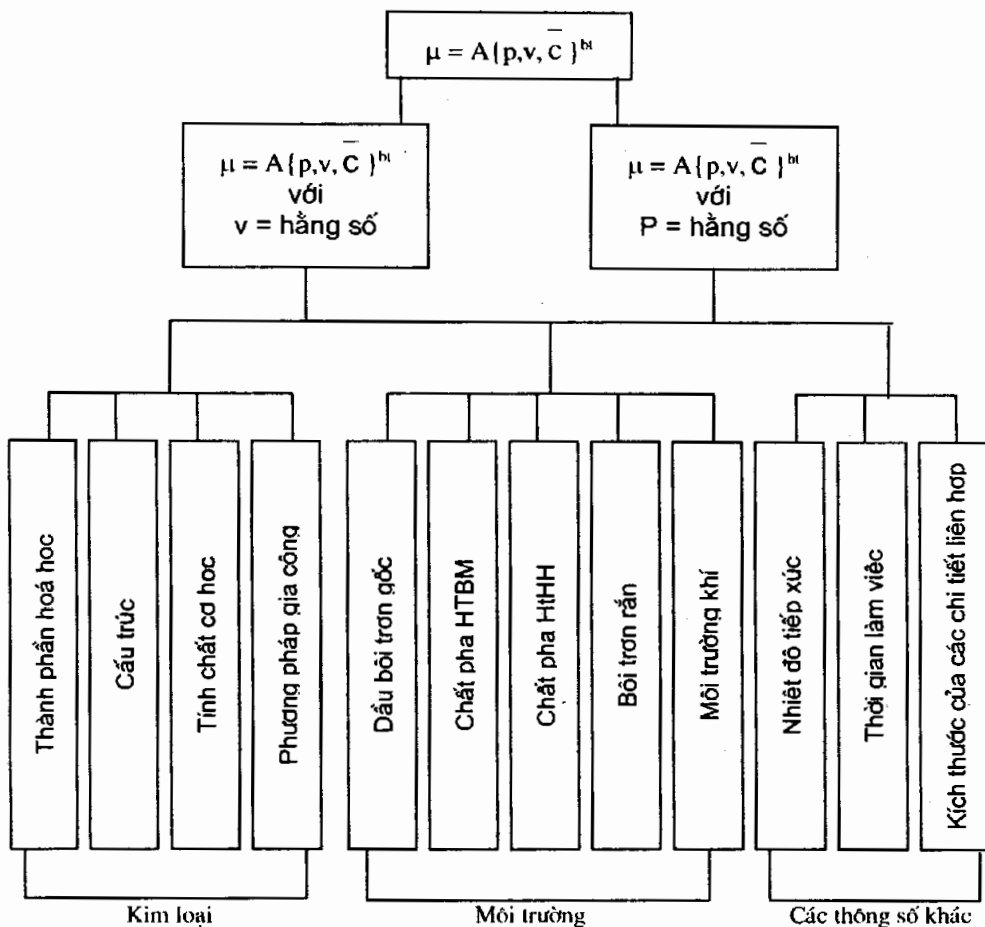
Vì cơ sở của chế độ ma sát bình thường là ma sát ôxy hóa nên ảnh hưởng trước hết của môi trường khí chủ yếu gắn liền với sự có mặt của ôxy và nồng độ của nó. Không những chỉ có các giới hạn của vùng ổn định mà ngay cả sự tồn tại của các vùng đó cũng phụ thuộc sự có mặt của ôxy trong vùng ma sát. Khi không có ôxy và các chất ôxy hóa khác (như trong chân không) thì không thể có mòn bình thường.

2.4. Bản chất ma sát ngoài

Bản chất của ma sát ngoài là rất phức tạp, là tổng hợp của các quá trình cơ lý hóa được diễn ra đồng thời, nên phải xác định bản chất này một cách rõ ràng và có căn cứ. Trước hết cần phải xác định giới hạn các quá trình ma sát bình thường và lực cản của các dạng ma sát hư hỏng khác nhau của các bề mặt tiếp xúc. Sau đó cần phải nghiên cứu bản chất, nguyên nhân và cơ chế ma sát trên quan điểm cơ bản về sự chuyển hóa năng lượng của các quá trình bên trong, với sự phân tích các quan hệ năng lượng và các nguyên lý cực tiểu với các quan điểm hiện đại của vật lý chất rắn về trạng thái ứng suất biến dạng, về các hiện tượng hóa lý cũng như các kết quả nghiên cứu thực tiễn.

Việc nghiên cứu động học ma sát cũng rất khó khăn, vì chỉ có những thể tích rất nhỏ của các lớp bề mặt là tham gia vào quá trình ma sát và không thể quan sát chúng được trực tiếp.

Nắm chắc được bản chất của ma sát ngoài sẽ tạo điều kiện cho việc xây dựng các mô hình nghiên cứu và tính toán về các cặp ma sát.



Hình 2.11. Các thông số cơ bản có ảnh hưởng đến lực ma sát

2.4.1. Biến dạng khi ma sát ngoài

Biến dạng là phản ứng chống lại tác dụng của ngoại lực của các vật thể vật lý. Biến dạng là quá trình chủ yếu quyết định sự tiến triển của ma sát ngoài, làm thay đổi diện tích tiếp xúc thực, làm phát triển biến dạng vật lý, gây ra hàng loạt những hiện tượng dẫn xuất, có ảnh hưởng quyết định đến sự hình thành lực ma sát và sự phá hủy lớp bề mặt gây mòn và hư hỏng. Để làm sáng tỏ bản chất của ma sát ngoài,

trước hết cần phải nghiên cứu trạng thái biến dạng và ứng suất, quan hệ giữa thành phần dẻo và thành phần đàn hồi với quy luật vận động của chúng.

Trạng thái ứng suất – biến dạng khi tiếp xúc tĩnh và khi ma sát động rất khác nhau. Khi có ma sát ngoài thì biến dạng suất hiện do kéo hoặc nén cùng với các đặc tính của chúng trong vùng tiếp xúc trực tiếp và vùng chịu ảnh hưởng .

Có nhiều phương pháp nghiên cứu khác nhau về biến dạng đó là đo biến dạng, quang phân cực, phân tích kim loại, đo độ cứng tế vi, dùng tia rơnghen. Chúng cho phép xây dựng hình ảnh vi mô của trạng thái ứng suất - biến dạng, phát hiện được những cơ chế tinh vi và đặc thù biến dạng dẻo khi ma sát ngoài và cho thấy mô hình biến vị của lớp cấu trúc bề mặt vật thể ma sát. Trong những điều kiện ma sát ngoài bình thường người ta thấy hiện tượng tạo dải là quá trình tất yếu của ma sát.

Sự thâm nhập của các nhấp nhô cứng vào bề mặt mềm hơn gây biến dạng trong vùng tiếp xúc thực được xác định thông qua cơ lý của kim loại ma sát, sự thay đổi các tính chất cơ lý ở các điểm tiếp xúc rời rạc và sự khác nhau về profil hình học tại các điểm tiếp xúc.

Để nghiên cứu các cơ chế tinh vi của biến dạng dẻo, phải khảo sát sự thay đổi của các cấu trúc biến vị. Việc phân bố hướng dải trượt tùy thuộc theo đặc tính cấu trúc của vật liệu, mặt khác cấu trúc biến vị khi nén tĩnh và khi ma sát động cũng khác nhau.

Biến dạng bề mặt khi ma sát ngoài là nguyên nhân chính gây ra thành phần lực ma sát cơ học, đó chính là sự cản trở của các lớp về biến dạng trong ma sát trượt. Thành phần lực này được tính toán dựa trên tính chất cơ học của lớp bề mặt, hình dạng hình học của các nhấp nhô và điều kiện ứng suất tại vùng tiếp xúc.

2.4.2. Bám dính và khuếch tán khi ma sát

Tương tác vật lý của các bề mặt khi ma sát ngoài được quy định bởi các hiện tượng bám dính và khuếch tán.

Bám dính là sự xuất hiện các liên kết giữa các bề mặt của hai vật thể khác trạng thái (rắn hoặc lỏng) tiếp xúc nhau tại vùng tiếp xúc

thực. Trên phân diện tích này có các lực hút phân tử tác dụng với các khoảng cách lớn hơn chục lần khoảng cách giữa các nguyên tử trong các mạng tinh thể và chúng tăng lên theo nhiệt độ. Dù có hay không có lớp đệm nhớt (hơi nước, chất bẩn, chất bôi trơn bám dính) lực phân tử cũng dẫn đến bám dính. Sự bám dính này xảy ra giữa kim loại và màng ôxit hoặc có thể do tác động của lực hút tĩnh điện. Lực bám dính cũng như lực phân tử, chúng tỷ lệ thuận với diện tích tiếp xúc thực. Một trường hợp riêng của sự bám dính là sự đồng kết, xuất hiện khi có hai vật thể giống nhau tiếp xúc nhau. Cơ sở của tương tác bám dính là liên kết Van De Waals.

Có hai loại bám dính đó là: bám dính tĩnh - sức cản chống tách ly ở trạng thái dịch chuyển ban đầu, và bám dính động - sức cản chống tách ly ở các giai đoạn chuyển động khác nhau, phụ thuộc vào tốc độ của quá trình tách ly.

Lực bám dính khác lực ma sát ở chỗ, lực bám dính là lực cản chuyển động tương đối của hai vật thể tiếp xúc nhau theo phương vuông góc với bề mặt tiếp xúc, còn lực ma sát là lực cản chuyển động theo phương tiếp tuyến, tức là lực cản trượt. Lực phân tử và lực bám dính lẽ ra sẽ không sinh công khi các bề mặt dịch chuyển, nhưng trên thực tế sự dịch chuyển này sẽ kèm theo biến dạng trượt. Do đàn hồi không lý tưởng của vật liệu nên cần chi phí năng lượng cho biến dạng không thuận nghịch này. Nếu mối liên kết giữa các vật bị phá hủy ở chỗ sâu hơn so với bề mặt thì cần phải đặt lực tiếp tuyến lớn hơn.

Sự khác nhau cơ bản giữa hiện tượng ma sát động và dính kết là ở chỗ, trong trường hợp ma sát động có thể có trạng thái ổn định tức là trạng thái ứng với chuyển động có khe hở không đổi; còn trong trường hợp dính kết thì tất nhiên không thể có trạng thái ổn định khi phân cách hai vật rắn.

Khi các bề mặt bám dính với nhau thông qua các màng bảo vệ, thì phân tĩnh điện của công tách ly đóng vai trò quan trọng. Hiện tượng điện có thể đóng vai trò chính trong một số trường hợp tách ly các vật đồng chất.

Luận điểm chủ yếu của lý thuyết điện về bám dính: bám dính của các màng rắn do lực hút tĩnh điện của các điện tích của lớp tụ điện tế vi hình thành trên bề mặt phân cách màng-đệm tạo nên.

Sự bong tách của lớp màng ra khỏi đệm trong miền tốc độ lớn là quá trình các bản cực tụ điện tế vi dần dần tách xa nhau ra, cho đến khi có sự phóng điện qua khí. Bám dính là hiện tượng tất yếu khi ma sát ngoài. Xác định trị số dính kết giữa hai vật rắn là việc khó khăn vì nó giảm rất nhanh khi tăng khoảng cách.

Khuyếch tán là quá trình thâm nhập và phân tán các nguyên tử phân tử, giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát (*thâm tán bên trong*), nó đóng vai trò quan trọng trong quá trình ma sát và mòn của kim loại. Có nhiều loại cơ chế khuyếch tán khác nhau, nhưng tổng quát thì hệ số khuyếch tán có quan hệ với nhiệt độ của bề mặt tiếp xúc ma sát. Để có được chuyển dịch khuyếch tán cần phải phá hoại tính chuẩn tắc của cấu trúc mạng (dù chỉ là tạm thời). Bản chất của kim loại khuyếch tán, loại dung dịch rắn được tạo thành, cấu trúc tinh thể của nó, sự bất đẳng hướng của hệ số khuyếch tán, hướng hạt, mức độ xô lệch của mạng tinh thể v.v... đều có ảnh hưởng đáng kể tới hằng số khuyếch tán.

Khả năng xảy ra các quá trình khuyếch tán trong các điều kiện ma sát ngoài khi có biến dạng dẻo và tăng nhiệt độ là tất yếu. Hiện tượng tróc khi ma sát của các kim loại có liên quan tới các quá trình khuyếch tán, nó xuất hiện do sự hoạt hóa mãnh liệt của các lớp bề mặt kim loại, do tăng mật độ khuyết tật điểm và do sự chuyển khối lượng.

Sự tương tác phân tử ở vị trí tiếp xúc của tiếp xúc ma sát, bị rời rạc hóa bởi khoảng cách nhỏ cỡ 10^{-7} cm. Sự cản trở chuyển động trượt tương đối do tác dụng bám dính, khuyếch tán của tiếp xúc ma sát gây ra thành phần phân tử của lực ma sát. Tuy nhiên bám dính không chính xác về mặt giới hạn, vì bám dính là liên kết hoặc là dính, trái lại tương tác phân tử được đặc trưng bởi cả hai thành phần lực hút và lực đẩy. Có thể giải thích: vật liệu bị biến dạng tại điểm tiếp xúc thực cho đến khi lực đẩy phân tử (hoặc nguyên tử) cân bằng với lực hút, diện tích tiếp xúc thực khi đó là sự tổng hợp của các phần diện tích gián đoạn mà tại đó cân bằng được hình thành. Thừa nhận diện tích nơi xảy ra tương tác phân tử là trùng với diện tích tiếp xúc thực của các bề mặt có gia công lần cuối với độ nhẵn thấp hơn cấp 12. Do sự có mặt của vật thể thứ 3 trong tiếp xúc ma sát mà chiều dày và cấu trúc của nó phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Nên không có khả năng tính toán lý thuyết cho thành phần phân tử của lực ma sát trong các điều

kiện thực tế. Vì vậy thành phần phân tử của hệ số ma sát được tính toán trên cơ sở thành phần phân tử xác định qua thực nghiệm, dựa trên ứng suất pháp tuyến trung bình đặt trong vùng tiếp xúc thực. Khi bề mặt ma sát được gia công siêu tinh cấp 13 và cao hơn, thành phần phân tử được xác định là có phụ thuộc rõ ràng đến các tương tác không tiếp xúc.

Trong điều kiện môi trường không khí ẩm và ô nhiễm thì lớp màng ôxyt trên bề mặt ma sát sẽ làm giảm lực hút phân tử giữa chúng đến hàng trăm lần so với trường hợp kim loại sạch tham gia ma sát. Mặt khác khi màng ôxyt dày và có độ cứng nhỏ hơn nó làm tăng diện tích tiếp xúc thực tế và làm tăng lực ma sát.

Ma sát ôxy hóa xuất hiện ngay cả ở điều kiện không khí loãng. Màng ôxit trên bề mặt ma sát có tính chất và cường độ tạo thành phụ thuộc vào thành phần hợp kim và điều kiện ma sát. Màng ôxyt với thành phần thích hợp sẽ góp phần làm giảm ma sát và mòn.

2.4.3. Quá trình phá hủy khi ma sát ngoài

Kết quả cuối cùng của mọi quá trình ma sát ngoài đó là sự phá hủy bề mặt tiếp xúc ma sát với hiện tượng bong tách các phân tử mòn hoặc làm thay đổi các đặc tính hình học vĩ mô, cấu trúc, tính chất và trạng thái ứng suất của các lớp bề mặt.

Ở trạng thái vi mô, do mấp mô bề mặt ma sát nên tác động tương hỗ khi ma sát là phân tán, các tiếp xúc thực tồn tại riêng biệt. Dưới tác động của các thông số cơ học khi ma sát các nhấp nhô bề mặt hoặc thâm nhập vào nhau hoặc bị đè bẹp. Vết tiếp xúc thực hình thành tương ứng với ứng suất và biến dạng. Trong quá trình ma sát thể tích vật liệu cục bộ nằm ở dưới bề mặt chịu tác động tương hỗ lặp đi lặp lại, gây ra sự mệt mỏi của lớp bề mặt ma sát và làm tách các phân tử. Mặt khác, các phân tử tách từ lớp bề mặt không biến ngay thành phân tử mòn, nó chỉ ra khỏi vùng ma sát sau khi bám dính một số lần nhất định vào các bề mặt ma sát đối diện. Các phân tử bong tách này được gọi là phân tử chuyển rời. Khi số lượng các phân tử chuyển rời tăng dần đến khi đạt tới giới hạn chuyển rời thì chuyển hóa thành phân tử mòn và đi ra khỏi vùng ma sát. Thông thường, thể tích phân tử mòn lớn gấp 125 lần thể tích phân tử chuyển rời. Màng ôxit và khí hấp thụ

trên bề mặt của phân tử chuyển rời và bề mặt ma sát có tác dụng bảo vệ và làm giảm lực bám dính của phân tử chuyển rời.

Lực ma sát là tổng lực cản trở xuất hiện khi biến dạng của bề mặt ma sát và lực liên kết giữa các phân tử – nguyên tử – trong liên kết bám dính, khuyếch tán, bong tách và chuyển rời.

Hiện nay với các bề mặt ma sát có gia công tinh lẫn cuối thì thành phần cơ học của lực ma sát thường nhỏ và ở đây thành phần phân tử có tính chất quyết định. Trong những trường hợp nhất định có thể bỏ qua thành phần cơ học (biến dạng). Điều này được thể hiện trong điều kiện ma sát khô thường có trượt theo kiểu bước nhảy, hiện tượng rung khi máy móc khởi động, tiếng rít khi phanh, rung động khi cắt gọt kim loại cũng như giạt khi phanh hãm. Trong khí quyển thì màng ôxyt nhìn chung có tác dụng làm giảm lực ma sát hàng trăm lần so với trong chân không:

$$F_{ms} = F_{CH} + F_{PK} \text{ hay } F_{ms} = a \cdot A_r + b \cdot N \quad (2.9)$$

Trong đó: a - cường độ trung bình của thành phần ma sát phân tử.

A_r - diện tích tiếp xúc thực.

b - hệ số đặc trưng cho thành phần cơ học của lực ma sát.

N - lực pháp tuyến.

Hệ số ma sát f sẽ là : $f = \frac{a \cdot A_r}{N} + b$

Như vậy hệ số ma sát gồm hai thành phần, trong đó có một thành phần phụ thuộc vào tải pháp tuyến còn thành phần thứ hai không phụ thuộc.

2.4.4. Ma sát khi bôi trơn giới hạn

Bôi trơn giới hạn xảy ra khi các bề mặt ma sát bị phân cách bởi một lớp chất bôi trơn rất mỏng có chiều dày từ cỡ phân tử đến $0,1 \mu\text{m}$.

Tính chất của màng bôi trơn giới hạn hoàn toàn khác với tính chất của toàn khối chất bôi trơn.

2.4.4.1. Bôi trơn giới hạn bằng màng dầu

Khi chiều dày của màng dầu nhỏ hơn $0,1\mu\text{m}$ (có thể do sự tăng nhiệt độ, tăng tải hay giảm tốc độ gây ra) tính chất của nó khác hẳn dầu bôi trơn trong lòng khối dầu bôi trơn. Trong trường hợp này hệ số ma sát không chỉ phụ thuộc vào độ nhớt của dầu mà còn phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố khác, được gọi là tính bôi trơn. Tính bôi trơn là khả năng đảm bảo tác dụng bôi trơn tốt nhất trong điều kiện lớp dầu bôi trơn đủ mỏng và tác dụng của nó không chỉ quyết định bởi độ nhớt của dầu bôi trơn. Tùy thuộc vào khoảng cách từ dầu bôi trơn đến bề mặt ma sát, độ nhớt và các tính chất khác của chất lỏng bôi trơn thay đổi một cách nhảy vọt, nghĩa là có một giới hạn rõ ràng giữa màng bôi trơn và dầu bôi trơn còn lại trong cả khối dầu.

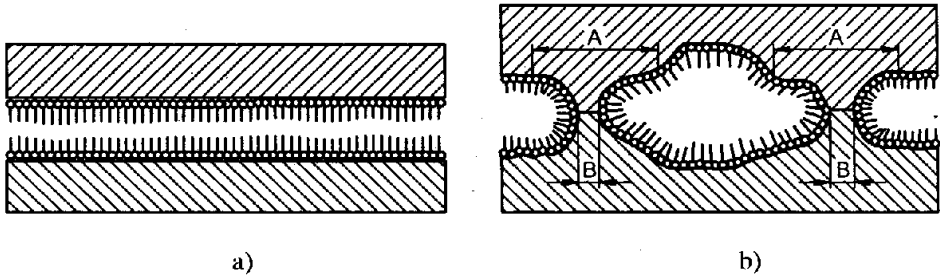
Trong các màng giới hạn, các phân tử của chất bôi trơn bị hấp thụ được định hướng rất cao, khác với sự hỗn loạn của chúng trong lòng chất lỏng. Chất lỏng của màng giới hạn được cải thiện khi tăng độ dài phân tử. Hệ số ma sát khi bôi trơn giới hạn so với không bôi trơn giảm từ 2 đến 10 lần, cường độ mòn giảm đến hàng trăm lần.

Tất cả các dầu bôi trơn đều có khả năng được hấp thụ trên bề mặt kim loại. Độ bền của màng hấp thụ phụ thuộc vào các phân tử hoạt động được pha vào dầu với tư cách chất phụ gia: axit hữu cơ, keo và các chất hoạt tính khác, các chất béo có trong thành phần dầu thực vật, động vật cũng như trong thành phần của chất bôi trơn dẻo. Vì thế gần như tất cả các dầu bôi trơn đều tạo thành trên bề mặt kim loại pha giới hạn có cấu trúc tinh thể giả, chiều dày đến $0,1\mu\text{m}$, nó có mọi liên kết bền hoặc không bền với bề mặt kim loại.

Lớp màng bôi trơn giới hạn là dị hướng: ở hướng tiếp tuyến, các lớp phân tử dễ dàng bị uốn, khi chiều dày đạt tới giá trị tới hạn, chúng sẽ có khả năng trượt tương đối với nhau. Theo phương pháp tuyến với bề mặt, màng dầu có sức bền nén cao có thể đạt tới chục ngàn kG/cm^2 , giới hạn đàn hồi của màng dầu chịu nén rất cao.

Cơ chế ma sát bôi trơn giới hạn: Dưới tác dụng của tải trọng, biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo xảy ra trên các vùng tiếp xúc thực. Diện tích tiếp xúc là diện tích của các phần gián đoạn nằm gần nhau nhất của bề mặt được phủ một lớp màng giới hạn của chất bôi trơn có

chiều dày đến một phân tử. Trên các diện tích tiếp xúc, có thể xảy ra sự thâm nhập của các nhấp nhô bề mặt mà không phá huỷ màng bôi trơn. Sức cản chuyển động trượt là tổng sức cản trượt của lớp giới hạn và sức cản gây “cày xới” bề mặt qua các thể tích nhấp nhô thâm nhập vào. Ngoài ra, trên các diện tích tiếp xúc chịu biến dạng dẻo lớn nhất và tại các điểm có nhiệt độ cao, có thể xảy ra sự phá huỷ màng dầu và bám dính bề mặt, có thể có sự xâm thực của kim loại bề mặt. Điều này làm tăng sức cản chuyển động.



Hình 2.12. Sơ đồ sự trượt của vật rắn khi bôi trơn giới hạn

a) bôi trơn bề mặt lý tưởng, b) tiếp xúc của bề mặt thực
A- đoạn truyền tải trọng, B- đoạn tiếp xúc thực

Nhờ có độ linh động của các phân tử chất bôi trơn, hấp thụ xảy ra với tốc độ lớn trên bề mặt ma sát, do đó màng dầu có khả năng tự phục hồi khi có gián đoạn màng. Nó có vai trò to lớn trong việc ngăn chặn quá trình xâm thực. Khi màng giới hạn không phục hồi, dầu từ màng được hấp thụ lên phân tử mòn và bị đưa ra khỏi vùng ma sát, do đó xảy ra sự thăng hoa của màng như chất rắn và đưa dầu vào không khí. Ôxy hoá bề mặt gây ra mất định hướng cấu trúc và phá huỷ màng giới hạn.

Khi ma sát bôi trơn giới hạn, mòn của chi tiết khá lớn. Diện tích tiếp xúc thực A_r khá nhỏ do có sóng và nhấp nhô bề mặt, vì vậy áp lực tiếp xúc có giá trị rất lớn và màng dầu giới hạn mỏng không thể bảo vệ bề mặt khỏi biến dạng dẻo và đây là nguồn gốc dẫn đến mòn chi tiết máy. Đây là đặc tính có tính bản chất của bôi trơn giới hạn.

Ngoài yếu tố hấp thụ, hiệu quả của bôi trơn giới hạn còn phụ thuộc vào tác động hoá học của kim loại và chất bôi trơn.

Ảnh hưởng của ôxy đến quá trình ma sát khi bôi trơn giới hạn là rất lớn, kim loại đóng vai trò chất xúc tác, hay chất mang ôxy để ôxy

hoá dầu và tạo thành các hợp chất liên kết bền vững với kim loại. Những phản ứng hoá học này xảy ra ở chỗ có nhiệt độ cao và áp suất cao, tức là những điểm tiếp xúc kim loại với nhau. Dầu bôi trơn cũng là chất mang ôxy chính.

Để nâng cao hoạt tính hoá học của dầu bôi trơn, dầu được bổ sung những phụ gia có chứa hợp chất của lưu huỳnh, clo, photpho, có khi cả antimon và asen. Mặc dù bền vững trên bề mặt ma sát, các chất phụ gia này còn bị phân huỷ và tác dụng với bề mặt kim loại tạo nên các màng sunfit sắt, clorua sắt, photpho sắt ... Những màng này ngăn cản sự tiếp xúc của bề mặt kim loại, giảm sức cản ma sát, ngăn ngừa sự tăng nhiệt độ cục bộ. Màng tạo bởi cacbua hydro, clo hoá trên bề mặt thép có khả năng làm việc đến $300^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$ và khi nhiệt độ cao hơn nó bị nung nóng chảy hay phân huỷ. Đối với màng sunfit khả năng bôi trơn có thể đến 800°C . Dưới nhiệt độ tới hạn, các màng sẽ giống các chất bôi trơn rắn.

2.4.4.2. Bôi trơn giới hạn với chất rắn

Một số chất rắn được gọi là chất bôi trơn rắn khi nó tạo ra và duy trì chế độ ma sát bôi trơn giới hạn. Màng giới hạn có độ bền nén rất cao và độ bền cắt nhỏ. Từ đặc điểm này có một số chất có thể được sử dụng như chất bôi trơn ở trạng thái bôi trơn giới hạn: các chất có cấu trúc mạng lớp, cấu trúc tấm, kim loại mềm, màng mỏng, chất dẻo ... (graphit, disunfit molipden MoS_2 , sunfit bạc, disunfit vonfram và một số hợp chất vô cơ).

Graphit có cấu trúc mạng lớp, độ bền nén vuông góc với các lớp cao, nhưng độ bền cắt song song với các lớp nhỏ, hình 2.13. Theo lớp bề mặt phẳng dễ tách thì lớp giới hạn tạo thành có tính chất của lớp bôi trơn giới hạn. Độ cứng của graphit theo hướng vuông góc với mặt phẳng các lớp gần tương đương với kim cương nên các phân tử graphit có thể thâm nhập vào mạng kim loại mà không bị phá huỷ, tạo thành màng giới hạn graphit bền vững và hầu như không có sự tiếp xúc của kim loại các bề mặt ma sát. Hệ số ma sát khi bôi trơn bằng graphit có giá trị rất nhỏ khoảng $0,03 \div 0,04$. Khi có ẩm và màng ôxy kim loại sẽ làm tăng cường độ bám dính graphit vào bề mặt kim loại và tăng bền lớp giới hạn. Màng ẩm hoặc màng ôxyt tồn tại trên bề mặt ma sát là điều kiện cần thiết để graphit có tác dụng bôi trơn.

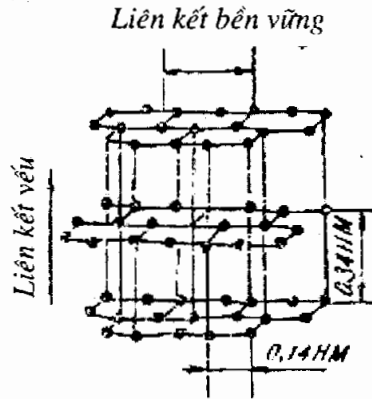
Disunphit molipden (MoS_2) có mạng tinh thể tương tự như graphit nên được dùng làm chất bôi trơn ở nhiệt độ thấp và trong chân không. Cần chú ý rằng, ở nhiệt độ 583°C nó trở thành triôxyt rất rắn nên trở thành hạt mài làm mòn chi tiết máy. Sự có mặt của màng ẩm MoS_2 làm lực ma sát tăng lên, có khả năng là do hơi ẩm phản ứng với nguyên tử lưu huỳnh làm gỉ bề mặt thép.

Kim loại mềm có thể được sử dụng làm chất bôi trơn rắn, không bị biến cứng trong khoảng nhiệt độ làm việc và không bị tạo thành các dung dịch rắn, dòn với các kim loại nền của bề mặt ma sát. Muốn vậy nhiệt độ

làm việc phải lớn hơn nhiệt độ kết tinh lại. Khi bôi trơn bằng kim loại, vai trò của chất bôi trơn cacbua hydro thay đổi, nó trở thành phương tiện vận chuyển kim loại vào vùng ma sát, tham gia vào các quá trình hoá lý trên bề mặt tiếp xúc khi tạo thành mạng kim loại, làm nguội và bảo vệ các kết cấu ma sát khỏi bị gỉ.

Các chất bôi trơn rắn là kim loại mềm thường dùng là chì, thiếc, indi. Cơ chế tác dụng của màng kim loại mỏng phủ nên nền kim loại rắn được giải thích như sau:

Màng kim loại mềm có độ bền nén tốt, giữ không cho các bề mặt ma sát tiếp xúc và thâm nhập vào nhau. Khi có chuyển động tương đối thì xảy ra hiện tượng cắt trong kim loại mềm. Do giới hạn sức bền cắt không lớn diện tích tiếp xúc do nền rắn cũng không lớn nên lực ma sát nhỏ. Ngược lại màng phủ lên trên nền mềm bị biến dạng nhiều lần dưới tác dụng của tải do đó diện tích tiếp xúc thực tăng dẫn đến lực ma sát tăng. Do đó phủ màng babit, thiếc lên hợp kim đồng, thanh chì hoặc kim đồng là phù hợp.



Hình 2.13. Cấu trúc tinh thể Graphit

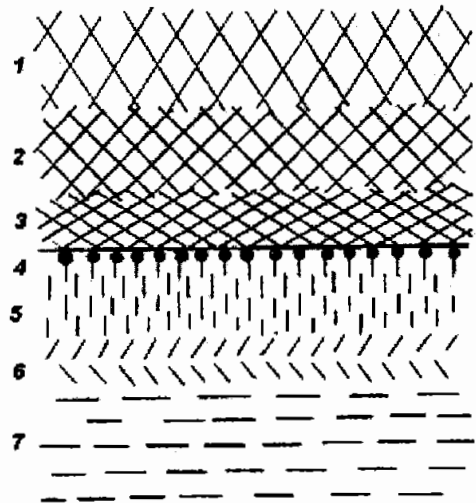
2.4.4.3. Bôi trơn ướt

Khi có tồn tại lớp chất bôi trơn giữa các bề mặt ma sát nếu chiều dày của nó không nhỏ hơn $1\mu\text{m}$ và lớn hơn độ cao tổng của các nhấp nhô của hai bề mặt ma sát, khi đó ma sát ngoài của các vật rắn sẽ trở thành ma sát trong của các lớp dầu. Khi bôi trơn ướt áp suất của lớp dầu sẽ cân bằng với ngoại lực, nó được gọi là lớp tải. Khi chiều dày lớp dầu lớn hơn chiều dày màng giới hạn, thì ảnh hưởng của bề mặt cứng tới các phân tử dầu ở xa sẽ giảm đi. Các lớp dầu cách lớp bề mặt ma sát $0,5\mu\text{m}$ sẽ chuyển động tự do với nhau. Lực ma sát sẽ phụ thuộc vào độ nhớt của dầu và bằng tổng lực cản trượt của các lớp dầu theo chiều dày màng dầu. Ma sát ướt với hệ số ma sát nhỏ là tối ưu đối với các kết cấu ma sát về khả năng mát mát năng lượng, độ bền mòn và tuổi thọ, khi đó hệ số ma sát không phụ thuộc vào bản chất của bề mặt lắp ghép.

Hiện tượng ma sát khi bôi trơn ướt là rất phức tạp được thể hiện trên hình 2.14 cho thấy: các phân tử của chất hoạt tính bề mặt có trong dầu được hấp thụ trên bề mặt trong lớp phân tử mônô, trên đó tạo thành lớp giới hạn, liền lớp giới hạn là vùng chuyển động với vi mô, cuối cùng là dầu chảy tầng.

Có hai phương pháp tạo áp suất ở lớp dầu màng tải đó là phương pháp bôi trơn thủy động - áp suất phụ thuộc vào vận tốc chuyển động và phương pháp bôi trơn thủy tĩnh - áp suất của lớp dầu do nguồn dầu áp lực cao ở bên ngoài cung cấp.

Khi bôi trơn thủy động các lớp dầu trung gian sẽ chuyển động



Hình 2.14. Sơ đồ mặt cắt của bề mặt kim loại và lớp vật liệu bôi trơn lỏng

1- cấu trúc kim loại ban đầu ; 2 - tinh thể bị biến dạng có hướng; 3 - tinh thể bị phá hủy, bị oxy hoá và lớp hấp thụ bề mặt; 4 - lớp phân tử mônô ; 5 - lớp giới hạn ; 6 - vùng chuyển động với vi mô; 7 - dòng dầu chảy tầng.

với tốc độ tỷ lệ nghịch với khoảng cách từ chúng đến bề mặt chuyển động.

$$F_{ms} = \eta \cdot \frac{S \cdot v}{h} \quad (2.10)$$

Trong đó:

F_{ms} - lực ma sát.

η - độ nhớt động học.

S - diện tích bề mặt chuyển động.

v - vận tốc chuyển động của bề mặt.

h - là chiều dày lớp dầu.

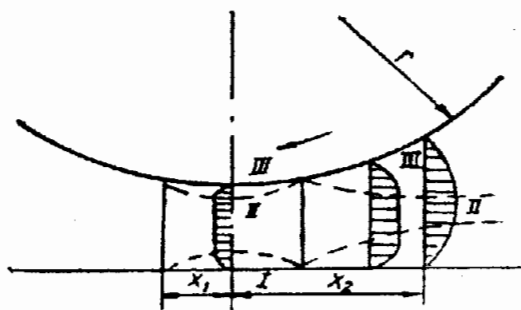
Hệ số ma sát:

$$f = \frac{F_{ms}}{P} = \frac{\eta \cdot v}{\frac{P}{S} \cdot h} = \frac{\eta \cdot v}{p \cdot h} \quad (2.11)$$

Trong đó p - tải trọng riêng trên bề mặt chuyển động.

Khi lăn hoặc lăn có trượt giữa các bề mặt trụ cũng có thể xảy ra trường hợp bôi trơn ướt.

Trong trường hợp tổng quát có thể khẳng định các chất bôi trơn lỏng khi bôi trơn bị chuyển động ma sát kéo theo vào một khe hẹp có dạng chêm và với điều kiện ma sát thích hợp có khả năng phân chia hai bề mặt bằng lớp chất lỏng bôi trơn.



Hình 2.15. Biểu đồ vận tốc trong dòng nhớt dẻo khi lăn khối trụ trên mặt phẳng có chất bôi trơn nhớt dẻo.

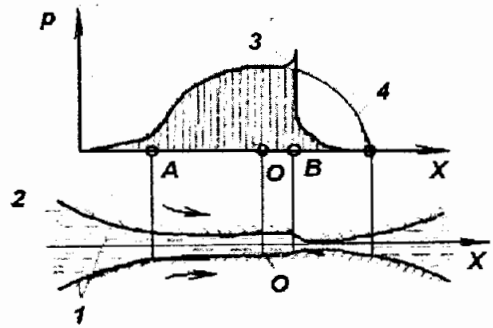
Bôi trơn ướt có thể xảy ra với các chất bôi trơn dẻo, trong dòng chảy của chất bôi trơn bị kéo theo bề mặt chuyển động có những vùng không có sự trượt theo lớp. Sự chảy trong đó xảy ra như trong môi trường dẻo lý tưởng. Ngoài vùng này là sự chảy nhớt, có thể có sự trượt của vật liệu bôi trơn so với

thành ổ. Hình 2.15 cho thấy biểu đồ vận tốc dòng chảy của chất bôi trơn nhớt dẻo, khi lăn xylanh trên mặt phẳng. Trong vùng I và III gradian vận tốc khác không theo chiều cao lớp dầu và dòng chảy là nhớt.

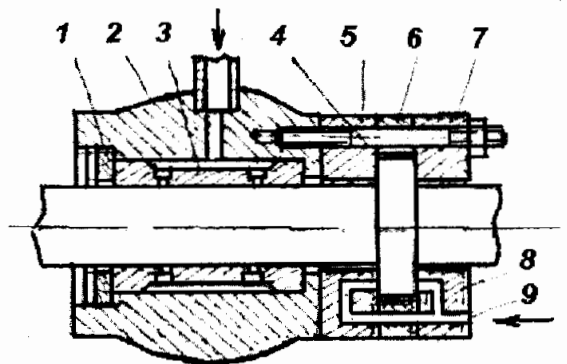
Trong vùng II (hình 2.15) ứng suất tiếp nhỏ hơn vùng ứng suất trượt giới hạn, nên không có sự dịch chuyển tương đối theo lớp, vì vậy dòng chảy giống như sự chảy của vật dẻo.

Khi lăn có trượt thì điều kiện để tạo thành bôi trơn ướt có thuận lợi hơn. Hình 2.16 biểu diễn hình dáng gần đúng của khe hở và biểu đồ ứng suất đối với các xylanh lăn trên nhau dưới tác dụng của tải và có tồn tại lớp dầu giữa chúng. Điểm bắt đầu vào vùng tiếp xúc A, là điểm bắt đầu của nêm dầu. Trong nêm dầu áp suất tăng từ từ cho đến điểm B, khe hở thu hẹp lại và xuất hiện giá trị cực đại của áp suất. Vị trí của áp suất cực đại phụ thuộc vào điều kiện ma sát - tải, độ nhớt của dầu, tốc độ lăn, áp suất trong vùng tiếp xúc thường lớn hơn $200 \div 300\text{MPa}$. Với điều kiện áp suất cao thì độ nhớt của dầu có thể rất lớn và dầu ở trạng thái dẻo giả.

Một dạng khác của chất bôi trơn ướt đó là bôi trơn khí, hình 2.17, nó có rất nhiều ưu điểm so với loại khác,



Hình 2.16 Hình dạng khe hở và biểu đồ áp suất đối với các xylanh lăn trên nhau khi giữa chúng có lớp chất bôi trơn.



Hình 2.17 Sơ đồ kết cấu bôi trơn khí
1- ê cu; 2- thân ổ trục; 3- bạc lót; 4- gờ; 5 & 7- đĩa chặn; 6- đĩa đệm; 8 & 9- lỗ khoan dẫn khí.

do sức cản ma sát thấp, nhiệt toả ra ít, mòn ổ trục nhỏ, độ tin cậy cao. Về nguyên tắc, lý thuyết bôi trơn khí có khác với bôi trơn thuỷ động là ở chỗ chất khí được coi như các chất lỏng nén ép được. Phương pháp đơn giản là chất bôi trơn khí tĩnh, nó có thể dùng cho trường hợp mà tốc độ chuyển động tương đối bằng không.

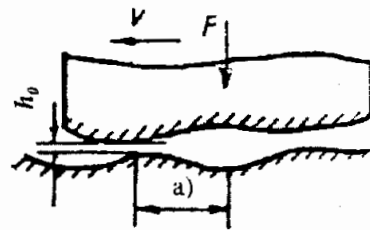
2.4.4.4. Bôi trơn nửa ướt

Bôi trơn nửa ướt xảy ra khi đồng thời tồn tại cả bôi trơn ướt và bôi trơn giới hạn. Khi đó tải trọng pháp tuyến sẽ cân bằng với lực pháp tuyến của phân bề mặt tiếp xúc và áp suất thuỷ động của màng dầu. Trong trường hợp này, lực ma sát là lực tổng của hai lực thành phần: thành phần tiếp tuyến của lực tương tác bề mặt và sức cản trượt của lớp dầu. Khi bôi trơn nửa ướt hiệu ứng thuỷ động xảy ra trong hai trường hợp sau:

Trường hợp thứ nhất: trạng thái hình học vĩ mô của các bề mặt tiếp xúc ma sát tạo thành chiều chêm dầu (khe hở thu hẹp dần). Khi đó với những thông số ma sát thích hợp sẽ xuất hiện hiệu ứng thuỷ động và tạo ra lực nâng, nhưng không đủ tiếp nhận toàn bộ tải trọng, do đó vùng trên bề mặt tiếp xúc sẽ tồn tại những vùng tiếp xúc thực và dòng chất lỏng sẽ bao lấy các phần bề mặt tiếp xúc.

Trường hợp thứ hai: nhấp nhô bề mặt nằm giữa các khu vực tiếp xúc tạo ra những chỗ thu hẹp và mở rộng theo chiều cao và theo hướng chuyển động tương đối, với lượng dầu đủ lớn sẽ hình thành các nêm dầu vi mô thuỷ động (hình 2.18). Hiệu ứng bôi trơn này hình thành ngay cả khi vận tốc trượt khá nhỏ.

Trong trường hợp bôi trơn bằng chất lỏng, ngoài tác dụng bôi trơn, nó còn đóng vai trò của chất làm mát bề mặt ma sát và kết cấu ma sát.



Hình 2.18. Sơ đồ nêm dầu vi mô thuỷ động do các nhấp nhô bề mặt khi chuyển động tương đối tạo nên.

h_0) khe hẹp nhỏ nhất, a) chiều dài nêm dầu.

2.5. Các lý thuyết tính hệ số ma sát

2.5.1. Công thức tính hệ số ma sát theo thực nghiệm

Các nghiên cứu về thực nghiệm đã khẳng định mối quan hệ sau:

$$f = \frac{F_{ms}}{N} \quad (2.12)$$

Trong đó: f - hệ số ma sát.

F_{ms} - lực ma sát.

N - tải pháp tuyến.

Các nghiên cứu của Leonar Đe Vinci đã thừa nhận $f = 0,25$.

Nhà khoa học C.A. Coulomb đã đưa ra công thức tính lực ma sát có dạng: $T = A + B.N$, do đó:

$$f = \frac{A}{N} + B \quad (2.13)$$

Trong đó: A đặc trưng cho môi trường tác dụng giữa hai vật thể ma sát.

Công thức tính của Coulomb đã đưa ra hai thành phần của lực ma sát, trong đó có một thành phần không phụ thuộc vào tác dụng của tải trọng ngoài. Lần đầu tiên diện tích tiếp xúc thực đã được hai nhà khoa học Tabor và Bowden xác định trong điều kiện ma sát trượt, đồng thời khẳng định sự xuất hiện nhiệt độ bốc cháy tại vết tiếp xúc thực và nhận định xuất hiện các mối liên kết hàn dính giữa các bề mặt ma sát. Trong điều kiện nhất định, thành phần ma sát biến dạng là không đáng kể so với thành phần phân tử của lực ma sát. Thành phần phân tử của lực ma sát trong trường hợp này được xác định theo công thức:

$$f = \frac{\tau}{P_T} \quad (2.14)$$

Trong đó: τ - độ bền tiếp tuyến của vật liệu.

P_T - áp lực giới hạn chảy.

Trong trường hợp chung hệ số ma sát được xác định là $f = 0,2 \div 0,17$, giá trị hệ số ma sát này có tính thực tế rất cao.

R.Kinh và Tabor đã phát triển công thức nói trên và đưa ra công thức tổng quát hơn, trong đó hệ số ma sát được xác định theo công thức:

$$f = f_0 + K \cdot \frac{\tau}{\sigma_T} \quad (2.15)$$

Trong đó: K là hệ số thực nghiệm.

Khi $f_0 = 0$ và $K = 1$ thì (2.15) trở thành công thức của Tabor và Bovden.

Trong những điều kiện ma sát nhất định, thì thành phần phân tử có thể rất nhỏ. Công thức này tính lực ma sát chỉ có thành phần cơ học của R.T.Spurr và T.P.Navcomb có mối quan hệ sau:

$$f = \frac{4d}{3\pi D} \quad (2.16)$$

Trong đó: D - đường kính mẫu thử.

d - chiều rộng vết đường trượt.

Lưu ý là mô hình thực nghiệm là mô hình ma sát dạng đĩa chốt. Theo quan điểm nghiên cứu ma sát mòn trên cơ sở năng lượng, trong điều kiện tiếp xúc dẻo Rabinowic đưa ra công thức tính hệ số ma sát như sau:

$$f = \frac{\tau}{P_T} \left(1 + \frac{2W_{ab} \cdot \cos \theta}{P \cdot a} \right) \quad (2.17)$$

Trong đó: τ và P_T - sức bền cắt và giới hạn chảy.

W_{ab} - năng lượng bám dính.

θ - góc nghiêng của nhấp nhô.

a - bán kính chỗ bám dính.

Trong những điều kiện ma sát nhất định hệ số ma sát sẽ phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi đó hệ số ma sát sẽ được xác định theo công thức thực nghiệm của G.Franke:

$$f = f_0 \cdot e^{-cv} \quad (2.18)$$

Trong đó: f_0 - hệ số ma sát tĩnh.

v - vận tốc.

c - hằng số.

Bằng thực nghiệm A.Shallamach đưa ra công thức tính lực ma sát phụ thuộc vào vận tốc và nhiệt độ đồng thời:

$$F = \frac{K \cdot \vartheta}{\gamma} \cdot \ln \frac{v}{B} + \frac{U}{\gamma} \quad (2.19)$$

Trong đó: U - năng lượng liên kết bám dính.

ϑ - nhiệt độ.

v - vận tốc.

K, γ - các hệ số thực nghiệm.

Lý thuyết ma sát cơ - phân tử (bám dính – biến dạng) đã đưa ra bản chất đối ngẫu của lực ma sát, khi lực ma sát vượt quá tương tác phân tử tại điểm tiếp xúc thực của bề mặt, các nhấp nhô có độ cao khác nhau của bề mặt vật rắn sẽ gây ra quá trình cào xước bề mặt vật mềm hơn. Tác giả Kragelsky đã đưa ra khái niệm về vật thể thứ ba xuất hiện giữa các vật thể ma sát, chỉ ra tính lưu biến ban đầu của điểm ma sát và hiện tượng dịch chuyển ban đầu như sau:

1. Tương tác của vật thể ma sát khi tập trung trong một thể tích nào đó của vật liệu, có tính chất liên kết đàn hồi. Thể tích này có thể được coi như là vật thể thứ ba.

2. Các tính chất của vật thể thứ ba bị ảnh hưởng bởi tình trạng bề mặt áp lực giữa các vật thể, thời gian, tiếp xúc, tốc độ đặt tải v.v...

3. Khi các vật thể chuyển động tương đối sẽ gây ra quá trình phá hủy lớp bề mặt, đồng thời tạo thành vật thể thứ ba.

4. Áp lực có ảnh hưởng rõ rệt đến giá trị hệ số ma sát. Cần phân biệt các lực chống lại dịch chuyển phụ thuộc vào áp lực pháp tuyến. Giá trị của hệ số ma sát phụ thuộc vào áp lực pháp tuyến và tác dụng tương hỗ của nó.

5. Giá trị của lực ma sát phụ thuộc vào thời gian tiếp xúc được xác định theo công thức:

$$F_{ms} = F_0 [\alpha - (\alpha - 1)e^{-\beta t}] \quad (2.20)$$

Trong đó: F_0 - giá trị của lực ma sát tại thời gian tiếp xúc bằng không.

$$\alpha = \frac{F_\infty}{F_0}$$

Trong đó: F_∞ - lực ma sát khi thời gian tiếp xúc là vô cùng.

β - hệ số

6. Khi vận tốc dịch chuyển của bề mặt ma sát rất nhỏ sẽ có sự nhảy vọt của các đặc trưng ma sát. Đây chính là tính chất liên kết đàn hồi của điểm tiếp xúc (khoảng dịch chuyển ban đầu và thời gian tiếp xúc ảnh hưởng tới lực ma sát).

7. Khi vận tốc dịch chuyển tương đối giữa hai bề mặt ma sát tăng thì lực ma sát cũng thay đổi. Thông thường nó sẽ đạt đến giá trị lớn nhất. Khi giá trị áp lực là lớn nhất, hệ số ma sát bị thay đổi trong vùng vận tốc trượt thấp nhất.

Bằng thực nghiệm đã xác định được mối quan hệ giữa bán kính đơn vị của vết tiếp xúc phụ thuộc vào tải trọng:

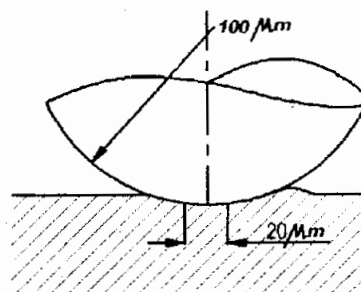
$$a_c \approx N^{1/3}$$

2.5.2. Lý thuyết ma sát cơ phân tử

2.5.2.1. Bản chất của quá trình ma sát cơ phân tử

Lý thuyết ma sát cơ phân tử do viện sỹ Kragelsky xây dựng đã cho cách giải thích phù hợp nhất về tương tác giữa các vật thể rắn tại điểm tiếp xúc ma sát.

Hiện tượng bám dính hình thành trên vết tiếp xúc là kết quả của tương tác phân tử giữa các bề mặt. Do hệ thống năng lượng bề mặt của hai vật rắn luôn hướng tới giá trị nhỏ nhất nên việc hình thành các liên kết bám dính ở các phần



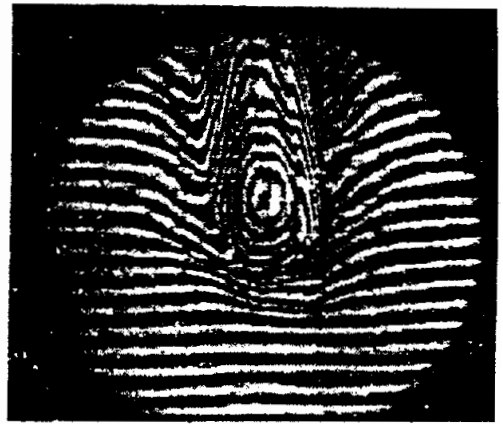
Hình 2.19. Liên kết ma sát tại đỉnh nhấp nhô (liên kết ma sát đơn vị)

gần sát nhau là không tránh khỏi.

Trong vùng tiếp xúc các đỉnh nhấp nhô cứng hơn thâm nhập vào vật thể bị biến dạng. Với mô hình chỉ có một nhấp nhô cứng, vật liệu bị chèn ép về các phía, phía trước chuyển động bị lùi lên và liên kết bám dính được hình thành. Các liên kết bám dính được hình thành từ vật liệu biến dạng càng bền thì mối liên kết bám dính càng cao, càng lớn (hình 2.19).

Phụ thuộc vào tốc độ chạy rà, các phần tử mòn được tách ra khỏi bề mặt ma sát theo mọi phương sẽ đè bẹp các đỉnh nhấp nhô và hình thành các rãnh xước, các rãnh này hướng theo phương chuyển động, chiều sâu của chúng là tập hợp của các nhấp nhô siêu vi mô. Liên kết bám dính được hình thành giữa các lớp bề mặt của vật rắn tiếp xúc ma sát, liên tục bị phá huỷ ở vùng nó được hình thành với một chiều sâu nhất định và lập đi lập lại.

Quá trình ma sát ngoài được thể hiện qua biến dạng của mỗi lớp bề mặt rất mỏng xuất phát từ vị trí bề mặt tiếp xúc của vật thể, đồng thời với hiện tượng đứt gãy mối liên kết bám dính giữa các màng mỏng bao phủ bề mặt, hoặc phá huỷ ở độ sâu hơn nếu độ bền mối liên kết bám dính lớn hơn lớp dưới nó. Giá trị của lực ma sát thay đổi phụ thuộc vào cấu trúc tiếp xúc của bề mặt ma



Hình 2.20 . Vết tiếp xúc ma sát khi trượt một chỏm cầu.

sát, quá trình ma sát trên bề mặt vật thể rắn sẽ hình thành các nhấp nhô thứ cấp gọi là nhấp nhô cấp dọc được hình thành như khi gió thổi trên mặt nước tạo thành sóng. Nhấp nhô thứ cấp ngang được hình thành do các nhấp nhô của bề mặt cứng chuyển động trên bề mặt mềm hơn thì tạo thành các rãnh. Trong trường hợp ma sát có tương tác bám dính và lớp bề mặt dễ nén thì nhấp nhô thứ cấp thể hiện rất rõ ràng. Vết tiếp xúc khi ma sát trượt được thể hiện trên hình 2.20.

Khi bề mặt tiếp xúc ma sát có nhấp nhô bề mặt thay đổi và có sóng thì vết tiếp xúc thực tồn tại trong khoảng thời gian rất ngắn. Thời gian tồn tại của tiếp xúc thực là đặc trưng quan trọng của tương tác ma sát, nó ảnh hưởng trực tiếp đến nhiệt độ vùng tiếp xúc và xác định chiều dày của màng bị mòn. Thời gian tồn tại của vết tiếp xúc tỷ lệ nghịch với tốc độ, nó phụ thuộc vào nhấp nhô bề mặt sóng bề mặt, diễn ra trong khoảng μs . Thời gian gián đoạn của vết tiếp xúc là thời gian giữa hai lần tiếp xúc, nó quyết định chiều dày màng hình thành. Biến dạng của vật liệu trong tiếp xúc ma sát phụ thuộc vào ứng suất tương tác giữa các nhấp nhô bề mặt đó là : đàn hồi, đàn dẻo với mật độ tiếp xúc là đa tiếp xúc hay đơn tiếp xúc.

Tiếp xúc của liên kết ma sát được đặc trưng bởi sự tồn tại của lớp trung gian giữa các vật thể rắn và được gọi là vật thể thứ ba. Đặc trưng cơ bản và quan trọng của vật thể thứ ba là tỷ số:

$$\tau_{\text{vật thể thứ ba}} / \tau_{\text{cơ bản}}$$

Trong quá trình ma sát trượt vật thể thứ ba luôn được tạo thành và phá huỷ. Khi tốc độ trượt lớn, quá trình ma sát sẽ dẫn tới tạo thành nhiệt độ cháy tại điểm tiếp xúc, đôi khi đạt tới nhiệt độ chảy đối với kim loại dễ nóng chảy. Trên các vùng tế vi của bề mặt có rất nhiều tương tác tham gia tạo thành liên kết ma sát: cuối cùng lớp bề mặt bị phá huỷ tạo ra phân tử mòn, nó thường chỉ lớn hơn kích thước vết tiếp xúc một ít.

Thâm nhập của các nhấp nhô cứng vào bề mặt mềm hơn trong vùng tiếp xúc thực được xác định thông qua các yếu tố: tính chất cơ lý khác nhau của chúng, thay đổi của các tính chất cơ lý tại các điểm tiếp xúc rời rạc, khác nhau về profin hình học tại điểm tiếp xúc. Trượt tương đối của một vật rắn trên bề mặt vật rắn khác sẽ gây biến dạng bề mặt mềm hơn do các nhấp nhô cứng. Căn trở các lớp về biến dạng trong trượt được gọi là thành phần cơ học của lực ma sát, nó phụ thuộc vào: tính chất cơ lý của lớp bề mặt, hình dạng hình học của các nhấp nhô và điều kiện ứng suất tại vùng tiếp xúc, và được xác định thông qua các phương pháp tính của cơ học vật rắn. Cùng với biến dạng của lớp bề mặt khi ma sát ngoài còn có tương tác phân tử tại vị trí tiếp xúc của vật thể ma sát, chúng bị rời rạc hóa với khoảng cách $10^{-7} cm$. Sự cản trượt tương đối do tác dụng của tương tác phân tử được gọi là

thành phần phân tử của lực ma sát. Như vậy, lực ma sát ngoài là tổng của hai thành phần : thành phần cơ học F_{ch} và thành phần phân tử F_{pt} :

$$F_{ms} = F_{ch} + F_{pt} \quad (2.21)$$

Thành phần phân tử và thành phần cơ học có liên quan chặt chẽ với nhau, giá trị tính được của tổng lực ma sát chỉ là gần đúng.

Xác định lực ma sát cần phải xác định được biến dạng ở vùng tiếp xúc và hình dáng hình học của nhấp nhô bề mặt. Biến dạng trong vùng tiếp xúc phụ thuộc vào tính chất cơ lý của vật rắn biến dạng, độ lớn của tải và hình dáng profin bề mặt.

Mẫu chỏm cầu của nhấp nhô bề mặt là mô hình phổ biến để tính tương tác giữa các vật thể rắn về tiếp xúc ma sát. Trong vùng thâm nhập của nhấp nhô tham gia tiếp xúc ma sát, áp dụng mô hình chỏm cầu của một nhấp nhô rời rạc đưa đến sai số không quá 10% khi xác định diện tích tiếp xúc thực, không quá 4% khi xác định ứng suất trung bình tại vùng tiếp xúc và từ 0% đến 5% khi xác định hệ số ma sát.

Các điều kiện áp dụng mô hình chỏm cầu cho tính lực ma sát như sau:

1. Phân bố các đỉnh nhấp nhô theo chiều cao của một bề mặt thực và một mô hình chỏm cầu của một bề mặt nhấp nhô thay đổi có cùng một hàm phân bố. Đường cong phân bố của bề mặt thực xác định tương quan giữa vùng tiếp xúc và độ sâu thâm nhập của mô hình chỏm cầu. Các vùng tiếp xúc được tạo bởi các tiếp xúc rời rạc có diện tích trung bình trong mô hình và trong bề mặt thực là như nhau.

2. Độ sâu thâm nhập cho mô hình chỏm cầu và bề mặt thực là như nhau, diện tích tiếp xúc, tải và lực ma sát khi trượt là giống nhau. Trong tiếp xúc của vật rắn, thâm nhập của phần cứng hơn vào phần mềm hơn thì biến dạng của nó là không đáng kể. Một vật thể có thể được giả thiết là tuyệt đối rắn trong mối quan hệ tương tác với các vật thể liên quan. Ảnh hưởng qua lại của các vùng biến dạng rời rạc có thể bỏ qua khi tính tương tác tiếp xúc, vì chúng là nhỏ khi biến dạng đàn hồi xảy ra trong vùng tiếp xúc. Khi tiếp xúc chuyển sang biến dạng dẻo với độ sâu thâm nhập tương đối $\epsilon = 0,5$, thì thông thường trong điều kiện này khớp ma sát không làm việc.

2.5.2.2. Phương pháp xác định thành phần ma sát phân tử

Đại lượng không thứ nguyên cơ bản để đánh giá thành phần ma sát phân tử là tỷ số $\frac{\tau}{\sigma_T}$, trong đó τ - sức cản trượt của liên kết phân tử,

σ_T là giới hạn chảy của vật liệu cơ bản (nền). Khi mô hình liên kết ma sát khác nhau, thì tương tác của các vật rắn cũng khác nhau. Đó là lực VanDerWaal, không phụ thuộc vào bản chất liên kết nó xuất hiện trên bề mặt tiếp xúc của hai vật thể rắn. Hiện tượng liên kết này chỉ giới hạn trong quá trình tạo thành lớp bề mặt chung của các vật rắn khi tiếp xúc.

Các nhân tố ảnh hưởng chính đến liên kết ma sát phân tử là: độ cứng tiếp xúc của các vật thể rắn, mức độ đàn hồi và các đặc tính thể tích khác có liên quan đến quá trình hình thành diện tích tiếp xúc. Chuyển động tương đối khi tiếp xúc ma sát phải thắng được sức cản tiếp tuyến, đồng thời phải phá hủy các liên kết tạo thành và sự tái hợp của chúng. Cơ chế phá hủy các liên kết ma sát phụ thuộc vào sự dịch chuyển của lớp bề mặt. Vật thể thứ ba luôn được hình thành khi tiếp xúc ma sát, nó chuyển động trong khe hẹp giữa các vật thể với trạng thái chuyển động cao có mức năng lượng 10^3 W/mm^2 . Do ảnh hưởng của dòng năng lượng vật thể thứ ba đạt gần tới trạng thái phân ly. Chuyển động của nó trên bề mặt kim loại làm cho lớp bề mặt bị rơi vào trạng thái gần bão hoà và có mức năng lượng bậc hai so với mức năng lượng trong thể tích kim loại. Cản trở chuyển động của vật thể thứ ba được xác định thông qua độ bền của liên kết đơn vị, nó thường được đánh giá bằng năng lượng kích động U cần thiết để phá hủy liên kết và số lượng của các liên kết xuất hiện đồng thời.

Trạng thái kích thích của các phân tử hợp thành vật thể thứ ba được dùng để đánh giá sức cản trở của nó. Trong trường hợp này thời gian tồn tại của các phân tử hợp thành vật thể thứ ba được xác định theo công thức:

$$t = t_0 \exp\left(\frac{U}{k\theta}\right) \quad (2.22)$$

Có thể giả thiết rằng sức cản chuyển động của vật thể thứ ba τ tỷ lệ với thời gian tồn tại của các phân tử, $\tau = a.t$ hay:

$$\tau = a.t_0 \exp\left(\frac{U}{k\theta}\right) \quad (2.23)$$

Trong đó U là năng lượng cần thiết tác động vào liên kết để phá huỷ nó, phụ thuộc không chỉ vào bản chất liên kết mà còn vào trạng thái ứng suất của vật thể. Nếu quan tâm đến dấu của ứng suất $U = U_0 \pm \gamma.p_r$, ở đây γ là hệ số có thứ nguyên là thể tích, nó đặc trưng cho độ lớn khe hở cần có để làm đứt liên kết. Tương tự $\gamma.p_r$ đặc trưng cho công cần thiết để phá huỷ liên kết. Trong trường hợp vật thể thứ ba có dạng màng mỏng chịu nén:

$$\tau = a.\exp\left(\frac{U + \gamma.p_r}{k\theta}\right) \quad (2.24)$$

Phân tích dưới dạng chuỗi số:

$$\tau = a.\left(1 + \frac{U_0}{k\theta} + \frac{\gamma.p_r}{k\theta}\right) \quad (2.25)$$

Đặt $a + \frac{a.U_0}{k\theta} = \tau_0$ và $\frac{a\gamma}{k\theta} = \beta$

Nhận được: $\tau = \tau_0 + \beta.P_r$ (2.26)

Trong đó: τ_0 - sức bền cắt của liên kết phân tử.

β - hệ số áp điện của thành phần ma sát phân tử.

Quan hệ này được rút ra từ thực nghiệm. Với các vật liệu kim loại và polyme nói chung $\beta = 0,02 \div 0,15$, với cặp ma sát kim loại và kim loại không bôi trơn $\tau_0 = 0,25 \div 3 \text{ kGf/mm}^2$.

2.5.2.3. Phương pháp xác định thành phần cơ học của lực ma sát

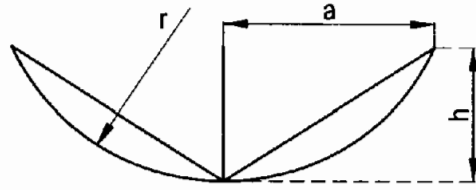
Thành phần cơ học của lực ma sát được thể hiện qua sự cản trở biến dạng của lớp bề mặt khi ma sát.

Tiêu chuẩn không thứ nguyên cơ bản để đánh giá thành phần cơ học của lực ma sát là hệ số tổn thất từ trễ, có quan hệ với tỷ số h/r trong mô hình tiếp xúc dạng chòm cầu và đơn tiếp xúc, ở đây h - chiều sâu thâm nhập, r - bán kính cong của nhấp nhô đơn. Thành cơ tăng khi tăng độ nhấp nhô và tăng tải, thể hiện tính lưu biến học. Đối với các bề

mặt đủ nhẵn (có gia công tinh lần cuối) thành phần biến dạng là không đáng kể và có thể bỏ qua (khi tiếp xúc đàn hồi).

1. Trường hợp đơn tiếp xúc

Khảo sát tiếp xúc dẻo của một nhấp nhô duy nhất có bán kính r , với chiều sâu thâm nhập h (hình 2.21). Diện tích mặt cắt vuông góc với hướng chuyển động xấp xỉ bằng diện tích của tam giác.



Hình 2.21. Mặt cắt ngang của nhấp nhô duy nhất thâm nhập vào tiếp xúc

$$A_T = h.a \quad (2.27)$$

Trong đó a là bán kính vết tiếp xúc.

Nếu ứng suất nén dẻo của vật liệu bằng σ_T , thì lực cản trở là:

$$F_M = h.a.\sigma_T \quad (2.28)$$

Tải trọng tác động lên đơn nhấp nhô là $N = \frac{\pi.a^2}{2} \cdot \sigma_N$, thừa số 1/2 kể đến nửa phía sau của viên phân chỏm cầu không chịu tải.

Hệ số ma sát trong trường hợp biến dạng dẻo được tính theo công thức:

$$f_{cd} = \frac{F_M}{N} = \frac{2.h.a.\sigma_T}{\pi.a^2 \cdot \sigma_N} \quad (2.29)$$

Nếu giả thiết gần đúng :

$$\sigma_T = \sigma_N \text{ và } a = \sqrt{2.r.h}$$

thì:

$$f_{cd} = 0,47 \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (2.30)$$

Tính chính xác theo trường hợp này đối với một nhấp nhô duy nhất trong điều kiện tiếp xúc dẻo ta có:

$$f_{cd} = 0,55 \sqrt{\frac{h'}{r}} \quad (2.31)$$

Trường hợp tiếp xúc đàn hồi, sử dụng các tính toán của Bovden & Tabor:

$$F_{dh} = 0,19 \cdot \alpha_H \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (2.32)$$

Trong đó α_H là hệ số mất mát do trề khi trượt.

Khi trượt chồm cầu $\alpha_H = 2,2\alpha$, α hệ số ma sát do trề của vật liệu khi kéo nén xuyên tâm.

Trong trường hợp đặt tải pháp tuyến khi trượt, quan hệ giữa tải và độ sâu thâm nhập được biểu diễn như sau:

$$N = C \cdot \sigma_r \cdot \pi \cdot r \cdot h \quad (2.33)$$

+ Với điều kiện tiếp xúc dẻo:

$$f_{cd} = \frac{0,31}{r} \sqrt{\frac{N}{C \cdot \sigma_r}} \quad (2.34)$$

+ Với điều kiện tiếp xúc đàn hồi:

$$f_{dh} = 0,17 \cdot \alpha_H \cdot \frac{N^{1/3} \cdot \Theta^{1/3}}{r^{2/3}} = 0,44 \cdot \alpha_H \cdot P_r$$

với
$$\Theta = \frac{1 - \mu^2}{E} \quad (2.35)$$

2. Trường hợp đa tiếp xúc

Thành phần cơ học của hệ số ma sát phụ thuộc vào phân bố theo độ cao của nhấp nhô bề mặt. Nhấp nhô bề mặt của bề mặt nhám được mô hình hoá bằng các viên phân cầu có cùng bán kính tương đương, phân bố ở độ cao khác nhau có đường cong phân bố bề mặt trùng với đường cong phân bố của bề mặt thực.

Trong trường hợp tiếp xúc dẻo, nhấp nhô bề mặt thâm nhập ở độ sâu cực đại h_k với một nửa chồm cầu. Vận tốc trượt là hằng số do đó

nhệt độ vùng tiếp xúc không thay đổi. Tổng của lực cản tiếp tuyến trên các đỉnh nhấp nhô được coi như là hàm $n_r = n_r(x)$, không gián đoạn, thành phần cơ học của lực ma sát được tính theo công thức :

$$F_{msch} = \int_0^{n_r} F_{mschi} \cdot dn_r \quad (2.36)$$

Lực ma sát trên một nhấp nhô đơn vị, đặt tại lớp dx có khoảng cách đến đỉnh nhấp nhô cao nhất là x :

$$F_{mschi} = 0,55 \cdot \pi \cdot c \cdot \sigma_r \cdot r^{1/2} \cdot R_{max}^{3/2} \cdot (\epsilon_K - x)^{3/2}$$

$$dn_r = \frac{A_c \cdot b \cdot v(v-1) \cdot x^{v-2}}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot R_{max}} dx$$

Thay vào công thức (2.36) F_{msch} có dạng:

$$F_{msch} = \frac{0,55 \cdot c \cdot \sigma_r \cdot b \cdot v(v-1) \cdot A_c \cdot R_{max}^{1/2}}{2 \cdot r^{1/2}} \int_0^{\epsilon_K} (\epsilon_K - x)^{3/2} \cdot x^{v-2} \cdot dx$$

(ϵ_K – giá trị dịch gần)

Thay thế giá trị hàm phân bố $t = \frac{x}{\epsilon_K}$ thì F_{msch} có dạng :

$$F_{msch} = \frac{0,55 \cdot c \cdot \sigma_r \cdot b \cdot v(v-1) \cdot A_c \cdot R_{max}^{1/2} \cdot \epsilon_K^{3/2}}{2 \cdot r^{1/2}} \int_0^1 (1-t)^{3/2} \cdot t^{v-2} \cdot dt \quad (2.37)$$

Giá trị của tải là $N = \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot b \cdot c \cdot \sigma_r \cdot \epsilon_K^v$.

Hệ số ma sát cơ học trong trường hợp tiếp xúc dẻo :

$$f_{cd} = \frac{F_{msch}}{N} = 0,55 \cdot K_{vf}^d \cdot \sqrt{\frac{h_K}{r}} \quad (2.38)$$

Trong đó: $K_{vf}^d = \frac{\Gamma(v+1)}{\Gamma(v+\frac{3}{2})} \cdot \frac{3}{4} \cdot \sqrt{\pi}$

Sự phụ thuộc của hệ số K_{vf}^d vào v được biểu diễn trên hình 2.22.

Tương tự công thức tính cho trường hợp tiếp xúc đàn hồi:

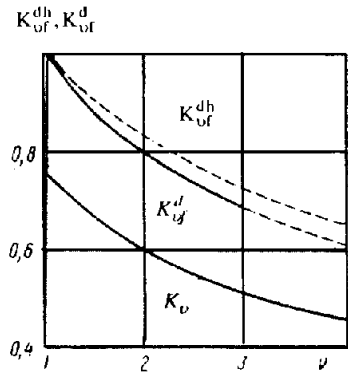
$$f_{cdh} = 0,19 \cdot \alpha_H \cdot K_{vf}^{dn} \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (2.39)$$

Trong đó:
$$K_{vf}^{dn} = \frac{8}{3\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(v + \frac{3}{2})}{\Gamma(v + 2)}$$

Trong trường hợp tiếp xúc đàn hồi đa tiếp xúc có thể tính gần đúng $h = \varepsilon \cdot R_{\max}$. Khi đó thành phần cơ học của lực ma sát được tính theo công thức:

$$f_{cdh} = 0,19 \cdot \alpha_H \cdot K_{vf}^{dn} \cdot \Delta^{\frac{v}{2v+1}} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{\pi}}{K_v} p_c \cdot \Theta^{\frac{1}{2v+1}} \quad (2.40)$$

Trong trường hợp tiếp xúc đàn hồi, đa tiếp xúc thì lực ma sát tính được rất nhỏ, giá trị của thông số tổ hợp Δ đối với một số bề mặt đủ nhẵn (có gia công tinh) nhỏ hơn 0,1 ($\Delta < 0,1$). Tích số $p_c \cdot \Theta$ luôn nhỏ hơn đơn vị ($p_c < \Theta$). Đối với thép $E = 2 \cdot 10^4 \text{ kGf/mm}^2$, áp lực vòng A_c dao động không lớn hơn $2 \cdot 10^2 \text{ kG/mm}^2$ khi đó $p_c \cdot \Theta = 0,01$, hệ số ma sát biến dạng đàn hồi là rất nhỏ, bằng phần nghìn đơn vị. Chỉ với các vật liệu có môđun đàn hồi nhỏ nó mới có ý nghĩa.



Hình 2.22. Sự phụ thuộc của các hệ số K_v , K_{vf}^{dn} , K_{vf}^d vào thông số đường cong phân bố của nhấp nhô bề mặt v .

2.5.2.4. Phương pháp tính hệ số ma sát tổng

Quá trình tương tác phân tử trong vật thể thứ ba, tác động qua lớp màng mỏng đến bề mặt của vật thể rắn với độ sâu hàng trăm micromet. Đồng thời quá trình tác động tương hỗ cơ học diễn ra trên bề mặt vật thể rắn với chiều dày lớp ảnh hưởng vào khoảng hàng chục

micromet, hoặc sâu hơn. Hai quá trình này diễn ra song song. Vì vậy có thể tính tổng gần đúng của hai lực thành phần phân tử và cơ học:

$$F = F_{msch} + F_{mspt} \quad \text{và} \quad f = f_{ch} + f_{pt} \quad (2.41)$$

Phương pháp tính tổng này đã được nhiều thực nghiệm thừa nhận:

1. Đối với đơn tiếp xúc

Xét đến bản chất hai thành phần của ma sát, hệ số ma sát đối với một nhấp nhô duy nhất được xác định theo công thức:

$$f = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + K_x \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (2.42)$$

Trong đó: $K_x = 0,55$ khi tiếp xúc dẻo.

$K_x = 0,19 \cdot \alpha_H$ khi tiếp xúc đàn hồi.

+ Trường hợp tiếp xúc dẻo:

Giả thiết một vật thể rắn tuyệt đối còn vật thể kia là dẻo lý tưởng (khi đó $\tau < 0,5 \cdot \sigma_T$) thì h/r có thể xác định qua tải, độ cứng, khi đó hệ số ma sát được tính:

$$f = \frac{\tau_0}{c \cdot \sigma_T} + \beta + \frac{0,31}{r} \frac{N}{c \cdot \sigma_T}^{\frac{1}{2}} \quad (2.43)$$

Nhận thấy rằng thành phần phân tử của hệ số ma sát không phụ thuộc vào tải trọng, còn thành phần cơ học phụ thuộc vào tải với số mũ 1/2. Mức độ ảnh hưởng của việc tăng cứng đến hệ số ma sát tương đương với việc tăng bán kính r của đỉnh nhấp nhô duy nhất.

+ Trường hợp tiếp xúc đàn hồi:

Với mô hình chỏm cầu và nửa chỏm cầu không chịu tải, áp lực thực được tính theo công thức:

$$p_r = K_0 \cdot \frac{N^{\frac{1}{3}}}{r^{\frac{2}{3}} \Theta^{\frac{2}{3}}} \quad (2.44)$$

Trong đó: $K_0 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{3}{4} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,385$

Hệ số ma sát được tính theo công thức:

$$f = 2,6 \frac{\tau_0 \cdot r^{2/3} \cdot \Theta^{2/3}}{N^{1/3}} + \beta + 0,17 \cdot \alpha_H \frac{N^{1/3} \Theta^{1/3}}{r^{2/3}} \quad (2.45)$$

Trong công thức (2.45) hệ số ma sát f giảm khi tăng tải và tăng môđun đàn hồi. Quan hệ của hệ số ma sát với áp lực thực được tính theo công thức:

$$f = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + 0,44 \cdot \alpha_H p_r \cdot \Theta \quad (2.46)$$

$$\text{Hệ số ma sát đạt cực trị khi : } p_r = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{\tau_0}{\Theta \alpha_H}} \quad (2.47)$$

2. Đối với đa tiếp xúc :

Trong trường hợp đơn tiếp xúc, lực ma sát riêng trên vết tiếp xúc đơn vị được tính theo công thức:

$$\tau_r = \tau_0 + \beta \cdot p_r + K_X \cdot p_r \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (2.48)$$

Trong đó: p_r - áp lực trung bình trên liên kết ma sát đơn vị.
 h - chiều sâu thâm nhập trên vết tiếp xúc đơn vị.

Bề mặt tiếp xúc ma sát có chiều cao nhấp nhô phân bố ở các mức khác nhau khi tiếp xúc, thì thâm nhập của các nhấp nhô và áp lực trung bình ở các liên kết ma sát đơn vị là khác nhau. Tổng lực cản trở của các liên kết ma sát được tính theo công thức:

$$F = \int_0^{n_r} \left(\tau_0 + \beta \cdot p_r + K_X \cdot p_r \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \right) \cdot \Delta A_r \cdot dn_r \quad (2.49)$$

Trong đó ΔA_r là diện tích của các liên kết ma sát.

Thành phần phân tử của lực ma sát :

$$F_{mspt} = \tau_0 \cdot A_r + \beta \cdot N \quad (2.50)$$

Thành phần cơ học của lực ma sát:

$$F_{msch} = K_X \int_0^{n_r} N_i \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \cdot dn_r \quad (2.51)$$

Trong đó N_i là tải trọng do các liên kết ma sát hấp thụ.

Thành phần phân tử của hệ số ma sát được rút ra từ các công thức (2.48) ÷ (2.51) như sau:

$$f_{pt} = \frac{\tau_0}{P_r} + \beta \quad (2.52)$$

+ Trường hợp tiếp xúc dẻo:

$$f_{pt} = \frac{\tau_0}{P_r} + \beta + 0,55 \cdot K_{vf}^{dh} \cdot \Delta^{1/2} \left(\frac{2p_c}{c \cdot \sigma_T} \right)^{1/2} \quad (2.53)$$

Trong đó: $p_r = c \cdot \sigma_T$

Đối với các bề mặt có gia công tính lần cuối khi $\nu = 2$ thì hệ số ma sát tính theo công thức:

$$f = \frac{\tau_0}{c \cdot \sigma_T} + \beta + 0,52 \cdot \Delta^{1/2} \left(\frac{p_c}{c \cdot \sigma_T} \right)^{1/4} \quad (2.54)$$

+ Trường hợp tiếp xúc đàn hồi:

$$p_r = p_c \frac{1}{2^{2\nu+1}} \cdot \left[\frac{2^{1/2\nu} \cdot k_v \cdot \Delta^{1/2}}{\sqrt{\pi} \cdot \Theta} \right]^{2\nu} \quad (2.55)$$

Khi $\nu = 2$ thì: $p_r = 0,48 \cdot \frac{p_c^{1/5} \cdot \Delta^{2/5}}{\Theta^{4/5}}$

Hệ số ma sát tổng quát được tính theo công thức:

$$f = \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2^{1/2\nu} \cdot k_v} \right)^{2\nu} \cdot \frac{\tau_0 \Theta^{2\nu+1}}{P_c^{2\nu+1} \cdot \Delta^{2\nu+1}} + \beta + 0,19 \cdot K_{vf}^{dh} \cdot \left(\frac{2\sqrt{\pi}}{k_v} \right)^{2\nu} \cdot \alpha_H \cdot (P_c \cdot \Theta)^{2\nu} \cdot \Delta^{2\nu} \quad (2.56)$$

Khi $\nu = 2$ thì:

$$f = \frac{2,1 \cdot \tau_0 \cdot \Theta}{P_c^{1/5} \cdot \Delta^{2/5}} + \beta + 0,23 \cdot \alpha_H \cdot p_c^{1/5} \cdot \Delta^{2/5} \cdot \Theta^{1/5} \quad (2.57)$$

+ Trường hợp tiếp xúc đàn hồi của bề mặt có sóng và bỏ qua thành phần cơ học:

$$f = \frac{K \cdot \tau_0 \cdot \Theta}{\Delta^{\frac{\nu}{2\nu+1}} \cdot \left(\frac{H_b}{R_b}\right)^{\frac{1}{2(2\nu+1)}}} + \beta \quad (2.58)$$

Khi $\nu = 2$ thì:

$$f = \frac{2,5 \cdot \tau_0 \cdot \Theta}{\Delta^{0,4} \cdot \left(\frac{H_b}{R_b}\right)^{0,1}} + \beta \quad (2.59)$$

Trường hợp bề mặt ma sát đã qua chạy rà và tiếp xúc đàn hồi:

$$\left. \begin{aligned} \text{Khi } \nu = 2 \text{ ta có:} \quad p_r &= 1,45 \left(\frac{\tau_0}{\alpha_H \cdot \Theta} \right)^{1/2} \\ f &= \sqrt{\tau_0 \Theta \alpha_H} + \beta \end{aligned} \right\} \quad (2.60)$$

2.5.2.5. Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số ma sát

Hệ số ma sát phụ thuộc vào tải trọng, vào đặc trưng liên kết ma sát, vào tính chất cơ lý của vật liệu và trạng thái hình học của nhấp nhô bề mặt. Ảnh hưởng của tải trọng đến hệ số ma sát là yếu tố được quan tâm đầu tiên vì nó không nhất quán, tùy thuộc vào các điều kiện ma sát cụ thể. Trong điều kiện phòng thí nghiệm với mẫu ma sát là đơn tiếp xúc - có cùng đường cong phân bố so với bề mặt thực - thì ảnh hưởng của tải đến hệ số ma sát là rất lớn. Đặc biệt trong trường hợp tiếp xúc dẻo với điều kiện bôi trơn rất tốt, khi đó $\tau_0 \rightarrow 0$ và hệ số ma sát tỷ lệ với \sqrt{N} . Trường hợp tiếp xúc đàn hồi thì số hạng đầu tiên:

$$\frac{2,1 \cdot \tau_0 \cdot \Theta^{4/5}}{P_c^{1/5} \cdot \Delta^{2,5}} \text{ và số hạng cuối cùng: } 0,23 \cdot \alpha_r \cdot P_c^{1/5} \cdot \Delta^{2/5} \cdot \Theta^{1/5} \text{ của (2.57)}$$

đều phụ thuộc vào tải trọng nhưng trái ngược nhau. Khi đó ảnh hưởng của tải đến hệ số ma sát là nhỏ và nó có cực trị.

Trong điều kiện phòng thí nghiệm, mẫu ma sát thường có diện

tích tiếp xúc danh nghĩa nhỏ và so với diện tích tiếp xúc với một sóng có thể thừa nhận rằng diện tích tiếp xúc vòng và diện tích tiếp xúc danh nghĩa là như nhau ($A_c = A_n$) thì $p_c \approx N$. Trong điều kiện này hệ số ma sát phụ thuộc rất ít vào tải. Với điều kiện bôi trơn tốt ($\tau_0 \rightarrow 0$) thì $f \approx N^n$; $n = 1/5 \div 1/7$ khi tiếp xúc đàn hồi, $n = 1/4 \div 1/6$ khi tiếp xúc dẻo.

Trường hợp thí nghiệm với diện tích tiếp xúc là mặt phẳng lớn, các thí nghiệm đã cho thấy hệ số ma sát không phụ thuộc vào tải, bảng 2.1.

Số liệu đưa ra trong bảng 2.1 phù hợp với kết quả tính theo các công thức 2.43 ÷ 2.60, do sự có mặt của sóng bề mặt, áp lực vòng phụ thuộc tải với cấp độ nhỏ hơn 1, còn hệ số ma sát phụ thuộc vào áp lực vòng cũng với mức độ nhỏ hơn 1. Do đó tổng quan chung là tải trọng không ảnh hưởng đến hệ số ma sát.

Bảng 2.1. Sự phụ thuộc hệ số ma sát vào tải khi trượt mẫu thép

LIIX15 có bề trụ được gia công đạt cấp 8 ($\Delta = 1,3 \cdot 10^{-2}$) diện tích tiếp xúc danh nghĩa $A_n = 5\text{cm}^2$ trên thép 30XГCA, không bôi trơn ($E_{\text{TP}} = 10^6 \text{ kGf/cm}^2$), $\tau_0 = 2000 \text{ kGf/cm}^2$, $\beta = 0,08$.

N(kGf)	$P_n(\text{kGf/cm}^2)$	p_c	p_r	f
0,5	0,1	104	14100	0,22
5	1	166	15500	0,21
50	10	252	16900	0,20
500	100	415	18600	0,19

Trong trường hợp ma sát của các bề mặt đã qua chạy rà, hệ số ma sát cũng không phụ thuộc vào tải trọng. Khi tiếp xúc đàn hồi, hệ số ma sát đạt giá trị cực trị với giá trị tối ưu của thông số tổ hợp bề mặt được hình thành tự phát trong quá trình chạy rà:

$$\Delta_{Tn} = \frac{16 \cdot \tau_0^{1,25}}{\Theta^{0,75} \cdot p_c^{0,5} \alpha_H^{1,25}} \quad \text{ở đây } \nu = 2 \quad (2.61)$$

Lựa chọn vật liệu và chất bôi trơn cho cặp ma sát cần phải căn cứ vào hệ số tổn hao trễ α_H và độ bền trượt của liên kết phân tử τ_0 , là hai

yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị thông số tổ hợp bề mặt tối ưu và do đó ảnh hưởng đến hệ số ma sát.

Hai thành phần của hệ số ma sát là hệ số ma sát phân tử và hệ số ma sát cơ học đều chịu ảnh hưởng của tải trọng, nhấp nhô và sóng bề mặt, cơ tính của kim loại, đặc trưng phân tử của cặp ma sát cũng như vào các điều kiện ma sát cụ thể. Tỷ lệ giữa hệ số ma sát phân tử và cơ học nằm trong phạm vi từ 100 đối với kim loại và đến 2-3 lần đối với cao su. Trong trường hợp bề mặt sau chạy rà, với điều kiện tiếp xúc đàn hồi khi $v = 2$ thì:

$$\frac{f_{pt}}{f_{ch}} = 2 + \frac{3\beta}{(\tau_0 \Theta \alpha_H)^{1/2}} \quad (2.62)$$

Các giá trị τ_0 , β của các vật liệu được tính qua thực nghiệm, bảng 2.2.

Bảng 2.2. Giá trị thông số ma sát phân tử τ_0 , β của một số vật liệu xác định từ thực nghiệm

Vật liệu	HB, kG/mm ²	f_{pt}	τ_0 , kG/mm ²	β
Fluoroplastic	3,10	0.028	0.341	0,017
Polyethylene	2,0	0.080	0.044	0,058
	2,6	0.090	0.130	0,040
Polyethylene loại ПЭНД	3,8	0,080	0,114	0,050
Polypropylene	3,70	0,380	0,011	0,035
Polycaprolactam	7,5	0,088	-	-
Light - coloured viniplast	12,0	0,091	0,372	0,06
Caprolon	13,0	0,065	0,195	0,05
Commercial capron	7,0	0,063	0,161	0,04
Polyamide loại 68Π	16,0	0,085	-	-
Plexiglass	16,0	0,220	-	-
Phenylon	31,0	0,065	-	-
Densified wood (unimpregnated)	-	-	0,050	0,061

Tiếp bảng 2.2

Vật liệu	HB, kG/mm ²	f _{pt}	τ ₀ , kG/mm ²	β
Gỗ được thấm dầu công nghiệp loại 45	-	-	0,100	0,080
Gỗ thấm dầu động cơ	-	-	0,025	0,076
Gỗ thấm chất dẻo Fluoroplastic loại Φ - 4	-	-	0,70	0,074
Gỗ thấm ceresine	-	-	0,07	0,038
Gỗ có thấm ceresine và axit stearic	-	-	0,135	0,028
Cao su	-	-	0,250	0,010
Da	-	-	-	-
<i>Tươi</i>	-	-	0,22.10 ⁻⁴	0,016
<i>Da chưa thuộc</i>	-	-	0,20.10 ⁻⁴	0,014
Da thuộc	-	-	1,7.10 ⁻⁴	0,080
Bạc trượt				
BH	25	0,102	-	-
B83	24	0,150	-	-
ACC - 6-5	-	-	1,0	0,065
A - 20	-	-	1,6	0,050
Beryllium bronze	150	0,095	-	-
Mẫu kim cương tổng hợp trên một số loại thép				
30X□CA	340	0,125	20,06	0,066
45	270	0,119	20,39	0,044
08X18H9T	159	0,15	3,18	0,130
40X	341	0,109	18,41	0,055
45	324	0,112	12,96	0,072

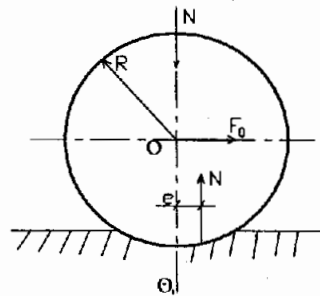
2.6 Một số khái niệm và định nghĩa về ma sát lăn

Một đĩa tròn lăn trên một nền phẳng cố định, khi nó quay một góc α thì trục của đĩa tròn di chuyển tương đối với mặt nền một lượng là $R\alpha$, chuyển động của đĩa tròn được gọi là lăn thuần túy. Trong trường hợp lăn thuần túy, điểm đĩa tròn tiếp xúc với nền sẽ không có chuyển động tương đối (hình 2.23).

Các điểm của đĩa tròn so với điểm quay tức thời O_1 có vận tốc góc là

$$\omega = \frac{v_0}{OO_1}$$

Trục đi qua điểm O_1 và vuông góc với mặt phẳng lăn của đĩa lăn được gọi là trục quay tức thời. Trên thực tế, do biến dạng của các vật thể tiếp xúc, điểm tiếp xúc lăn không nằm trên đường trục quay tức thời mà trên một bề mặt nhất định (hình 2.23).



Hình 2.23 Sơ đồ lăn của đĩa tròn trên nền cố định

Nếu đĩa tròn chịu tác dụng của ngoại lực N với phương của lực là OO_1 để đảm bảo đĩa tròn lăn với vận tốc không đổi, cần phải đặt vào đĩa một mômen quay. Nó được thực hiện bằng cách đặt một lực F_0 đủ lớn, có điểm đặt lực trên trục quay tức thời như hình 2.23. Mômen của lực này so với điểm O_1 sẽ cân bằng với mômen cản lăn.

Hệ số ma sát lăn k được xác định theo tỷ số của mômen chuyển động M với tải pháp tuyến N :

$$k = \frac{M}{N} = \frac{F_0 \cdot R}{N} \quad (2.63)$$

Như vậy hệ số ma sát lăn k khác với hệ số ma sát trượt, nó có thứ nguyên là đơn vị đo chiều dài.

Hệ số cản lăn f với đặc trưng không thứ nguyên được xác định bằng tỷ số giữa công của lực chuyển động F_0 trên một đơn vị chiều dài đường lăn và tải pháp tuyến:

$$f = \frac{A_\phi}{N \cdot \Delta l} \quad (2.64)$$

Trong đó: A_φ - công của lực chuyển động, $A_\varphi = M.\Delta\varphi$.

N - tải pháp tuyến.

Δl - quãng đường chuyển động, $\Delta l = R.\Delta\varphi$.

Suy ra
$$f = \frac{M.\Delta\varphi}{N.R.\Delta\varphi}$$

Hay
$$f = \frac{F_0.R}{N.R} = \frac{F_0}{N} \quad (2.65)$$

Khi đĩa lăn đều (trạng thái cân bằng) thì mômen tác dụng M ($M = F_0.R$) cân bằng với mômen phản lực. Phản lực $N' = N$ đã bị dịch chuyển một khoảng cách e so với phương của tải pháp tuyến N , theo chiều của chuyển động lăn.

Ta có:
$$F_0.R = N'.e \quad \text{suy ra} \quad e = \frac{F_0.D}{2.N'}$$

Hay về mặt giá trị ta có:

$$e = \frac{F_0.D}{2.N} = k \quad (2.66)$$

Trong đó: R - bán kính đĩa, $R = \frac{D}{2}$.

CHƯƠNG 3

MÒN VẬT LIỆU

3.1. Các khái niệm và định nghĩa cơ bản

Mòn là quá trình phá hủy lớp bề mặt của vật thể rắn trong tiếp xúc ma sát, giá trị mòn được đánh giá theo sự suy giảm kích thước của vật thể ma sát theo hướng vuông góc với bề mặt ma sát (đường ma sát). Tốc độ mòn của cặp ma sát trượt phụ thuộc vào cơ tính của vật liệu, hình dáng, kích thước và chất lượng của bề mặt cũng như điều kiện làm việc như: tải, vận tốc, nhiệt độ, bôi trơn ...

Các quá trình thay đổi phức tạp xảy ra trên lớp màng mỏng tiếp xúc ma sát quyết định dạng mòn. Dạng mòn chính xác không thể xác định bởi các giới hạn đơn giản. Nó phụ thuộc vào rất nhiều đặc tính, đồng thời cũng cho thấy cơ chế của quá trình mòn bề mặt là khác nhau trong những điều kiện cụ thể.

Phụ thuộc vào đặc trưng của vật thể thứ ba hình thành khi ma sát để phân biệt ba quá trình mòn: mòn không chất bôi trơn, mòn bôi trơn giới hạn và mòn bám dính. Căn cứ vào biến dạng của lớp bề mặt khi tiếp xúc ma sát để phân biệt ma sát mòn trong quá trình tiếp xúc đàn hồi, đàn dẻo - dẻo và cắt tế vi. Vì vậy cả ba đặc trưng này phải được sử dụng để xác định chính xác mòn, như hiện tượng mòn mỏi trong lớp giới hạn khi ma sát tiếp xúc đàn hồi.

Về mặt nguyên tắc quá trình mòn phụ thuộc vào thời gian có ba giai đoạn cơ bản: giai đoạn chạy rà, giai đoạn mòn ổn định và giai đoạn mòn khốc liệt.

3.1.1. Mòn cặp ma sát

Mòn của cặp ma sát là quá trình mòn tại bề mặt lắp ghép của chi tiết máy tiếp xúc có chuyển động tương đối trong điều kiện sử dụng. Quá trình mòn này có thể được biểu diễn bằng sự thay đổi về hình dáng, kích thước, khối lượng của bề mặt chi tiết hoặc làm biến dạng, mất liên kết, bong tách, chảy dẻo, iôn hoá hình thành vật liệu mới hoặc

làm xảy ra quá trình biến đổi vật lý lớp bề mặt tiếp xúc ma sát: bám dính, khuyếch tán hấp thụ, hợp kim hoá, ăn mòn, xâm thực...

Các kết cấu máy chứa các cặp ma sát gọi là các kết cấu ma sát, chúng có vai trò rõ rệt trong phân bố áp suất làm việc trên bề mặt cặp ma sát. Kết cấu ma sát tối ưu phải là kết cấu có áp suất phân bố đều trên bề mặt tiếp xúc ma sát và là nhỏ nhất, phải có điều kiện toả nhiệt, bôi trơn và chống bụi bẩn tốt.

Một trong những đại lượng quan trọng để đánh giá mòn theo thời gian hoặc theo quãng đường ma sát là lượng mòn U . Nó là giá trị mòn của cặp ma sát trong một khoảng thời gian hay trên một quãng đường ma sát nào đó. Lượng mòn U có thể được đánh giá theo chiều cao của lớp mòn trên bề mặt ma sát (theo phương vuông góc với bề mặt ma sát hay vuông góc với đường trượt), hay theo khối lượng mất đi của cặp ma sát trong quá trình làm việc, hoặc theo thể tích mòn của bề mặt khi hoạt động.

Tốc độ mòn theo thời gian được sử dụng để đánh giá quá trình mòn và so sánh với mòn tiêu chuẩn, nó là đạo hàm của lượng mòn theo thời gian hoặc theo quãng đường ma sát. Trong giai đoạn mòn ổn định tốc độ mòn là $\tan \alpha$ của góc hợp bởi đồ thị lượng mòn theo thời gian với trục thời gian và có giá trị không đổi.

Cường độ mòn của cặp ma sát I là đại lượng đánh giá mòn trên một đơn vị chiều dài quãng đường ma sát thông qua thể tích mòn, khối lượng mòn hoặc chiều cao lớp mòn. Tùy theo từng trường hợp cụ thể sẽ có cường độ mòn thể tích, cường độ mòn khối lượng, v.v ...

Cường độ mòn không thứ nguyên I_n của cặp ma sát là đại lượng không thứ nguyên dùng để đánh giá quá trình mòn, qua đó dự đoán và xác định dạng biến dạng trong vùng tiếp xúc và so sánh với các quá trình mòn tiêu chuẩn. Nó cũng là cơ sở quan trọng để đánh giá quá trình mòn là bình thường hoặc không bình thường.

Lượng mòn giới hạn U_{\max} của một cặp ma sát là lượng mòn mà tại đó xảy ra hư hỏng hoặc không có hiệu quả kinh tế nếu sử dụng tiếp. Lượng mòn giới hạn của cặp ma sát là tiêu chuẩn cơ bản để xác định tuổi thọ làm việc của cặp ma sát. Lượng mòn giới hạn càng lớn thì tuổi thọ của cặp ma sát càng dài. Tuy nhiên lượng mòn giới hạn có quan hệ

chặt chẽ với chế độ lắp ghép đảm bảo điều kiện làm việc bình thường của cặp ma sát, nên không thể tăng tự do được.

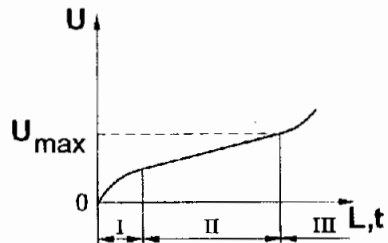
3.1.2. Đặc trưng của quá trình mòn

3.1.2.1. Sự phụ thuộc của mòn vào thời gian hoặc quãng đường ma sát.

Khi cặp ma sát bắt đầu làm việc ở chu kỳ đầu tiên, sẽ diễn ra quá trình chuyển hoá từ trạng thái bề mặt ban đầu – còn gọi là bề mặt công nghệ – sang trạng thái bề mặt làm việc hay là trạng thái sử dụng. Quá trình chuyển hoá đó đối với tất cả các cặp ma sát gọi là chạy rà hay là thời kỳ mòn ban đầu. Quá trình chạy rà là đặc biệt quan trọng trong việc bảo đảm chuyển bề mặt ma sát sang trạng thái làm việc một cách nhanh chóng, ổn định và dễ dàng, đồng thời nó có ảnh hưởng đến toàn bộ hoạt động sau này của cặp ma sát như: chế độ lắp ghép khi làm việc, biến dạng bề mặt tối ưu, tính chất cơ lý của lớp bề mặt tiếp xúc ma sát.

Trong điều kiện ma sát mòn bình thường có thể phân chia sự phụ thuộc của mòn (hay là lượng mòn), theo thời gian thành ba giai đoạn cơ bản : giai đoạn chạy rà, giai đoạn mòn ổn định và giai đoạn mòn khốc liệt. Hình 3.1 biểu diễn sự phụ thuộc của mòn vào thời gian: I là giai đoạn chạy rà, II là giai đoạn mòn bình thường, III là giai đoạn mòn khốc liệt.

Giai đoạn chạy rà I là một quá trình cơ lý hoá rất phức tạp với dấu hiệu bên ngoài là sự thay đổi trạng thái hình học ở mức vi mô và siêu vi mô. Đặc trưng của quá trình chạy rà là sự thay đổi tận gốc các tính chất lớp bề mặt mỏng của tiếp xúc ma sát, do xuất hiện các cấu trúc thứ cấp đặc biệt, đó là vật thể thứ ba có



Hình 3.1. Sự phụ thuộc của lượng mòn U vào thời gian t hay quãng đường ma sát L .

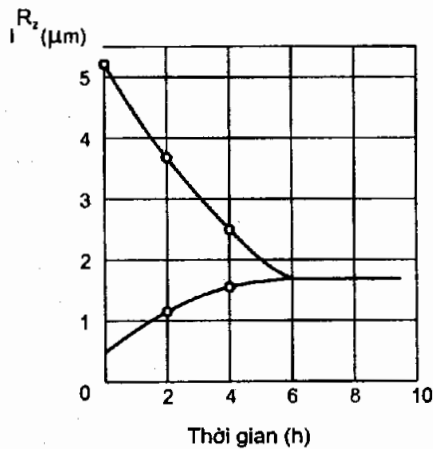
tác dụng phân tách hai bề mặt ma sát không bị tiếp xúc trực tiếp, đảm bảo cho quá trình biến dạng đàn hồi trong khớp ma sát diễn ra một cách tự phát.

Trong giai đoạn này tốc độ mòn thay đổi theo thời gian, giảm dần và cuối cùng đạt đến một giá trị ổn định ($\frac{dU}{dt} \downarrow$), đây là giai đoạn không cân bằng của quá trình mòn và nằm trong tuổi thọ chung của thời gian làm việc. Trong giai đoạn ban đầu này diện tích tiếp xúc thực là nhỏ, do vậy áp suất thực lớn và gây biến dạng dẻo. Có những nhấp nhô bề mặt bị phá hủy, đồng thời cũng có những nhấp nhô bề mặt bị nén ép, dần dần sẽ tạo thành những nhấp nhô bề mặt thứ cấp. Trị số diện tích tiếp xúc thực tăng lên, áp suất riêng trung bình và nhiệt độ trung bình trên diện tích tiếp xúc thực giảm đi. Việc tạo thành các nhấp nhô thứ cấp còn có vai trò của các phân tử thâm nhập làm cày xước bề mặt, tạo ra những nhấp nhô có hướng theo vết chuyển động. Trong điều kiện chạy rà, sau một khoảng thời gian xác định, áp suất riêng trung bình sẽ phù hợp với áp suất riêng cho phép, bảo đảm sự vận hành bình thường của cặp ma sát cũng như của máy móc và thiết bị. Khi đó trên bề mặt ma sát trạng thái hình học đạt đến trạng thái tối ưu, và cấu trúc lớp bề mặt ma sát có cơ tính ổn định, chúng phụ thuộc vào điều kiện chạy rà và không phụ thuộc vào trạng thái ban đầu.

Thực nghiệm đã cho thấy nhấp nhô của bề mặt sau chạy rà sẽ đạt tới giá trị ổn định, nó phụ thuộc vào điều kiện ma sát p và v , không phụ thuộc vào trạng thái công nghệ của cặp ma sát trượt, hình 3.2.

Trong trường hợp sau chạy rà, thừa nhận thông số của đường cong phân bố nhấp nhô bề mặt theo độ cao: $b = 2, v = 2$.

Lý thuyết ma sát cơ phân tử cho thấy sự phụ thuộc của các thông số đặc trưng cho tương tác ma sát và thông số hình học vi mô của bề mặt ma sát. Ổn



Hình 3.2. Sự thay đổi của bề mặt hình học trong quá trình chạy rà của mẫu thép 45 và hợp kim BPOIC 5-5-5 trong điều kiện ma sát giới hạn $p_0 = 30 \text{ kg/cm}^2$, $v = 5 \text{ m/s}$ và độ nhấp nhô ban đầu khác nhau.

định của nhấp nhô bề mặt trên vật rắn tiếp xúc ma sát phụ thuộc vào độ bền của liên kết, tương tác phân tử trên điểm tiếp xúc, tính chất đàn hồi của vật liệu và tải trọng pháp tuyến. Khả năng tính toán và dự kiến độ nhấp nhô thứ cấp tối ưu khi thiết kế chi tiết và các kết cấu ma sát cho phép sử dụng các biện pháp công nghệ gia công bề mặt phù hợp với độ nhấp nhô xác định, đảm bảo mòn của các bề mặt tiếp xúc ma sát là nhỏ nhất khi chạy rà. Sau quá trình chạy rà chất lượng bề mặt của cặp ma sát thay đổi hoàn toàn về cơ lý hoá cũng như trạng thái hình học bề mặt.

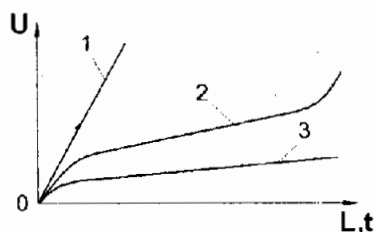
Giai đoạn mòn ổn định II là giai đoạn dài nhất về mặt thời gian và được đặc trưng bởi sự ổn định của tốc độ mòn theo thời gian $\frac{dU}{dt} = \text{const}$. Trong giai đoạn này có sự cân bằng động giữa hình thành, biến dạng và phá huỷ lớp cấu trúc thứ cấp trên bề mặt tiếp xúc ma sát. Thông số tổ hợp của nhấp nhô bề mặt Δ đạt tới giá trị tối ưu và không thay đổi trong điều kiện ma sát nhất định. Do đó hệ số ma sát là nhỏ nhất và ổn định trong giai đoạn này, tốc độ mòn có quan hệ tuyến tính với thời gian hoặc quãng đường ma sát. Với giá trị mòn giới hạn được xác định trước có thể dự báo được tuổi thọ làm việc của cặp ma sát. Biểu hiện bên ngoài rõ ràng nhất của quá trình mòn ổn định đó là sự ổn định nhiệt của cặp ma sát khi làm việc, nó đặc trưng cơ bản cho quá trình mòn bình thường trong tiếp xúc ma sát.

Giai đoạn mòn khốc liệt III là giai đoạn đặc trưng bởi sự tăng vọt nhanh của tốc độ mòn theo thời gian $\frac{dU}{dt}$ hay theo quãng đường ma sát $\frac{dU}{dL}$. Trong quá trình làm việc bình thường của cặp ma sát, khi lượng mòn U đạt đến một giá trị nhất định thì nó sẽ làm thay đổi rõ ràng chế độ lắp ghép của cặp ma sát. Trong điều kiện có bôi trơn việc tăng khe hở này làm giảm hiệu ứng thuỷ động của ổ, đưa ổ về bôi trơn nửa ướt và bôi trơn giới hạn, làm tăng nhanh mòn bề mặt ổ. Với điều kiện bôi trơn có giới hạn hoặc khô, tăng khe hở lắp ghép giữa các bề mặt lắp ghép đồng nghĩa với việc suy giảm chiều dày lớp bề mặt có cơ tính cao được tạo thành trong quá trình nhiệt luyện hoặc hoá nhiệt luyện và làm giảm bền lớp bề mặt. Mặt khác, với lượng mòn U nhất định kèm theo

việc sai lệch hình dáng hình học của bề mặt tiếp xúc dẫn đến va đập của các bề mặt ma sát và nó bị chuyển dần sang quá trình mòn không bình thường, trạng thái hình học tế vi bề mặt xấu đi, nhấp nhô bề mặt tăng lên. Đây là những nguyên nhân chính làm cho tốc độ mòn của cặp ma sát tăng nhanh.

Tuy nhiên trong thực tế đồ thị mòn không phải là đường đều đặn. Mà nó có sự dao động nhất định xung quanh kỳ vọng toán học của lượng mòn U với tung độ là lượng mòn U không giảm.

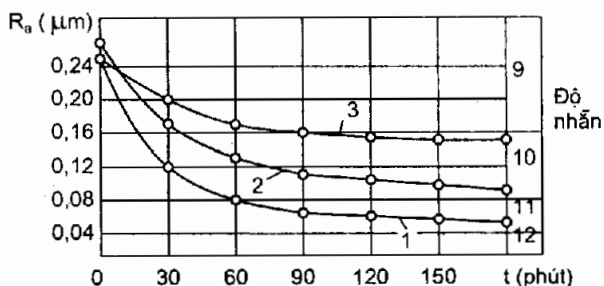
Trong giai đoạn mòn ổn định, thừa nhận quy luật mòn là tuyến tính. Để xác định được quy luật của giai đoạn này cần ít nhất giá trị của lượng mòn tại hai thời điểm khác nhau. Từ đó có thể xác định được tốc độ mòn của giai đoạn mòn bình thường này.



Hình 3.3. Ảnh hưởng của các quá trình chạy rà khác nhau đến mòn bề mặt lắp ghép của chi tiết máy

Hình 3.3 trình bày các đường cong mòn với thời gian chạy rà khác nhau.

Đường cong 1 đặc trưng cho quá trình mòn trong những điều kiện chạy rà không tốt. Khi đó trong quá trình chạy rà bề mặt ma sát bị tróc mạnh và không tồn tại màng bảo vệ, không được bôi trơn đầy đủ, dẫn tới việc hình thành các vết xước và các hư hỏng khác. Cặp ma sát bị làm việc trong điều kiện không bình thường.



Hình 3.4. Sự thay đổi nhấp nhô bề mặt trục khuỷu phụ thuộc vào thời gian chạy rà ; 1, 2, 3 tương ứng với tốc độ 100, 800, 1700 vglph.

Đường cong 2 đặc trưng tổng quát cho quá trình mòn bình thường theo thời gian.

Đường cong 3 đặc trưng cho quá trình mòn trong điều kiện chạy rà được cải thiện chất lượng. Mòn của quá trình chạy rà không lớn, cường độ mòn và lực ma sát trong giai đoạn chạy rà giảm nhanh và đạt đến giá trị ổn định trong thời gian ngắn. Hiện tượng tróc không phát triển, trên bề mặt ma sát hình thành biến dạng vi mô tối ưu và các cấu trúc thứ cấp chống mòn.

Hình 3.4 trình bày sự thay đổi của nhấp nhô bề mặt trục khuỷu sau khi chạy rà ở các tốc độ khác nhau.

3.1.2.2. Các đại lượng đặc trưng của quá trình mòn.

Quá trình mòn với tác dụng phá huỷ, xảy ra trong thể tích nhỏ của vật liệu ở các liên kết ma sát, nơi diễn ra các tác động tương hỗ mạnh, hình thành diện tích tiếp xúc thực của bề mặt ma sát và tạo thành các phần tử mòn tách ra khỏi vùng ma sát. Thông thường giá trị mòn được đánh giá theo sự giảm kích thước của bề mặt ma sát theo hướng vuông góc với bề mặt ma sát.

Trong chế độ tiếp xúc ma sát tĩnh diện tích tiếp xúc thực A_r không thay đổi, ($A_r = \text{const}$) theo thời gian. Khi chuyển động trượt tương đối các liên kết ma sát đang tồn tại bị phá huỷ và làm phát sinh các liên kết mới với giá trị đường kính trung bình của vết tiếp xúc tương ứng. Số lượng các liên kết ma sát phụ thuộc vào chu kỳ tải trọng.

Thể tích vật liệu ΔV tách ra từ bề mặt ở dạng phần tử mòn tỷ lệ với diện tích tiếp xúc thực A_r : $\Delta V \sim A_r$

Sự phá huỷ trên vết tiếp xúc thực có thể xem là tập hợp của các sự kiện độc lập đồng xác suất, và hệ số tỷ lệ trong mối quan hệ này có thứ nguyên là đơn vị đo chiều dài.

Khi trượt trên đường kính trung bình của vết tiếp xúc, phá huỷ chỉ xảy ra trong một phần của diện tích tiếp xúc thực A_r , và có thể giả thiết tách ra một lớp có chiều dày Δh từ mỗi vết tiếp xúc thực:

$$\Delta V = \Delta h \cdot A_r$$

Trong mối quan hệ trên giá trị Δh không phải là giá trị mòn thực sự trong một vết tiếp xúc thực trên lớp màng của bề mặt vật liệu. Với quan niệm đó các phá huỷ trên từng vết tiếp xúc thực của bề mặt tiếp

xúc ma sát sẽ tập hợp đưa đến giá trị mòn tương ứng cuối cùng là ΔH .

Tại mỗi điểm mòn xuất hiện và bị phá hủy, quá trình này được diễn ra với Z liên kết ma sát:

$$Z = \frac{\Delta H}{\Delta h}$$

Chia bề mặt mòn thành các dải nhỏ dọc theo hướng trượt với chiều rộng là d_1 (kích thước trung bình của vết tiếp xúc theo phương vuông góc với hướng trượt). Chiều dài của mỗi dải phải đảm bảo trên đó xuất hiện Z liên kết ma sát.

Tổng số liên kết ma sát xuất hiện khi ma sát cho cả bề mặt ma sát là:

$$N_0 = \frac{a}{d_1} \times \frac{\Delta H}{\Delta h}$$

Trong đó a là kích thước của vật thể mòn theo phương vuông góc với hướng trượt.

Gọi mật độ vết tiếp xúc là: $\gamma = \frac{n_r}{A_a}$

Trong đó: $n_r = \frac{A_r}{\Delta A_r}$

Tổng số liên kết ma sát xuất hiện trên diện tích ma sát:

$$N = \frac{a}{d_1} \times \frac{\Delta H}{\Delta h} \times \frac{l}{\gamma} \quad (3.1)$$

Quãng đường ma sát được xác định bằng công thức:

$$L = \frac{\Delta H}{\Delta h} \times \frac{l}{d_1 \cdot \gamma} \quad (3.2)$$

và $\frac{\Delta H}{L} = \frac{d_1 \cdot d_2}{\Delta A_r} \times \frac{\Delta h}{d_2} \times \frac{A_r}{A_a} \quad (3.3)$

Trong đó: ΔA_r - diện tích trung bình của vết tiếp xúc đơn vị.

d_2 - đường kính trung bình của vết tiếp xúc theo hướng trượt.

Đặc trưng vĩ mô của quá trình mòn là I_n :

$$I_h = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.4)$$

Đặc trưng vi mô của quá trình mòn là cường độ mòn đơn vị i_h :

$$i_h = \frac{\Delta h}{d_2} \cdot \frac{\Delta V}{A_r \cdot d_2} \quad (3.5)$$

Thông thường có thể chấp nhận nhấp nhô bề mặt có $d_1 \approx d_2 \approx d$ do đó:

$$I_h = \frac{4}{\pi} \times i_h \times \frac{A_r}{A_u} \approx i_h \times \frac{A_r}{A_u} \quad (3.6)$$

Ngoài hai đặc trưng cơ bản nói trên còn có các đại lượng sau:

Cường độ mòn theo khối lượng:

$$I_g = \frac{\Delta G}{L} \quad (3.7)$$

Cường độ mòn theo thể tích:

$$I_v = \frac{\Delta V}{L} \quad (3.8)$$

Trong đó ΔV và ΔG là thể tích và khối lượng mòn tương ứng trên quãng đường ma sát.

Cường độ mòn đơn vị thể tích:

$$w = \frac{\Delta V}{N \cdot L} \quad (3.9)$$

Trong đó: N – tải trọng pháp tuyến.

L – quãng đường ma sát.

Quan hệ giữa cường độ mòn không thứ nguyên và mòn đơn vị thể tích:

$$w = \frac{I_h}{P_a} \quad (3.10)$$

Trong đó: p_a - áp lực danh nghĩa trên vết tiếp xúc.

Cường độ mòn không thứ nguyên của cặp ma sát có thể xác định theo kích thước thay đổi của nó hay theo khối lượng với các tính toán hình học của ma sát theo công thức:

Theo thể tích:
$$I_h = \frac{\Delta V}{A_1 \cdot L} \quad (3.11)$$

Theo kích thước:
$$I_h = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.12)$$

Theo khối lượng:
$$I_h = \frac{\lambda}{\rho} \times \frac{\Delta G}{A_a \cdot L} \quad (3.13)$$

Trong đó:

A_1 – diện tích bề mặt ma sát của chi tiết.

λ - tỷ số diện tích danh nghĩa và diện tích bề mặt ma sát,

$$\lambda = \frac{A_a}{A_1}$$

ρ – khối lượng riêng của vật liệu mòn.

Cường độ mòn của các vật liệu nói chung nằm trong khoảng:

$$I_h = 10^{-3} \div 10^{-13}$$

Các công thức tính diện tích tiếp xúc và quãng đường ma sát cho trong bảng 3.1.

3.2. Một số cơ chế hình thành các phần tử mòn

3.2.1. Vai trò của phần tử mòn

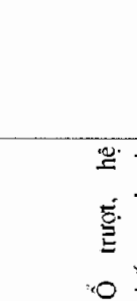
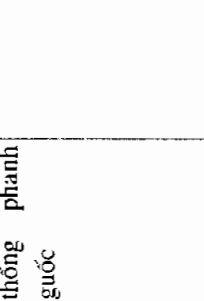
Quá trình hình thành các phần tử mòn khi ma sát là một quá trình phức tạp và rất quan trọng. Hiểu được quá trình này sẽ cho phép làm sáng tỏ cơ chế phá hủy bề mặt vật liệu khi ma sát và xây dựng phương pháp tính.

Việc nghiên cứu thực nghiệm rất phức tạp do tính đặc thù của quá trình mòn. Xác định chính xác đối tượng phá hủy, loại bỏ tác dụng phá hủy chỉ là hiện tượng đơn lẻ, còn những nơi xuất hiện phá hủy thì không thể dự báo được.

Bảng 3.1. Các công thức tính để xác định diện tích ma sát và đường ma sát

STT	Sơ đồ động cặp ma sát	Chu kỳ chuyển động	Công thức cơ bản	Cơ cấu, máy	Chú thích
1		Từ O đến O'	$A_n = bd;$ $A_{r1} = (l + b)d$ $A_{r2} = b.d$ $L_{01} = \begin{cases} x (b \geq x \geq 0) \\ b (L \geq x \geq b) \\ L + b - x (L + b \geq x \geq L) \end{cases}$ $L_{02} = l$ $\lambda_1 = \frac{b}{L + b}; \lambda_2 = 1$	Các cơ cấu dẫn hướng, vòng vít, cơ cấu culit, xy lanh-piston, ..	d – kích thước tiếp xúc của vật thể 1 và 2 theo hướng vuông góc với bản vẽ.
2		Chi vật thể 1 quay	$A_n = \frac{\alpha Z}{2} (R_H^2 - R_b^2)$ $A_{r1} = \frac{\alpha Z}{2} (R_H^2 - R_b^2)$ $A_{r2} = \pi (R_H^2 - R_b^2)$ $L_{01} = 2\pi r (R_H \geq r \geq R_b)$ $L_{02} = \alpha Z r (R_H \geq r \geq R_b)$ $\lambda_1 = 1 \quad \lambda_2 = \frac{2\pi}{\alpha Z}$	Ổ chặn, ly hợp ma sát, phanh đĩa, vòng vít mặt đầu	Z – số răng quạt

Tiếp bảng 3.1

SST	Số động cấp ma sát	Chu kỳ chuyển động	Công thức cơ bản	Cơ cấu, máy	Chú thích
3		<p>Chỉ vật thể 1 quay</p>	$A_a = 2\varphi_0 \cdot Rd;$ $A_{r1} = 2\pi R_d$ $A_{r2} = 2\varphi_0 R_d$ $L_{01} = 2\varphi_0 R;$ $L_{02} = 2\pi R;$ $\lambda_1 = \frac{\varphi_0}{\pi}; \lambda_2 = 1$	<p>Ổ trượt, hệ thống phanh guốc</p>	
4		<p>Một vật thể quay, vật thể kia quay theo</p>	$A_a = 2\varphi_2 \cdot R_2 d = 2\varphi_1 \cdot R_1 d;$ $A_{r1} = 2\pi R_1 d$ $A_{r2} = 2\pi R_2 d$ $L_{01} = 2\varphi_1 R_1 \left(1 - \frac{\omega_2 R_2}{\omega_1 R_1} \right);$ $L_{02} = 2\varphi_2 R_2 \left(\frac{\omega_1 R_1}{\omega_2 R_2} - 1 \right);$ $\lambda_1 = \frac{\varphi_1}{\pi}; \lambda_2 = \frac{\varphi_2}{\pi}$	<p>Cơ cấu cam, bộ truyền bánh ma sát, các bộ biến tốc</p>	<p>φ_1 và φ_2 phụ thuộc vào tài, tính chất, kích thước của vật thể 1 và 2. d – kích thước tiếp xúc của vật thể 1 và 2 theo hướng vuông góc với bán kính $\frac{\omega_1 R_1}{\omega_2 R_2} > 1$</p>

Các phân tử hạt mòn là một nguồn thông tin quan trọng . Nghiên cứu hình dạng, kích thước, thành phần, dạng bề mặt, tính chất cơ lý cho phép xác định quá trình tạo thành chúng.

Việc tách các phân tử mòn ra khỏi bề mặt ma sát là kết quả của một lần hay nhiều lần tương tác. Nếu phân tử mòn tách ra là kết quả của một lần tương tác thì cường độ mòn trong trường hợp này là vô cùng lớn.

3.2.2. Một số cơ chế chủ yếu hình thành các phân tử mòn

1. Cơ chế bám dính

Tác giả J.Archard đã đưa ra cơ chế mòn bám dính, đưa hệ số k vào công thức mòn là số lần tương tác n cần thiết để tạo thành phân tử mòn ($n = k^{-1}$), nếu các tác dụng tiếp theo vẫn thực hiện trên cùng một vật liệu thì rõ ràng sự phá huỷ bắt đầu do kết quả tác dụng lần thứ hai chứ không phải lần thứ nhất.

2. Cơ chế mòn do tróc

Tác giả N.P Suh đưa ra lý thuyết mòn do tróc. Theo tác giả chiều dày lớp mòn được xác định theo độ suy giảm chiều dày của vùng biến dạng tập trung:

$$h = \frac{G \cdot b}{4(1 - \mu) \cdot \sigma_r} \quad (3.14)$$

Trong đó: G – mô đun trượt.

b – tenxơ Burgers.

μ - hệ số Poatxông.

σ_r – ứng suất ma sát.

Rõ ràng tỷ số G/σ_r càng nhỏ thì chiều dày lớp mòn càng nhỏ. Vết nứt xuất hiện trên bề mặt phân bố song song với bề mặt ma sát. Tốc độ xuất hiện vết nứt trong vật liệu cứng chậm là do độ bền dính của vật liệu cao. Mòn của vật liệu có độ cứng cao, nhỏ hơn của vật thể mềm.

3. Cơ chế chuyển rời vật liệu

Phần tử tách ra từ bề mặt không biến ngay thành phần tử mòn. Phần tử mòn chỉ ra khỏi vùng ma sát sau khi bám dính nhiều lần vào bề mặt ma sát.

M.Kerridge và J.K Lancaster sử dụng một mẫu nhiễm xạ khi trượt trên vành dẫn hướng bằng thép dụng cụ đã thấy rằng, đoạn xuất hiện phần tử mòn xuất hiện trước đoạn chúng tích tụ trên bề mặt vật thể đối. Số lượng các phần tử chuyển rời tăng dần cho đến khi đạt tới giới hạn chuyển rời. Các thí nghiệm phát hiện trung bình mỗi lần phần tử mòn tạo thành từ 50 phần tử rời.

4. Cơ chế mòn do mỏi

D.Scott, W.W. Seifert và Westcott đưa ra cơ chế khác về sự hình thành phần tử mòn. Khi ma sát kim loại trên bề mặt xuất hiện lớp bề mặt có tính năng thay đổi. Lớp bề mặt này có các vết nứt tế vi và các khuyết tật khác lan truyền vào trong lòng khối vật liệu. Tác dụng lặp lại khi ma sát dẫn tới mỏi của lớp này, và tách các hạt mòn. Các hạt mòn góp phần làm nhẵn bóng bề mặt.

5. Cơ chế N.Soda

Giả thiết các phần tử mòn được tách ra có thể nhỏ hơn kích thước vết tiếp xúc. Tác giả đã đánh giá, các tiếp xúc không bình thường ở nơi có thể diễn ra phá huỷ là 10^{-3} và nhỏ hơn vết tiếp xúc đơn vị. Dựa vào đó kích thước của phần tử mòn được tìm ra là 10^{-5} mm. Tuy vậy giả thiết này không hoàn toàn đúng vì không thể xem thường việc nghiên cứu phần tử mòn khi chúng đi ra khỏi vùng tiếp xúc.

6. Cơ chế E.Rabinowicz

Bằng các thí nghiệm đã xác định giới hạn của kích thước phần tử chuyển rời và phần tử mòn. Các tính toán này nhằm xác định công chi phí cho việc tách các phần tử vật liệu do tăng năng lượng bề mặt. Công này có thể tính theo năng lượng đàn hồi tích lũy ở vi thể tích khi ma sát. Khi tính toán kích thước phần tử chuyển rời, tác giả đưa ra giả thuyết rằng : chúng bị giới hạn bằng các chỏm cầu bán kính $d/2$ (d là đường kính vết tiếp xúc).

Năng lượng đàn hồi dự trữ trong thể tích này là:

$$E_c = \frac{\varepsilon_{\max}^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{12} \quad (3.15)$$

Trong đó: ε_{\max} – biến dạng đàn hồi ban đầu.

E – môđun đàn hồi.

Năng lượng bề mặt cần thiết để các phân tử bị tách ra khỏi vết tiếp xúc là:

$$\Delta E_s = 2 \cdot \gamma_a \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \quad (3.16)$$

Trong đó: γ_a – năng lượng liên kết bám dính.

Điều kiện chuyển dời bộ phận:

$$E_c > \Delta E_s \quad (3.17)$$

$$\text{Dẫn tới: } d_p > \frac{24 \cdot \gamma_a}{E \cdot \varepsilon_{\max}^2} \quad (3.18)$$

Trong đó: d_p - đường kính phân tử bong tách.

Trong trường hợp phân tử nằm ở khe hở giữa các mặt làm việc và không thể bám vào bề mặt ta có:

$$d_h > \frac{6 \cdot W_{ab}}{\mu^2 \cdot E \cdot \varepsilon_{\max}^2} \quad (3.19)$$

Trong đó: d_h - đường kính phân tử mòn.

W_{ab} - năng lượng liên kết dính.

μ - hệ số Poatxông.

Đối chiếu giá trị min của kích thước phân tử từ phương trình (3.18) và (3.19) có:

$$\frac{d_p}{d_h} \approx \frac{1}{5} \quad (3.20)$$

Từ phương trình (3.20) thấy rằng thể tích phân tử mòn lớn hơn 125 lần thể tích bong tách. Kết quả thực nghiệm và tính theo các công thức (3.18), (3.19) có giá trị gần giống nhau vì vậy các đặc trưng kể ra là gần đúng khi các tác giả bỏ qua nhân tố biến dạng trượt khi ma sát trượt.

7. Cơ chế Sasada và Kando

Sự nghiên cứu sự tích tụ của các phần tách ra trên vết tiếp xúc khi trượt cho thấy, phần của bề mặt vật liệu được tách ra có kích thước nhỏ hơn đường kính vết tiếp xúc của phần tách ra, dẫn đến việc hình thành các màng kết tinh, nó dính chặt vào vật thể đối, sau đó có thể chuyển dời một lần nữa tới bề mặt của nó (nơi tách ra) hoặc là chuyển dời tới vị trí mới trên vật thể đối. Trong trường hợp này kích thước của phần bong tách lớn lên cùng sự bong tách của bề mặt đối. Các phần tử dính tiếp tục phát triển đến thời kỳ lực bám dính có đủ khả năng giữ các phần tử chung này. Sự hấp thụ khí trên bề mặt của phần tử bong tách hình thành màng bảo vệ làm giảm lực bám dính.

Cơ chế trên cho phép xác lập mối liên hệ giữa kích thước của phần tử mòn với các thông số như: vận tốc trượt, áp lực khí quyển. Khả năng dính kết của các phần tử bong tách càng cao thì phần tử khí được hấp thụ trên bề mặt của chúng càng nhỏ. Khả năng này tăng lên với sự giảm của áp lực khí quyển xung quanh và tăng góc độ trượt.

8. Cơ chế T.Sasada và S.Norose

Thí nghiệm đối với cặp ma sát Ni – Ni đã cho thấy, không chỉ có sự tích tụ của các phần tử bị phá huỷ mà còn cả sự tương tác chuyển đổi giữa bề mặt này với bề mặt khác.

3.3. Phân loại các dạng mòn

Sự tạo thành bề mặt mòn là kết quả tổng hợp của nhiều tác nhân cơ bản, nhưng khác nhau về cường độ và hình thức của các biến đổi về tính năng cơ lý hoá của vật liệu dưới tác động của yếu tố bên ngoài (môi trường, áp suất, nhiệt độ, dạng ma sát, tốc độ dịch chuyển tương đối v.v...). Trong quá trình ma sát, tập hợp các hiện tượng nói trên sẽ xác định dạng mòn. Sự đa dạng của vật liệu và điều kiện làm việc quyết định tính đa dạng của quá trình mòn cặp ma sát.

Nguyên lý do B.I. Costetxki đưa ra, về quá trình chủ yếu và quá trình kèm theo của hiện tượng mòn, có ý nghĩa quyết định trong cách phân loại. Theo nguyên lý đó, dạng mòn chủ yếu là quá trình áp đảo (biểu hiện cả về chất và lượng) trong tổng thể các quá trình xảy ra. Dạng mòn có thể xác định gần đúng bằng dấu hiệu bên ngoài như

dạng bề mặt ma sát. Để có nhận định đầy đủ, cần có sự phân tích thành phần và tích chất cơ lý của bề mặt mòn.

Những dạng hư hỏng bề mặt ma sát không thuộc khái niệm mòn theo nghĩa thông thường trong thực tế cũng nên xem xét những dạng hư hỏng này cùng với mòn.

Mài mòn là một quá trình mòn khi có môi trường hạt mài trong vùng ma sát.

Có hai dạng mài mòn đó là mài mòn cơ hóa và mài mòn cơ học.

Mài mòn cơ hóa xảy ra khi $\frac{H_k}{H_m} > 0,6$

Mài mòn cơ học xảy ra khi $\frac{H_k}{H_m} \leq 0,6$ (hư hỏng không cho phép).

Trong đó: H_k - độ cứng của kim loại.

H_m - độ cứng của hạt mài.

Mòn hạt mài rất hay xảy ra đối với các thiết bị và máy móc hoạt động trong ngành nông nghiệp, xây dựng và giao thông. Chúng còn xuất hiện trong những cặp lắp ghép chịu ma sát của nhiều loại thiết bị cơ khí, động cơ, thủy lực, khí nén, do có các hạt mài cứng lọt vào vùng ma sát theo không khí, dầu bôi trơn, nhiên liệu hoặc khi gia công tinh lần cuối bằng dụng cụ mài. Trong nhiều trường hợp mài mòn còn do chính các phần tử mòn cũng được hình thành trong quá trình ma sát. Những cấu trúc cứng của các bề mặt ma sát phức hợp cũng có tác dụng gây mòn hạt mài.

Dạng và cơ chế phá huỷ được xác định do tương tác của bề mặt ma sát đối với môi trường có hạt mài, và thực chất là trượt của các hạt mài cũng gây biến dạng dẻo kim loại, thâm nhập vào nhau ở những chỗ tiếp xúc, phá huỷ thể tích bề mặt không tách phần tử mòn hoặc tạo phoi tế vi.

Có hai dạng biểu hiện rõ rệt của quá trình mài mòn dựa trên đặc tính tương tác giữa hạt mài với bề mặt kim loại.

Dạng thứ nhất – phá huỷ cơ hoá là chủ yếu: biến dạng dẻo của thể tích bề mặt, sự oxy hoá của chúng và sự phá huỷ lớp màng vừa hình thành.

Dạng thứ hai – phá huỷ cơ học các lớp kim loại bề mặt chiếm ưu thế, thâm nhập của các hạt mài, phá huỷ các thể tích kim loại bề mặt không tách hạt kim loại gốc hoặc có tạo phoi tế vi. Dạng này thuộc các quá trình hư hỏng không cho phép xảy ra khi có ma sát.

Trên hình 3.5 cho thấy mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt trong trường hợp thứ nhất và trường hợp thứ hai.

Trạng thái bề mặt và các lớp kim loại bề mặt bị hư hỏng do tác dụng của hạt mài được cho trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Đặc tính trạng thái bề mặt và các lớp bề mặt thép khi mòn và hư hỏng do tác dụng của mòn hạt mài.

Các tiêu chuẩn đánh giá quá trình	Dạng phá huỷ do mài mòn	
	I	II
Cấp độ nhẵn bề mặt	7 ÷ 12	5 ÷ 10
Độ sâu của các lớp bị phá huỷ	Đến 2000Å	Đến 0,20 ^{mm}
Nhiệt độ lớp hoạt tính bề mặt	Đến 50°C	Đến 50°C
Thay đổi thành phần hoá học và pha của lớp bề mặt	Tạo dung dịch rắn cùng tinh oxyt	Không
Thay đổi tương đối của độ cứng các lớp bề mặt (H_s/H_{bd})	2 ÷ 3	1,5
Hệ số tăng thể tích của lớp bề mặt	1,05 ÷ 1,08	1
Ứng suất trong lớp bề mặt	Nén và kéo hạn chế	Nén
Dạng phá huỷ bề mặt	Dòn - dẻo	Dẻo - dòn
Tốc độ của quá trình phá huỷ	Dưới 0,5µm/n	0,5 ÷ 50µm/h
Các quá trình phụ kèm theo	-	Ôxy hoá ở nhiệt độ thấp

Mài mòn bề mặt ma sát gắn liền với sự có mặt của các hạt mài trong vùng ma sát, nó có thể xuất hiện trong khoảng rất rộng của các tác động bên ngoài. Sự xuất hiện dạng mài mòn cơ hoá hay cơ học phụ thuộc vào các tính chất cơ học của hạt mài, cũng như hình dáng hình học của nó với các lớp bề mặt của kim loại bị mài mòn.

Mòn oxy hoá là quá trình phá huỷ dần bề mặt của chi tiết khi ma sát, do tương tác giữa các lớp bề mặt hoạt tính bị biến dạng dẻo với oxy không khí hay của dầu bôi trơn hấp thụ trên bề mặt. Mòn oxy hoá thể hiện ở sự hình thành các lớp màng hấp thụ hoá học, của các hợp chất hoá học giữa kim loại với oxy và sự bong tách của lớp màng ấy ra khỏi bề mặt ma sát. Mòn oxy hoá là quá trình ổn định tính cân bằng động giữa phá huỷ và phục hồi các lớp màng oxit, đặc trưng cho điều kiện sử dụng bình thường của các cặp ma sát.

Ở dạng mòn này, tốc độ oxy hoá (v_{ox}) lớn hơn tốc độ của các quá trình cùng xảy ra trên bề mặt ma sát, nghĩa là hiện tượng oxy hoá chiếm ưu thế. Độ bền của các lớp màng được tạo thành bảo đảm cho sự tiến triển ổn định của dạng mòn này : tốc độ phá huỷ của lớp màng v_{ph} không vượt quá tốc độ oxy hoá ($v_{ox} > v_{ph}$).

Mòn oxy hoá có một số dạng biểu hiện. Đặc tính và cường độ của quá trình oxy hoá phụ thuộc vào điều kiện, dạng ma sát, tốc độ dịch chuyển tương đối, áp suất, mức độ dao động của tải trọng, nhiệt độ, thành phần của môi trường khí và lỏng, tích chất cơ lý hoá của vật liệu. Có hai dạng mòn oxy hoá bình thường.

Dạng thứ nhất đặc trưng bởi sự tạo thành các dung dịch của oxy và các cùn tinh mỏng của các hợp chất giữa oxy với kim loại trên bề mặt ma sát.

Dạng thứ hai đặc trưng bởi sự tạo thành các hợp chất hóa học của oxy và kim loại - đối với thép đó là các oxit FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 .

Trong môi trường hạt mài, quá trình oxy hoá và phá huỷ bề mặt phát triển nhanh hơn do có tập trung ứng suất trong các thể tích hạn chế của kim loại.

Mòn oxy hoá bình thường xảy ra trong quá trình ma sát trượt và lăn khô hoặc bôi trơn giới hạn. Giới hạn vận tốc trượt lớn nhất đối với

thép để tồn tại mòn oxy hoá là từ 4 m/s đến 7 m/s tùy thuộc vào từng loại thép.

Khi bôi trơn giới hạn tốc độ lớn nhất là 25 m/s.

Mòn oxy hóa điển hình nhất là mòn của cặp chi tiết được chế tạo bằng những kim loại và hợp kim khác nhau trên góc dung dịch rắn, có tính không thuần nhất về cấu trúc hoặc có độ cứng và giới hạn chảy cao.

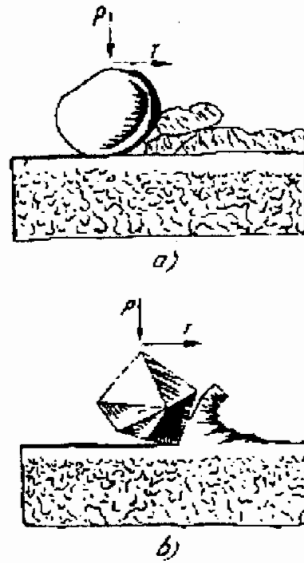
Mòn oxy hoá là dạng mòn quan trọng nhất của mòn cơ hoá. Đặc trưng chung của mòn cơ hoá là quá trình biến dạng cơ học của lớp bề mặt mỏng cùng với sự tương tác đồng thời của lớp hoạt tính đã bị biến dạng và những thành phần hóa học của môi trường.

Tróc là quá trình phá huỷ không cho phép bề mặt ma sát do kết quả hình thành mối liên kết kim loại cục bộ, biến dạng và phá huỷ các liên kết ấy, kèm theo sự bong tách các hạt kim loại hay bám dính các hạt ấy lên bề mặt tiếp xúc.

Tróc xuất hiện khi ma sát trượt với vận tốc dịch chuyển tương đối nhỏ và áp suất vượt quá giới hạn chảy trên những đoạn tiếp xúc thực, đặc biệt khi không có lớp dầu bôi trơn, lớp màng ôxyt bảo vệ và trong chân không (với cả trường hợp ma sát lăn). Có hai loại tróc sau:

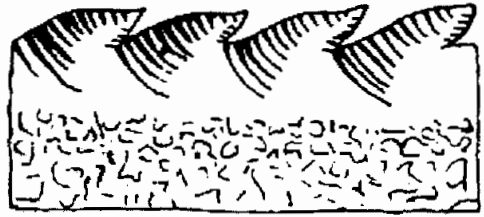
a) Tróc loại I

Các liên kết kim loại tạo ra trong tróc loại I khi các thể tích kim loại bề mặt bị biến dạng mạnh là do tính dẻo không nhiệt của vật liệu. Khi đó biến dạng dẻo gây nên thay đổi trạng thái bề mặt, phá huỷ các màng oxyt và các lớp màng dầu bôi trơn hấp thụ, làm cho trên bề mặt tiếp xúc ma sát lộ ra những đoạn bề mặt kim loại thuần khiết.



Hình 3.5. Mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt trong trường hợp chịu mài mòn dạng I (a) & dạng II (b)

Bản chất của tróc loại I là sự dịch gán của các đoạn thuần khiết đến khoảng cách tương tác của các lực liên kết nguyên tử, xảy ra quá trình khuyếch tán giữa các kim loại tiếp xúc nhau và tạo thành mối liên kết kim loại, cản trở chuyển động tương đối của bề mặt ma sát, nên cuối cùng nó bị phá huỷ để bảo toàn chuyển động.

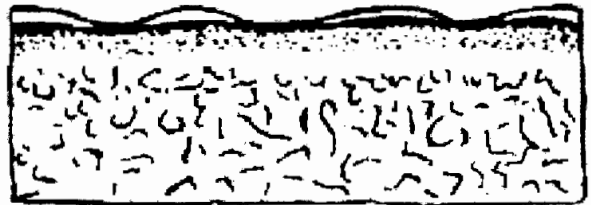


Hình 3.6. Mô hình cấu trúc lớp bề mặt khi tróc loại I.

Tróc loại I phụ thuộc rất nhiều vào tính chất cơ học và vật lý của vật liệu; vào giới hạn bền, giới hạn chảy, kiểu mạng tinh thể, khả năng hoà tan và cấu trúc điện tử, v.v...

Tróc loại I là một trong những dạng hỏng nguy hiểm nhất, không được phép xảy ra đối với một cặp ma sát làm việc bình thường, hình 3.6.

b) *Tróc loại II* (tróc nhiệt) là quá trình hư hỏng không được phép của bề mặt ma sát với sự xuất hiện các liên kết kim loại cục bộ do bị nung nóng, làm mềm, biến dạng và tiếp xúc của bề mặt sạch tạo nên. Tróc nhiệt phụ thuộc vào tính ổn định nhiệt, độ cứng nhiệt, nhiệt dung, tính dẫn nhiệt của vật liệu ma sát.



Hình 3.7. Mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt khi bị tróc loại II.

Tróc nhiệt là hiện tượng nguy hiểm và khá phổ biến.

Tốc độ hình thành các mối liên kết kim loại vượt quá tốc độ của các quá trình khác và chiếm ưu thế. Do xuất hiện một nhiệt lượng lớn hơn giá trị cho phép đối với loại vật liệu đã cho, gây nên biến dạng vật liệu, làm lộ ra các đoạn bề mặt kim loại thuần khiết cùng với sự dịch sát của hai bề mặt tiếp xúc ma sát đến khoảng cách vào khoảng bán kính giữa các nguyên tử. Mô hình cấu trúc của tróc loại II được trình

bày trên hình 3.7.

Tróc loại II thường xuất hiện khi ma sát trượt với vận tốc dịch chuyển tương đối lớn và áp suất riêng lớn, tạo ra gradien lớn, tăng nhiệt độ cao trong các lớp kim loại chịu ma sát và trạng thái dẻo nhiệt của nó. Trạng thái này khử bền kim loại, làm mềm lớp bề mặt. Tróc loại II có thể xuất hiện trong quá trình ma sát khô hoặc bôi trơn giới hạn, giữa các kim loại có cơ tính khác nhau. Đối với thép, loại tróc này đặc trưng cho các vật liệu tôi với sự chuyển rõ rệt sang tính dẻo nhiệt.

Trên thực tế sử dụng thì tróc loại II thường xuất hiện nhiều nhất ở những cặp ma sát làm việc trong điều kiện bôi trơn giới hạn ổn định. Điều kiện này bị phá hủy khi ngừng cung cấp chất bôi trơn thích hợp.

Mòn do mỏi là quá trình hư hỏng do mỏi xuất hiện ở những chi tiết chịu ma sát lăn và kết quả của sự phá hoại mãnh liệt các lớp kim loại bề mặt trong điều kiện đặc biệt của trạng thái ứng suất.

Đặc tính chủ yếu và sự phát triển của hư hỏng mỏi được xác định bởi các quá trình biến dạng dẻo lặp đi lặp lại, bởi sự tăng bền và giảm bền các lớp bề mặt kim loại, bởi sự phát sinh các ứng suất dư và bởi hiện tượng mỏi đặc biệt.

Sự phá hủy bề mặt khi hư hỏng mỏi được đặc trưng bởi sự xuất hiện vết nứt tế vi, vết lõm.

Ở dạng phá hủy này, tốc độ của các quá trình đặc trưng cho hiện tượng mỏi của kim loại vượt quá tốc độ của quá trình khác cũng diễn ra trên bề mặt ma sát, do đó nó chiếm ưu thế.

Mòn do mỏi tồn tại trong quá trình ma sát của các kim loại rắn và các kim loại mềm có độ dẻo cao có đặc điểm riêng biệt.

Mòn do mỏi thường thấy trong các chi tiết ổ lăn, các bánh răng, cơ cấu phân phối, cặp con lăn đĩa đệm, cặp ma sát lăn trượt.

Mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt ma sát bị phá hủy do mỏi được biểu diễn trên hình 3.8.



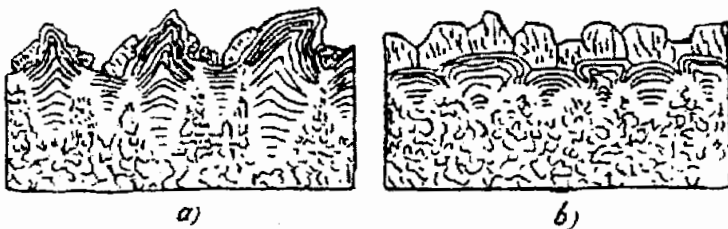
Hình 3.8. Mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt ma sát bị phá hủy do mỏi.

Mòn fretting: đặc trưng cho phá huỷ bề mặt ma sát, xuất hiện khi có oxy hoá với cường độ cao hoặc tróc với chuyển vị nhỏ của bề mặt lắp ghép. Quá trình fretting xuất hiện khi có ma sát trượt với những chuyển động tịnh tiến khứ hồi rất nhỏ và khi có tác dụng của tải trọng động.

Có thể xác định vận tốc nhỏ nhất, mà dưới giá trị đó không nảy sinh quá trình fretting. Quá trình tróc có thể xuất hiện rất mạnh ngay cả với áp suất pháp nhỏ khi tiếp xúc của nhiều loại vật liệu. Quá trình tăng cường oxy hoá và tróc trên bề mặt tiếp xúc ma sát là do đặc tính động của tải trọng gây nên và ở vùng tiếp xúc gradien của biến dạng và nhiệt độ rất lớn.

Dạng phá huỷ bề mặt do mòn fretting xuất hiện trên nhiều loại vật liệu khác nhau, nó có thể xuất hiện cả khi ma sát khô và ngay cả trong điều kiện có bôi trơn.

Mòn fretting là một trong những dạng hỏng nguy hiểm hay xuất hiện ở các chi tiết máy chịu tải trọng động, rung động, hình 3.9A.



Hình 3.9A. Mô hình cấu trúc của các lớp bề mặt khi mòn Fretting
a) tróc , b) oxy hoá động

Quá trình fretting xuất hiện ở những bộ phận và những cặp lắp ghép rất khác nhau, ngay cả trong những bộ phận và cặp lắp ghép không làm việc.

Mòn ép lún là biến dạng thể tích vĩ mô của kim loại gắn liền với sự thay đổi hình dạng cục bộ với các tải trọng lớn hơn giới hạn chảy.

Biến dạng ép lún có thể lan trên toàn bộ hoặc một phần lớn thể tích của chi tiết máy.

Khi ép lún kích thước của chi tiết máy bị thay đổi nhưng khối lượng vẫn giữ nguyên.

Hiện tượng ép lún có thể xuất hiện trong quá trình ma sát và

cũng có thể xuất hiện do sự truyền các ứng lực không liên quan đến trượt hay lăn của các bề mặt.

Biến dạng các thể tích vĩ mô của kim loại thường xảy ra trong trường hợp các cặp ma sát được chế tạo từ hợp kim màu - đồng thanh, đồng thau, babit, hợp kim nhôm. Những hợp kim này có giới hạn chảy tương đối thấp, do đó các chi tiết được chế tạo từ vật liệu này sẽ có biến dạng dư khi bị quá tải tuy nhỏ. Cần phân biệt hiện tượng ép lún và biến dạng dẻo trong các lớp mỏng của bề mặt ma sát.

Bào mòn kim loại. Sự bào mòn cơ học của kim loại là quá trình phá huỷ của các chi tiết máy và cơ cấu dưới tác dụng va đập lặp lại nhiều lần của những dòng tia chất khoáng và đất đá, dưới tác dụng của sức gió và sức nước. Đó cũng là sự phá huỷ các lớp bề mặt kim loại do những tác dụng điện - nhiệt của sự phóng điện không cố định dạng xung gây ra, cùng với những tác động có thể của các lực động.

Bào mòn cơ học và bào mòn điện trên bề mặt kim loại không liên quan trực tiếp đến ma sát và mòn của chi tiết máy. Trong một số trường hợp hai hiện tượng này cùng xảy ra đồng thời với các quá trình ma sát, nó làm phức tạp quá trình ma sát và mòn.

Xói mòn là quá trình phá huỷ bề mặt của các chi tiết máy tiếp xúc với chất lỏng chuyển động với vận tốc thay đổi. Sự phá huỷ do xói mòn gây ra có tính chất cục bộ và thể hiện ở việc hình thành những vết lõm và những lỗ hổng, v...v.

Tùy theo điều kiện xuất hiện, xói mòn được chia thành những loại như sau:

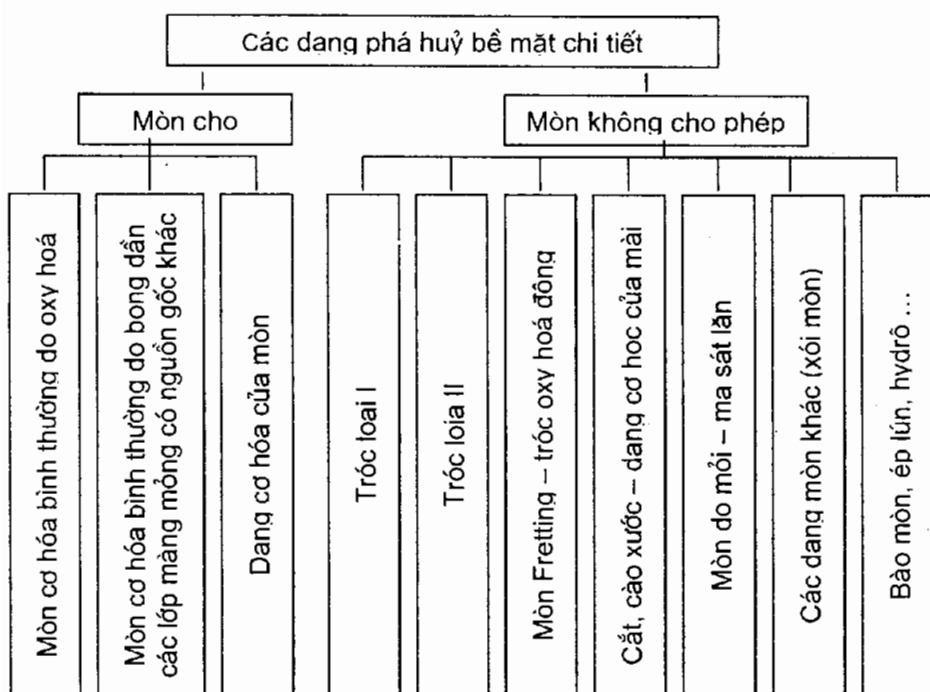
1. Xói mòn biên dạng: xuất hiện khi có sự tách rời dòng chảy ra khỏi bề mặt biên dạng chảy.
2. Xói mòn khe hở: xuất hiện khi tốc độ dòng chảy lớn chảy qua những khe hở mà chất lỏng có thể xuyên qua.
3. Xói mòn gián đoạn: xuất hiện khi dòng chảy gặp những chỗ cản trở mấp mô phải chảy vòng qua nó.

Phá huỷ do xói mòn thường hay gặp ở các cánh bơm tuabin thủy, các loại bơm, chân vịt, mặt ngoài ống lót xylanh động cơ, v...v.

Mòn hydrô biểu hiện trong tất cả các dạng mòn, chỉ khác ở mức độ ít hay nhiều. Tác dụng của hydrô có thể biểu hiện ở sự tăng không nhiều tốc độ mòn của dạng này hay dạng khác, hoặc sự phá huỷ khốc liệt.

Mòn hydro là kết quả của sự xuất hiện hydro trên bề mặt kim loại và làm mòn bề mặt trong quá trình ma sát. Nó phụ thuộc vào các quá trình diễn ra trong vùng ma sát, vào cường độ tách hydro khỏi hợp chất của nó khi ma sát và vào khả năng hấp thụ vào bề mặt ma sát. Dạng phá huỷ bề mặt là sự phát triển hàng loạt các vết nứt tế vi trong vùng bị biến dạng và tích tụ hydro. Nó nhanh chóng tạo ra các phần tử có dạng bột mịn của vật liệu.

Trên hình 3.9B là sơ đồ các dạng phá huỷ các bề mặt chi tiết máy.



Hình 3.9B. Sơ đồ các dạng phá huỷ bề mặt chi tiết máy.

3.4. Các định luật cơ bản về mòn

Tuỳ theo những thông số làm việc p , v , tác động hoá lý của môi trường, tính năng của các vật liệu ma sát quá trình ma sát có thể là những tập hợp của các quá trình cơ, lý, hoá khác nhau. Thông thường một trong những quá trình này sẽ chiếm ưu thế, còn những quá trình còn lại là thứ yếu, có ảnh hưởng không lớn.

3.4.1. Định luật về mòn thứ nhất

Các hiện tượng ma sát và mòn kim loại do các quá trình khác nhau gây ra. Những quá trình này diễn ra trên bề mặt kim loại và trong các lớp bề mặt được ký hiệu là : $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ với vận tốc tương ứng là $v_{P1}, v_{P2}, v_{P3}, \dots, v_{Pn}$.

Trong bất kỳ điều kiện ma sát nào cũng đều có một quá trình diễn ra với tốc độ lớn nhất v_{Pj} . Quá trình P_j lấn át các quá trình khác và chiếm ưu thế.

Định luật thứ nhất :

Dạng mòn được quyết định bởi quá trình P_j diễn ra trên bề mặt ma sát với tốc độ lớn nhất v_{Pj} .

Đây là điều kiện cần nhưng chưa đủ, cần phải có thêm điều kiện thứ hai để dạng mòn chủ yếu tồn tại ổn định đó là:

Khi mòn là ổn định, tốc độ phá huỷ v_{ph} các bề mặt làm việc (hay tốc độ mòn) không thể lớn hơn tốc độ của quá trình quyết định dạng mòn v_{Pj} :

$$v_{ph} < v_{Pj} \quad (3.21)$$

Để tăng tính chống mòn cho cặp ma sát cần phải giảm thiểu phá huỷ không mong muốn – tróc I, tróc II, hư hỏng do mài mòn, do môi – và đảm bảo điều kiện để duy trì ổn định mòn ôxy hoá, là dạng mòn có tốc độ nhỏ nhất. Do đó tốc độ ôxy hoá phải lớn hơn tốc độ của các quá trình có hại khác, và độ bền lớp màng ôxyt phải đảm bảo để tốc độ mòn nhỏ hơn tốc độ ôxy hoá.

Hệ quả rút ra từ định luật thứ nhất:

Điều kiện để đảm bảo tồn tại của mòn ôxy hoá được biểu diễn như sau :

$$v_{ox} > v_{ph} [v_{tróc}, v_{nhiệt}, v_{màimòn}, v_{môi}]$$

Có thể thực hiện điều kiện trên bằng hai phương hướng như sau:

Thứ nhất: giảm tốc độ của các quá trình gây hư hỏng trong khi giữ cho tốc độ quá trình ôxy hoá không đổi.

Thứ hai: tăng tốc độ của quá trình ôxy hoá.

Trên thực tế cách thứ nhất thường được áp dụng nhằm giảm tốc độ của các quá trình gây mòn.

3.4.2. Định luật về mòn thứ hai

Trong quá trình ma sát thì khắc phục những dạng hư hỏng không được phép (tróc loại I, tróc loại II, phá huỷ do mài mòn, và do mỏi) và chuyển sang dạng mòn ôxy hoá vẫn chưa thể đảm bảo có được tính chống mòn cần thiết. Đối với mọi trường hợp khi mòn ôxy hoá, cần phải giảm độ mòn tới giá trị nhỏ nhất. Đặc biệt khi mòn ôxy hoá có tốc độ phá huỷ lớn như : ma sát của các thép không nhiệt luyện, của các kim loại màu và một số loại hợp kim.

Định luật thứ hai:

Tính chống mòn khi mòn ôxy hoá được quyết định bởi tốc độ hình thành và tính chất của các cấu trúc thứ cấp xuất hiện trong quá trình ma sát. Cấu trúc thứ cấp không chỉ là lớp màng bảo vệ có thành phần, cấu trúc và tính chất khác, mà còn ngăn không cho các bề mặt kim loại tiếp xúc trực tiếp, đó chính là vật thể thứ ba hình thành khi ma sát.

Hệ quả của định luật thứ hai:

Khi mòn ôxy hoá cần cố gắng đảm bảo điều kiện :

$$v_{ox} \rightarrow \min$$

Điều kiện này có thể thực hiện nhờ giảm thiểu biến dạng dẻo và sự phá huỷ. Khi có mòn ôxy hoá, biến dạng dẻo tồn tại trong những lớp mỏng giới hạn dưới dạng tạo dải, tức là sắp xếp định hướng các phân tử cấu trúc theo hướng chuyển động khi ma sát. Về năng lượng đó là sự cực tiểu hoá trị số năng lượng bị hấp thụ hoá ΔE .

Bản chất của mòn ôxy bao gồm đồng thời biến dạng dẻo và các quá trình ôxy hoá bề mặt ma sát. Tuy nhiên để có $v_{ox} \rightarrow \min$ có hai phương pháp:

Thứ nhất: nâng cao tính chống mài mòn bằng cách thay đổi tính dẻo của kim loại ma sát theo hướng có lợi, các tính chất này có ảnh hưởng đến tốc độ hình thành cấu trúc thứ cấp.

Thứ hai: thay đổi bản chất hoá học của các cấu trúc thứ cấp được hình thành do kết quả của hấp thụ, khuếch tán và các phản ứng hóa học trên bề mặt và trong các lớp bề mặt ma sát của kim loại.

Kim loại ma sát càng dẻo, thì trong điều kiện ma sát như nhau, mòn ôxy hoá diễn ra càng mạnh mẽ. Khi hình thành cấu trúc thứ cấp đồng nhất tốc độ ôxy hoá là hàm của giới hạn chảy của vật liệu :

$$v_{ox} \approx f(\sigma_c)$$

Phụ thuộc vào đặc tính của các cấu trúc thứ cấp hình thành trong quá trình mòn có thể phân chia tất cả các kim loại và hợp kim thành hai nhóm sau:

Nhóm thứ nhất: gồm các kim loại và hợp kim mà lớp màng của nó có độ cứng được tăng lên, độ giòn nhỏ và liên kết với kim loại gốc lớn.

Nhóm thứ hai: gồm các kim loại và hợp kim mà lớp màng của chúng có độ cứng và độ bền nhỏ, độ giòn cao và liên kết với kim loại gốc yếu.

Vì vậy có thể điều khiển được quá trình ma sát và mòn bằng cách thay đổi tính chất của tác dụng cơ học bên ngoài, thành phần của môi trường và chọn các vật liệu, tổ hợp vật liệu phù hợp (độ cứng và giới hạn chảy của vật liệu)

3.4.3. Quy luật mòn thực nghiệm

Hai yếu tố chính quyết định biến đổi quá trình ma sát và mòn của tác dụng cơ học bên ngoài đó là : áp suất pháp tuyến và tốc độ trượt. Chúng xác định mức độ và gradian của biến dạng dẻo, đàn hồi; của nhiệt độ trong vùng ma sát, mức độ hoạt hoá kim loại và các hiện tượng dẫn xuất khác. Nói cách khác là chúng quyết định dạng quá trình phá huỷ hay mòn chiếm ưu thế.

Trong trường hợp tổng quát mòn là hàm của các quá trình được xác định bởi tổ hợp khác nhau của $\{ P, v \}$ và vectơ các thông số ma sát \bar{C} (thông số của vật liệu và môi trường).

3.4.3.1. Sự phụ thuộc của mòn vào tốc độ trượt

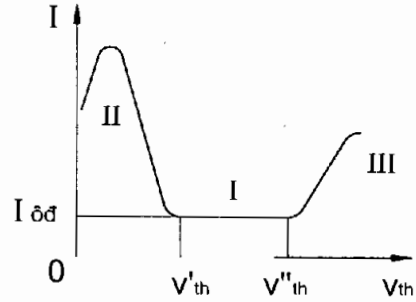
Tính chất và tốc độ của quá trình mòn được quyết định trước hết do giá trị tốc độ trượt, quan hệ $I = f(v)$ là quan hệ cơ bản trong mỗi quan hệ với các thông số cơ học.

Mối quan hệ có tính nguyên tắc giữa cường độ mòn I và tốc độ trượt v được trình bày trên hình 3.10 cho thấy rằng trong trường hợp tổng quát có ba giai đoạn điển hình:

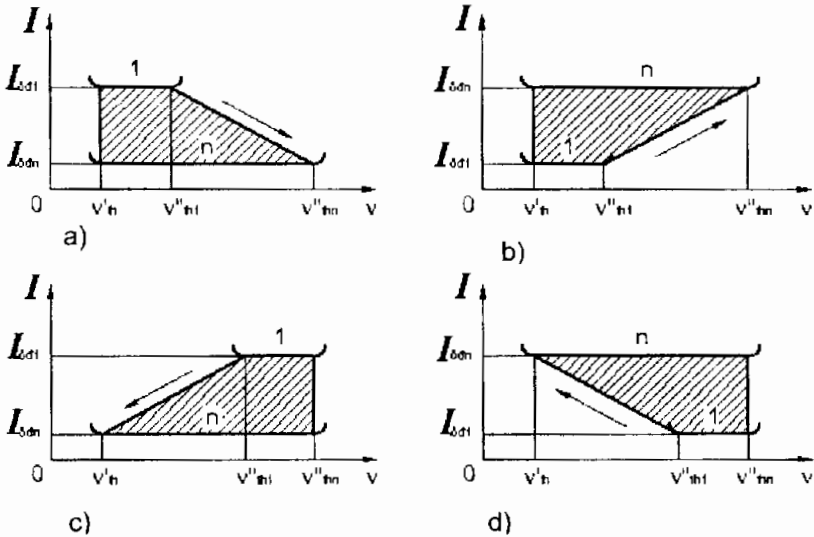
I – giai đoạn mòn ổn định cùng với mòn oxy hoá trong chế độ ma sát bình thường $v'_{th} \leq v \leq v''_{th}$.

II – giai đoạn mòn không bình thường với tróc loại I, $0 < v < v'_{th}$.

III – giai đoạn mòn không bình thường do tróc loại II và sự quá tải nhiệt trong vùng tiếp xúc $v > v''_{th}$.



Hình 3.10. Đồ thị nguyên tắc sự phụ thuộc cường độ mòn vào tốc độ trượt: $I = f(v)$



Hình 3.11. Mở rộng đoạn ổn định khi thay đổi điều kiện ma sát (các đường cong $I - n$) đồng thời với:

a) giảm I_{od} , $v'_{th} = \text{const}$; b) tăng I_{od} ; $v'_{th} = \text{const}$; c) giảm I_{od} , $v''_{th} = \text{const}$; d) tăng I_{od} ; $v''_{th} = \text{const}$

Tuỳ thuộc vào điều kiện ma sát, các trị số tốc độ tới hạn v'_{th} , v''_{th} có thể thay đổi, làm cho giới hạn của miền ổn định và cường độ mòn bị thay đổi đi (hình 3.11).

3.4.3.2. Sự phụ thuộc của mòn vào áp suất pháp

Quan hệ có tính nguyên tắc giữa cường độ mòn và áp suất pháp tuyến $I = f(p)$ được biểu diễn trên hình 3.12. Có hai giai đoạn đặc trưng:

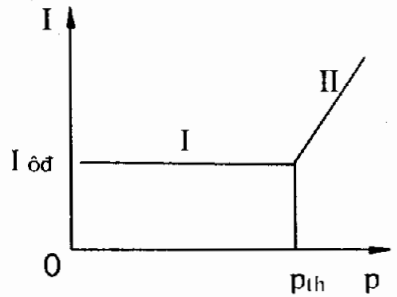
I – giai đoạn mòn cơ - hoá (ôxy hoá) bình thường ổn định:

$$0 < p < p_{th}$$

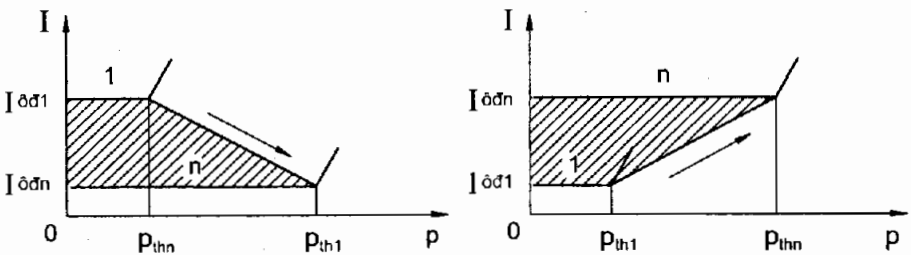
II – giai đoạn mòn với các quá trình hư hỏng không bình thường với trục loại I, II, ép lún, cây xước: $p \geq p_{th}$.

Giai đoạn mòn ổn định được đặc trưng bởi dao động của nhấp nhô bề mặt nhỏ hơn quá trình không bình thường và hệ số ma sát là nhỏ nhất và ổn định.

Thay đổi của áp suất pháp tuyến và các thông số ma sát làm dịch chuyển miền mòn bình thường hình 3.13.



Hình 3.12 . Đồ thị nguyên tắc sự phụ thuộc của cường độ mòn vào áp suất pháp tuyến: $I = f(p)$



Hình 3.13. Mở rộng đoạn ổn định khi thay đổi điều kiện ma sát (các đường cong 1 - n) đồng thời với :
a) giảm I_{od} ; b) tăng I_{od}

3.4.3.3. Sự phụ thuộc của mòn vào các thông số ma sát

Trong trường hợp tổng quát mòn được quyết định bởi giá trị của áp suất pháp, của tốc độ dịch chuyển và các điều kiện ma sát.

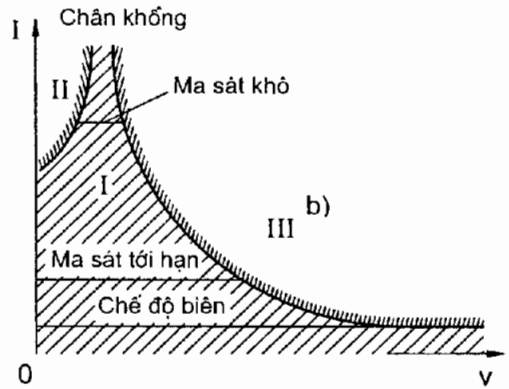
Các thông số ma sát quyết định vị trí chủ yếu của hàm $I = f(v)$ và $I = f(p)$.

Hình 3.14 và 3.15 trình bày sơ đồ nguyên tắc của vùng chuyển dịch của đoạn ổn định với quan hệ $I = f(v)$; $I = f(p)$ đối với các chất bôi trơn và vật liệu ma sát có độ cứng khác nhau.

3.4.3.4. Quy luật mòn và hư hỏng khi ma sát lăn

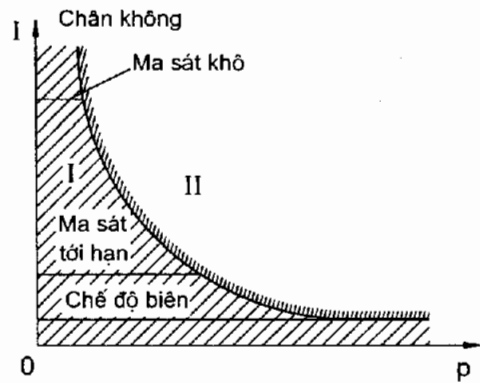
Quá trình phá huỷ các bề mặt ma sát lăn phụ thuộc vào sự thay đổi của ba yếu tố chính đó là: áp suất pháp tuyến và các ứng suất tiếp xúc của nó, tốc độ dịch chuyển tương đối và nhiệt độ trong vùng tiếp xúc do nó sinh ra, tác dụng của mài mòn cơ học và lý hoá của môi trường trong vùng tiếp xúc.

Hình 3.16 biểu diễn ảnh hưởng của tải pháp tuyến đến sự xuất hiện và phát triển quá trình phá huỷ bề mặt lăn. Phụ thuộc vào tải trọng có ba quá trình khác nhau xuất hiện trên vùng tiếp xúc. Tải trọng nhỏ và trung bình sẽ tạo mòn oxy hoá bình thường, áp suất pháp khi tăng đến giới hạn nào đó sẽ làm xuất hiện hư hỏng mỏi (đốm, rỗ).



Hình 3.14. Đồ thị nguyên tắc của dịch chuyển quan hệ $I = f(v)$ khi có bôi trơn.

- I – vùng chuyển dịch của mòn oxy hoá;
- II – vùng tróc loại I; III – vùng tróc loại II.

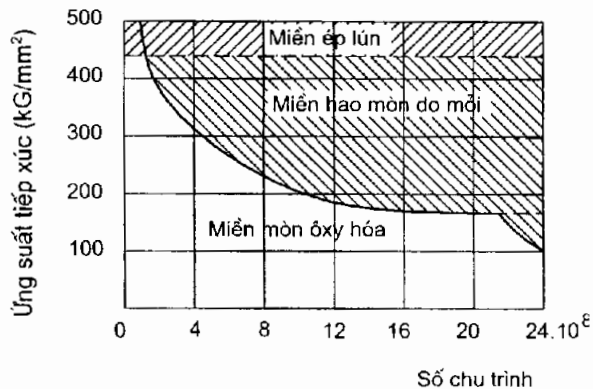


Hình 3.15. Đồ thị nguyên tắc của dịch chuyển quan hệ $I = f(p)$ khi có bôi trơn.

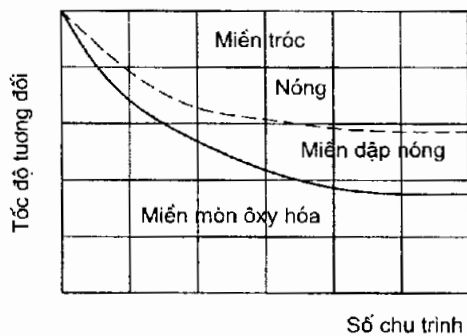
- I – vùng chuyển dịch của mòn ổn định
- II – vùng các quá trình không bình thường

Nếu tăng tải trọng lên nữa sẽ xảy ra ép lún với những hư hỏng vĩ mô bề mặt tiếp xúc ma sát.

Tốc độ dịch chuyển tương đối cũng quyết định quá trình phá huỷ khi ma sát lăn. Phụ thuộc vào giá trị của tốc độ có thể phân biệt hai dạng mòn chủ yếu đó là : mòn oxy hoá bình thường và quá trình phá huỷ đặc biệt do nhiệt (quá nhiệt). Khi nhiệt độ trong vùng ma sát vượt quá nhiệt độ cho phép để dầu bôi trơn làm việc bình thường sẽ gây nên hiện tượng dẻo nóng kim loại, khi đó kim loại bị mềm đi, làm giảm tính chất cơ học của thép đã được nhiệt luyện (tôi). Các thay đổi về cấu trúc, cơ tính của kim loại tiếp xúc ma sát làm cho quá trình mòn oxy hoá bình thường chuyển sang quá trình xước nóng rất mạnh mẽ. Sơ đồ phát triển của các dạng mòn và hư hỏng khác khi thay đổi tốc độ dịch chuyển tương đối trình bày trên hình 3.17.



Hình 3.16. Quy luật thay đổi quá trình phá huỷ trên bề mặt ổ lăn khi thay đổi áp suất pháp và ứng suất tiếp liên quan.



Hình 3.17. Quy luật thay đổi quá trình phá huỷ trên bề mặt ổ lăn khi thay đổi tốc độ dịch chuyển tương đối và nhiệt độ trong vùng tiếp xúc do nó gây ra.

Ảnh hưởng của môi trường khí khi ma sát lăn là do các thành phần hoạt tính của nó có khả năng tương tác với kim loại tạo thành các màng có cấu trúc thứ cấp. Tuỳ thuộc đặc tính của lớp màng ấy có thể xuất hiện mòn cơ hoá hoặc tróc.

Trong điều kiện bôi trơn thông thường với các chất bôi trơn

thông dụng, các quá trình diễn ra khi ma sát lăn sẽ phụ thuộc vào độ nhớt của dầu bôi trơn và nhiệt độ của nó. Chất bôi trơn có thể đóng vai trò của lớp màng phủ bề mặt làm việc của ổ lăn. Lớp màng này bảo vệ cho bề mặt thép không tương tác với oxy không khí, ngăn chặn hiện tượng oxy hoá bề mặt, làm giảm tốc độ mòn oxy hoá. Đồng thời màng này còn làm tăng diện tích tiếp xúc thực, giảm tập trung ứng suất, ngăn ngừa hiện tượng tróc bề mặt.

Sự có mặt của hạt mài trong vùng tiếp xúc làm tăng ứng suất tập trung và tải trọng thực tế sẽ lớn hơn nhiều so với tải cho phép, quá trình phá huỷ bề mặt sẽ tăng lên rất nhanh.

3.5. Bản chất của quá trình mòn

Trong quá trình mòn, chi tiết ma sát bị thay đổi hình dáng, khối lượng cũng như kích thước và vị trí tương đối với chi tiết phối hợp. Trong vùng tiếp xúc ma sát bề mặt bị biến dạng, chảy dẻo, ion hoá tạo thành hỗn hợp vật liệu được gọi chung là vật thể thứ ba.

Khi chạy rà thì các bề mặt công nghệ của chi tiết ma sát sẽ chuyển động tương đối với nhau, các nhấp nhô được hình thành do gia công thâm nhập vào nhau, làm biến dạng, gây cắt và bẻ gãy các nhấp nhô. Hình thành các nhấp nhô thứ cấp có chiều cao và bán kính cong của đỉnh nhấp nhô cũng như mật độ của các nhấp nhô phụ thuộc vào điều kiện chạy rà. Nhìn chung tiếp xúc của các bề mặt ma sát sẽ dần được cải thiện một cách tự phát qua quá trình chạy rà, tiếp xúc đàn hồi trở thành phổ biến, đó chính là điều kiện quan trọng để đảm bảo sự hoạt động của chi tiết ma sát trong miền bình thường.

Trong quá trình mòn còn xảy ra hiện tượng nén ép các đỉnh nhấp nhô, tạo ra bề mặt có nhấp nhô có biến dạng dẻo hình thành các dải tiếp xúc. Như vậy có thể cho rằng quá trình mòn là sự kết hợp đồng thời của hiện tượng bong tách các phần tử mòn trên vết tiếp xúc và hiện tượng nén ép các nhấp nhô bề mặt răng, v.v... Nhưng về mặt tổng quan có thể quan niệm quá trình mòn là sự tổ hợp của ba hiện tượng cơ bản sau:

Thứ nhất, là hiện tượng tương tác giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát.

Thứ hai, là hiện tượng thay đổi xảy ra trên bề mặt tiếp xúc ma sát của kim loại.

Thứ ba, là hiện tượng phá huỷ lớp bề mặt tiếp xúc ma sát.

Ba hiện tượng trên không ngừng biến đổi và ảnh hưởng qua lại lẫn nhau.

3.5.1. Tương tác giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát

Tương tác giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát được thể hiện ở tương tác cơ học và tương tác phân tử.

Tương tác cơ học của các bề mặt tiếp xúc ma sát được biểu hiện bằng sự thâm nhập và móc nối của các nhấp nhô bề mặt. Dưới tác dụng của thông số cơ học p và v , các nhấp nhô bề mặt này sẽ bị biến dạng. Các biến dạng xảy ra có thể là biến dạng dẻo hoặc biến dạng đàn hồi. Đặc điểm của trạng thái ứng suất khi ma sát ngoài là sự tác dụng đồng thời của các lực pháp tuyến và tiếp tuyến, với áp suất tĩnh của thể tích trong lòng kim loại. Biến dạng được tạo thành bởi các cơ chế chuyển dịch của các lớp theo phương tác dụng của lực pháp tuyến. Tại các điểm tiếp xúc thực biến dạng có xu hướng dẫn đến việc hình thành các dải thể tích tế vi của bề mặt kim loại tiếp xúc ma sát. Kết quả là hiện tượng không đồng nhất về các tính chất cơ hoá lý theo các hướng khác nhau. Chiều sâu của các lớp tạo dải trong điều kiện ma sát bình thường không vượt quá vài trăm Å.

Tương tác cơ học của bề mặt tiếp xúc ma sát dẫn đến sự cản trở chuyển động của vật thể ma sát và là nguyên nhân hình thành lực ma sát cơ học F_{CH} hay nói khác là hệ số ma sát cơ học f_{CH} .

Tương tác phân tử giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát biểu hiện ở hiện tượng bám dính và khuyếch tán tại các điểm tiếp xúc thực. Biểu hiện mạnh nhất đó là hiện tượng hàn dính các đỉnh nhấp nhô khi tiếp xúc ma sát, kèm theo nó là hiện tượng chuyển dời vật liệu giữa các bề mặt tiếp xúc ma sát. Tương tác phân tử trong tiếp xúc ma sát là nguyên nhân hình thành lực ma sát phân tử F_{μ} hay là hệ số ma sát phân tử f_{μ} . Trong điều kiện gia công tinh như hiện nay thì thành phần phân tử sẽ đóng vai trò quan trọng trong lực ma sát nói chung.

3.5.2. Thay đổi xảy ra trong lớp bề mặt do biến dạng.

1) Biến dạng đàn hồi khi ma sát

Trong những điều kiện tiếp xúc ma sát nhất định, do nguyên nhân không hoàn thiện của cấu trúc kim loại chịu ma sát lăn, biến dạng đàn hồi lặp đi lặp lại có thể dẫn đến hiện tượng tróc mỗi các bề mặt ma sát lăn. Trong trường hợp tiếp xúc ma sát trượt, bề mặt tiếp xúc bị rời rạc cấu trúc do biến dạng đàn hồi lặp đi lặp lại.

Nhìn chung biến dạng lặp đi lặp lại trong tiếp xúc ma sát là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng ma sát mỏi.

2) Biến dạng dẻo khi ma sát

Biến dạng dẻo khi ma sát chỉ có thể được phép xảy ra trong quá trình chạy rà. Còn trong điều kiện ma sát bình thường đây là hiện tượng không được phép xảy ra, do cường độ mòn lớn.

Biến dạng dẻo làm thay đổi cấu trúc của vật liệu lớp bề mặt theo bốn quá trình quan trọng nhất: trượt theo các mặt phẳng tinh thể; song tinh thể; lệch nguyên tử khỏi vị trí ban đầu trong mạng cùng với chuyển động nhiệt của nó và phá huỷ cấu trúc.

Biến dạng dẻo ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ kết tinh lại của kim loại làm biến cứng, làm bền lớp bề mặt. Độ cứng vì mô ngay trên bề mặt cấu trúc giảm xuống sau đó đạt cực đại ở độ sâu nhất định và giảm dần theo chiều sâu cho đến giá trị ban đầu.

Do độ cứng của các thành phần cấu trúc là không như nhau và do tác dụng lặp lại của tải trọng nên dẫn đến mòn chủ yếu trên nền mềm. Do mòn trên nền mềm nên áp suất tập trung lên phần cứng, nén ép chúng vào nền mềm. Một số phần tử cứng sẽ bị phá vỡ và dịch chuyển do tác dụng của lực ma sát. Do đó làm tăng cường các thành phần cấu trúc cứng trên bề mặt, điều này được biểu hiện rõ rệt khi mòn babbit.

3.5.3. Thay đổi xảy ra do tăng nhiệt độ

Trong quá trình ma sát nhiệt độ của các lớp bề mặt cao hơn nhiệt độ kết tinh lại của kim loại, lớp bề mặt không bị biến cứng mà bị hoá mềm dẫn đến quá trình làm phẳng, làm nhẵn bề mặt. Hiện tượng mềm

hoá lớp bề mặt khi ma sát có thể xảy ra trên toàn bộ kim loại hoặc chỉ ở một thành phần của hợp kim.

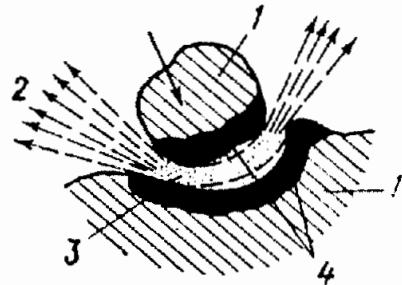
Nhiệt độ cao của lớp bề mặt tiếp xúc ma sát kết hợp với biến dạng dẻo, tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình khuếch tán. Đặc biệt trong trường hợp khi ma sát giữa các kim loại dẻo thuần khiết.

Tính động của khuếch tán tăng lên khi tăng mức độ biến dạng, đồng thời quá trình khuếch tán khi ma sát tĩnh và ma sát động cũng khác nhau.

Trong điều kiện ma sát xác định, nhiệt độ tăng cục bộ tại các vùng tiếp xúc đồng thời lại bị nguội nhanh bề mặt do truyền nhiệt vào khối kim loại xung quanh, có thể tạo thành các cấu trúc trên bề mặt như khi tôi, và kèm theo các vết nứt tế vi. Biến dạng dẻo xảy ra khi ma sát kết hợp với gradient nhiệt độ tăng cao làm thay đổi cấu trúc của từng phần hoặc toàn bộ lớp bề mặt tiếp xúc ma sát, sẽ gây ra ứng suất trong lớp bề mặt vật liệu ma sát. Trong một số trường hợp nhất định ứng suất này có thể làm phá vỡ các cấu trúc.

Trong điều kiện tiếp xúc ma sát vi mô của các cặp ma sát chịu tải cao, nhiệt độ lớn đã khẳng định khả năng tạo ra cấu trúc macmaplasma (hình 3.18).

Tương tác của các tiếp xúc vi mô xảy ra trong thời gian rất ngắn (10^{-7} đến 10^{-8} s) với một năng lượng rất lớn. Các định luật nhiệt động lực cổ điển không áp dụng được. Vật liệu trên lớp bề mặt tiếp xúc ma sát mỏng, bị biến đổi trong vùng ma sát, va đập và tạo thành các macmaplasma. Quá trình này có kèm theo hiện tượng phát xạ các điện tử.



Hình 3.18. Cấu trúc Macmaplasma.
1 - cấu trúc ban đầu ; 2 - cấu trúc nóng chảy ; 3 - plasma ; 4 - điện tử phát ra.

3.5.4. Thay đổi xảy ra do tác dụng của môi trường xung quanh

Môi trường không khí hình thành trên lớp bề mặt kim loại được làm sạch khi ma sát các màng mỏng ôxyt. Ôxy hoá bề mặt kim loại

khi ma sát là quá trình phụ thuộc vào trạng thái bề mặt, cấu trúc và tính chất của các lớp bề mặt. Màng ôxyt bảo vệ bề mặt tránh bị xâm thực, không chỉ trong ma sát khô, ma sát giới hạn mà cả trong ma sát nửa ướt. Nó còn góp phần cơ bản làm giảm cường độ mòn của cặp ma sát.

Kim loại nền và ôxyt có tác dụng cơ học lẫn nhau: trong ôxyt thường xuất hiện ứng suất nén, còn trong kim loại xuất hiện ứng suất kéo. Tồn tại các ứng suất kéo nén khác nhau này sẽ dẫn tới khả năng bong tách màng ôxyt khỏi kim loại dọc bề mặt phân cách. Khi trên bề mặt phân cách có lực cắt tác dụng (lực ma sát tiếp tuyến), tùy thuộc độ bền màng ôxyt và giá trị bám dính của lớp màng vào kim loại, có thể xảy ra bong tách lớp màng ôxyt theo ranh giới với kim loại hoặc phá hoại màng này theo phương tiếp tuyến, trên bề mặt các nhấp nhô.

Bề mặt kim loại của các cặp ma sát khi tác động với chất hoạt động pha trong dầu (phụ gia), tạo thành các màng hợp chất hoá học có vai trò tương tự như màng ôxyt. Các màng sẽ bảo vệ bề mặt chống mòn khi tốc độ hình thành chúng lớn hơn tốc độ mòn. Ở nhiệt độ cao, chất bôi trơn bị phân huỷ, khi đó có khả năng xảy ra bền hoá bề mặt bằng nguyên tử cacbon.

Các chất lỏng và khí có tính hoạt động cao có xu hướng làm tăng độ mòn.

3.5.5. Phá huỷ các bề mặt ma sát

Các dạng cơ bản của sự phá huỷ các bề mặt ma sát như sau:

1. Sự cắt vi mô:

Những phần tử cứng của hạt mài hay sản phẩm của sự mài mòn, khi xâm nhập vào một độ sâu nhất định sẽ gây nên sự cắt vi mô. Thường vì chiều sâu thâm nhập không đủ để cắt nên sự cắt vi mô ít xảy ra.

2. Sự tạo vết xước:

Khi trượt, phần tử xâm nhập bị ép sẽ đẩy vật liệu về phía trước, sang hai bên và ép xuống phía dưới tạo thành vết xước. Vết xước mất đi, khi phần tử xâm nhập vào thoát ra khỏi vùng tiếp xúc thực tế, bị

đập vỡ hoặc bị đẩy ra khỏi giới hạn vùng ma sát. Các vết xước xuất hiện trên bề mặt ma sát gần như song song với quãng đường trượt.

3. Sự bong tách:

Trong sự chảy dẻo, vật liệu có thể bị đẩy về một phía của bề mặt ma sát, tràn lên các màng ôxyt và mất mối liên hệ với kim loại gốc nên dễ bị tách ra khi không còn khả năng tiếp tục chảy.

Trong tiếp xúc điểm hoặc đường, nếu ứng suất theo chiều sâu của lớp lớn hơn độ bền mỏi của vật liệu sẽ xuất hiện các vết nứt dẫn đến sự bong tách vật liệu dưới dạng vảy.

4. Sự tróc:

Đó là dạng hư hỏng phổ biến của bề mặt chi tiết khi ma sát lăn. Các phần tử bị tróc ra có thể là các thành phần cấu trúc cứng của hợp kim sau khi mòn hết nền mềm : các phần tử của lớp trắng, các hạt nhỏ của gang xám, các phần tử của lớp kim loại chống ma sát khi bị mỏi, v.v... Nguyên nhân của sự tróc là do sự tạo thành ứng suất dư và ứng suất nhiệt. Vì vậy, sự phát triển của vết nứt do hai loại ứng suất trên là dấu hiệu của phế phẩm.

5. Sự bứt sâu:

Sự bứt sâu xuất hiện trong chuyển động tương đối của các vật thể khi mà mối liên kết tạo thành tương tác phân tử bền vững hơn một hoặc các vật thể. Sự phá huỷ xảy ra trong chiều sâu của một trong các vật. Sự phá huỷ bề mặt khi mài mòn có thể xảy ra ở quy mô tế vi khi mà cùng với chất bôi trơn hay không khí có cả các mảnh của mạng tinh thể bị cuốn đi. Sản phẩm của sự mòn có thể nhỏ như hạt bụi hoặc lớn đến vài mm sẽ bị đập ra, dính kết với nhau hay bám dính vào các bề mặt lắp ghép và tham gia vào quá trình mài mòn như môi trường trung gian giữa các bề mặt ma sát.

3.5.6. Vận chuyển vật liệu giữa các bề mặt ma sát

Sự vận chuyển vật liệu từ bề mặt này sang bề mặt khác có ở tất cả các dạng ma sát trừ dạng ma sát có bôi trơn nửa ướt, có trong cả các nguyên công cắt, tán và lắp ghép bằng bulông. Sự vận chuyển vật liệu xảy ra với các phần tử riêng biệt có kích thước trung bình phụ thuộc

vào điều kiện ma sát. Ma sát không bôi trơn so với ma sát bôi trơn giới hạn có thể giảm sự vận chuyển vật liệu xuống 20.000 lần, chủ yếu do giảm kích thước trung bình của các phân tử. Sự vận chuyển vật liệu không đặc trưng cho độ mòn của bề mặt ma sát và có thể chuyển từ bề mặt này sang bề mặt kia nhiều lần. Độ mòn chỉ xảy ra khi các phân tử dịch chuyển ra khỏi vùng ma sát. Sự dịch chuyển kim loại là một trong các điều kiện cần thiết của phương pháp dịch chuyển chọn lọc.

Cơ chế nêu trên phản ánh các quá trình mài mòn không phụ thuộc vào dạng ma sát và chế độ bôi trơn.

Trong những năm gần đây, thế giới đang phát triển quan điểm năng lượng về ma sát và mài mòn. Người ta chú ý xem xét có hệ thống và phức hợp các quá trình ma sát và mòn. Phương diện cơ học của ma sát được xem như nguyên nhân dẫn đến các quá trình vật lý tribô, hoá học tribô và dẫn đến độ mòn.

Cách xem xét này cho phép tính đến một số lượng lớn các yếu tố ảnh hưởng lẫn nhau và ảnh hưởng đến độ mòn (các quá trình hoá lý, các hiện tượng điện học, sự khuếch tán nguyên tử, v.v...). Do đó một số tác giả đã nghĩ rằng, không thể sử dụng các quan điểm lý thuyết để xác định chính xác thời hạn làm việc của các kết cấu trên cơ sở các điều kiện về tải trọng.

3.5.7. Mỗi khi ma sát gây mòn kim loại

Lần đầu tiên, tác giả Đ.V. Cônvixarôv đã chỉ rõ nguyên nhân của sự mỏi các lớp bề mặt chi tiết là chuyển động lặp lại của máy hoặc đối đầu của ứng suất. Ông cho rằng sự mài mòn vật rắn khi ma sát giống với sự phá huỷ chung do mỏi. Sự khác nhau của hai quá trình phá huỷ này là: quá trình mòn có thể quan sát dễ dàng còn quá trình mỏi gần như bao giờ cũng biểu hiện bằng sự cố bất ngờ.

Trong 20 năm gần đây, tác giả I.V.Kragelski đã tiến hành nghiên cứu để phát triển các quan điểm về tính chất mỏi của sự mài mòn dựa trên cơ sở cho rằng sự tiếp xúc bề mặt ma sát mang tính chất rời rạc.

3.5.8. Ảnh hưởng của ma sát đảo chiều đến sự mài mòn

Những kết quả nghiên cứu của tác giả V.Đ.Epđôkimôv đã chứng tỏ rằng sự thay đổi phương chuyển động sẽ làm giảm độ bền mòn

trong ma sát trượt cũng như ma sát lăn. Điều này đúng với cả kim loại và pôlyme. Khi thêm các chất hoạt động bề mặt vào dầu bôi trơn, lực ma sát và các biến dạng bề mặt (đàn hồi) giảm đi. Sự khác nhau giữa ma sát một chiều và đảo chiều cũng giảm.

Hiệu ứng Rêbinde trong ma sát đảo chiều biến hiện ở sự suy giảm cấu trúc vi mô của kim loại. Trong trường hợp ma sát đảo chiều, sự biến cứng lớp bề mặt lớn hơn so với ma sát một chiều ở giai đoạn đầu. Sự biến dạng đối đầu làm suy giảm cấu trúc vi mô và dẫn đến sự tăng cường các quá trình mỏi. Sự giảm độ bền của các lớp bề mặt không chỉ trong ma sát đảo chiều mà cả trong ma sát một chiều với tải trọng cao.

Tác giả O.N.Kualôv đã chứng tỏ rằng trong ma sát đảo chiều, chế độ dịch chuyển chọn lọc dễ xảy ra hơn trong ma sát một chiều.

3.5.9. Cơ chế mòn của pôlyme và cao su

Tương tác của pôlyme và cao su với bề mặt kim loại có thể là cơ học hay phân tử. Tương tác phân tử biểu hiện dưới dạng bám dính. Sự móc nối các phần nhấp nhô của bề mặt giữ một vai trò lớn. Biến dạng dẻo của lớp bề mặt pôlyme, dưới tác động của những phần nhấp nhô bề mặt kim loại, sẽ làm tăng số lượng các móc nối và kích thích lại sự phát triển của biến dạng dẻo. Kết quả là lực ma sát tăng lên nhiều. Trong những điều kiện như nhau, với vật liệu đàn hồi như cao su, độ nhám bề mặt kim loại không có ảnh hưởng lớn vì khi không có biến dạng dẻo, công tiêu phí cho sự dịch chuyển nhỏ hơn.

Nếu bám dính lớn, phá huỷ mối liên kết có thể xảy ra hoặc trên pôlyme hoặc trên kim loại. Kết quả là có sự dịch chuyển vật liệu từ pôlyme sang kim loại, từ kim loại sang pôlyme hay đồng thời từ bề mặt này sang bề mặt khác.

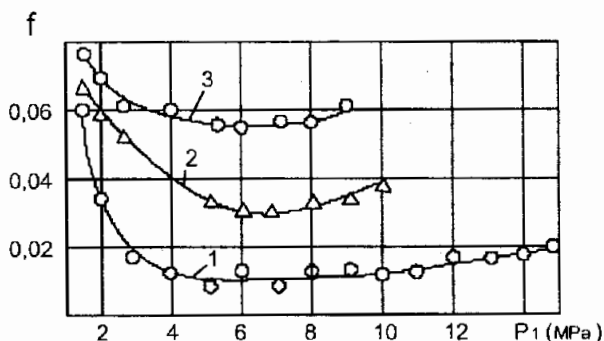
Vật liệu pôlyme thường có hiệu quả như chất phủ và chất ốp trong kết cấu ma sát, mà ở đó thường phải dùng vật liệu rất cứng. Trước khi tách một phần tử khỏi bề mặt, một số pôlyme có thể thu nhận một năng lượng lớn. Tính chất này được sử dụng để tăng độ bền mòn của rôto và stato trong các thiết bị tuyến quặng, thiết bị bơm bùn và trong công nghiệp hóa chất. Pôlyme cũng có một ưu điểm khác là không bị gỉ.

Để giảm ma sát và độ mòn của vật liệu p \ddot{u} lyme, người ta đưa vào các chất hoạt động khác. Trong quá trình ma sát, chúng sẽ tác động với các bề mặt làm việc. Chẳng hạn, ôxyt đồng I, Cu $_2$ O được sử dụng làm chất độn của capr \ddot{u} n và p \ddot{u} lytetrafl \ddot{u} ylen (PTFE). Trong glyxêrin Cu $_2$ O có thể được khử thành đồng nguyên chất và tạo trên bề mặt ma sát một lớp hoạt động làm giảm độ mòn (và đảm bảo hiệu ứng dịch chuyển chọn lọc). Ngoài ra, Cu $_2$ O còn đóng vai trò những mầm nhân tạo, tạo ra cấu trúc đồng nhất theo toàn bộ tiết diện mẫu.

Độ bền mòn và hệ số ma sát của p \ddot{u} lyme khi làm việc với thép, phụ thuộc vào vật liệu khuôn ép. (Khuôn từ PTFE sẽ tạo ra cấu trúc hình trụ trong p \ddot{u} lypr \ddot{u} pyle(P) làm tăng độ bền mòn từ 3 đến 3,5 lần). Có thể cho rằng vật liệu của khuôn ảnh hưởng đến điều kiện nhiệt động của sự kết tinh p \ddot{u} lyme.

Do sự khác nhau của các quá trình hoá lý xảy ra trong vùng tiếp xúc mà các chất bôi trơn có ảnh hưởng lớn đến hệ số ma sát f (hình 3.19).

Tia γ ảnh hưởng đến hệ số ma sát và cường độ mòn. Khi tăng liều lượng chiếu tia γ lên p \ddot{u} lyetylen (PE) thì hệ số ma sát và cường độ mòn đều giảm. Nếu tiếp tục tăng thì các đặc tính chống ma sát của p \ddot{u} lyme sẽ giảm.



Hình 3.19. Phụ thuộc của hệ số ma sát μ vào áp suất để tạo thành và phân bố bột đồng với vật liệu bôi trơn khác nhau.

1. glyxêrin; 2. dầu MC - 20 ; 3. dầu hoả.

Nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến quá trình ma sát giữa kim loại và p \ddot{u} lyme. Khi nhiệt độ tăng, tính đàn hồi và tính dẻo của vật liệu giảm đi. Tùy theo nhiệt độ, có thể xảy ra các quá trình hóa lý của sự phân huỷ chất liên kết hữu cơ hay bản thân vật liệu. Ngoài ra, khi nhiệt độ tăng, sự tăng của lực ma sát sẽ tùy thuộc vào độ bám dính của chất dẻo với kim loại.

Khi ma sát những vật liệu đàn hồi cao bị hư hỏng, vì sự phá huỷ mỗi các lớp bề mặt dưới tác dụng của ứng suất pháp và lực ma sát, bằng con đường bứt ra. Những vật liệu ít đàn hồi hơn bị hư hỏng bởi sự cắt vi mô, tróc và tách.

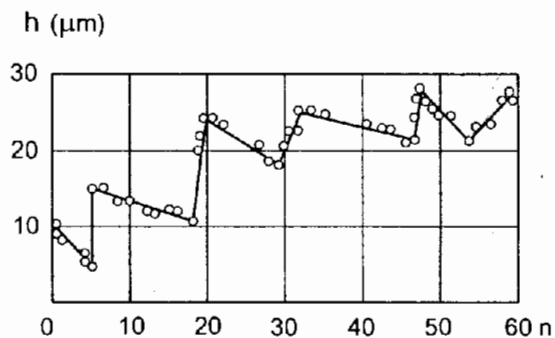
Trong quá trình mài mòn, những yếu tố hoá học biểu hiện rất độc đáo. Khi bề mặt pôlyme bị hư hỏng xảy ra sự phá huỷ những chuỗi phân tử riêng biệt, giải phóng các gốc hoá trị tự do và các nguyên tử ở trạng thái nguyên tử. Do đó, kim loại và pôlyme sẽ tác dụng hoá học với nhau. Hợp chất tạo thành bị phá huỷ và lại xuất hiện, v.v...

Nói chung, cơ chế mòn của vật liệu phi kim loại không khác cơ chế mòn của kim loại. Những quy luật riêng là do đặc điểm các tính chất cơ lý hoá và sự biến đổi trong quá trình ma sát.

3.6. Một số phương pháp tính cường độ mòn của cặp ma sát

Cường độ mòn của cặp ma sát phụ thuộc vào vật liệu của nó, tính chất của lớp bề mặt tham gia ma sát, cũng như điều kiện ma sát như : tải, nhiệt độ, chất bôi trơn ... Căn cứ vào các quá trình xảy ra trong tiếp xúc ma sát thì thấy rằng quá trình mòn không phải là một hiện tượng đơn giản, nó là tổng hợp của nhiều hiện tượng. Các hiện tượng này ảnh hưởng qua lại lẫn nhau, có thể hỗ trợ nhau hoặc khống chế nhau trong những điều kiện ma sát nhất định. Vì vậy cơ chế phá huỷ lớp bề mặt do mòn là rất phức tạp và không ổn định.

Tính chất của vật thể thứ ba hình thành trong tiếp xúc ma sát là cơ sở để phân biệt mòn không chất bôi trơn, mòn bôi trơn giới hạn và mòn bám dính. Phụ thuộc vào biến dạng của lớp bề mặt tiếp xúc ma sát thì mòn có thể xảy ra



Hình 3.20. Chiều sâu của mẫu phụ thuộc vào số chu kỳ chịu tải.

trong quá trình tiếp xúc ma sát dần hồi, tiếp xúc dẻo, cắt tế vi và các quá trình khác. Tuy nhiên cũng cần phải khẳng định rằng, trong điều kiện tiếp xúc dần hồi xảy ra trên bề mặt ma sát, tải trọng lặp đi lặp lại dẫn đến mòn do sự mệt mỏi của lớp bề mặt.

Khi trượt mô hình chỏm cầu trên bề mặt dần hồi, tại vùng tiếp xúc sẽ xuất hiện ứng suất đối dấu qua mỗi lần tiếp xúc ma sát. Thực nghiệm với một mẫu chỏm cầu cứng trượt trên bề mặt đĩa ma sát (mô hình đĩa chót) cho thấy rằng bề mặt của mẫu thử nghiệm không bị phá huỷ ngay mà phải sau một số lần tương tác ma sát nhất định. Cần lưu ý quá trình phá huỷ mòn này có kèm theo hiện tượng tích tụ phần tử mòn trước khi chúng bị tách ra khỏi bề mặt của mẫu thử (hình 3.20).

3.6.1. Tính mòn cặp ma sát theo thực nghiệm

Bằng thực nghiệm quan hệ giữa cường độ mòn và áp suất danh nghĩa đã được xác định qua công thức:

$$I = k \cdot \frac{p_a^m}{H} \quad (3.22)$$

Trong đó: p_a - áp suất danh nghĩa.

H - độ cứng.

m - chỉ số mòn.

k - hệ số tỷ lệ được xác định từ thực nghiệm.

Công thức (3.22) thường áp dụng cho biến dạng dần hồi với tải lớn và độ cứng lớn. Thể tích mòn của cặp ma sát có thể được xác định thông qua tải và độ cứng sau khi đã tìm được hệ số tỷ lệ thực nghiệm ($R. Home$).

$$W = Z \cdot \frac{N}{HB} \quad (3.23)$$

Trong đó: W - thể tích vật liệu mòn.

N - tải trọng pháp tuyến.

HB - độ cứng Brinen.

Z - hệ số tỷ lệ được lấy từ thực nghiệm, khả năng

tách nguyên tử khỏi bề mặt ma sát khi gặp bề mặt đối tác.

Nếu giả thiết phần tử mòn tách ra có dạng cầu với bán kính bằng bán kính của vết tiếp xúc thì thể tích có thể được tính theo công thức (J.F.Archard) sau:

$$W = \frac{k}{3} \cdot \frac{N}{HB} \quad (3.24)$$

Trong đó k là hệ số kể đến khả năng tách các phần tử ra khỏi bề mặt tiếp xúc; $k = 10^{-2} \div 10^{-7}$.

3.6.2. Tính mòn cặp ma sát theo năng lượng

Trong quá trình tiếp xúc ma sát, phần tử mòn sẽ tách khỏi bề mặt ma sát là lớp bề mặt của vật liệu tiếp xúc ma sát đã tích lũy đủ nội năng dự trữ. Phần lớn công ma sát được khuếch tán dưới dạng nhiệt năng, chỉ còn một phần nhỏ khoảng 9 đến 16% tích lũy trong vật liệu dưới dạng nội năng. Đây chính là nguyên nhân dẫn tới phá hủy bề mặt tiếp xúc ma sát (Et.Fleisder).

Năng lượng ma sát bề mặt được xác định theo công thức:

$$e_T^* = \frac{W_T}{V_d} \quad (3.25)$$

Trong đó: V_d – thể tích vật liệu mòn.

W_T – công ma sát; $W_T = f \cdot N \cdot L$

f – hệ số ma sát.

N – tải trọng pháp tuyến.

L – chiều dài quãng đường ma sát.

Năng lượng bề mặt ma sát có thể được xác định theo cường độ mòn:

$$e_T^* = \frac{\tau}{I_h} \quad (3.26)$$

Trong đó: τ – lực ma sát riêng, $\tau = f \cdot Pa$.

I_h – cường độ mòn.

Năng lượng bề mặt cơ bản e_T được xác định bằng tỷ số giữa công của lực ma sát và thể tích vật liệu bị biến dạng:

$$e_T = \frac{W}{V_{bd}} \quad (3.27)$$

Trong đó V_{bd} là thể tích vật liệu bị biến dạng, nơi tích lũy nội năng.

Một lần tương tác ma sát không đủ năng lượng để tách phần tử mòn. Nếu giả thiết phần tử mòn được tách ra khỏi bề mặt ma sát khi số lần tương tác ma sát tiến gần tới giới hạn n_k , thì có mối quan hệ:

$$e_T = \frac{n_k \cdot c_{Te}}{v} \quad (3.28)$$

Trong đó:
$$v = \frac{V_d}{V_{bd}}$$

Như vậy cường độ mòn được tính theo công thức:

$$I_h = \frac{\tau \cdot v}{e_{Te} \cdot n_k} \quad (3.29)$$

Trên thực tế, không phải toàn bộ công ma sát tích lũy dưới dạng nội năng trong vật liệu, do đó công nội năng tích lũy trong vật liệu được xác định theo công thức:

$$W_{ak} = \xi_T \cdot W_T \quad \text{và} \quad e_{ak} = \xi_T \cdot e_{Te} \quad (3.30)$$

Trong đó: W_{ak} - công nội năng tích lũy trong vật liệu.

e_{ak} - nội năng trung bình của bề mặt ma sát.

ξ_T - hệ số tích lũy nội năng phụ thuộc cấu trúc, thành phần, công nghệ gia công vật liệu.

Vùng vật liệu tích lũy năng lượng được gọi là thể tích tích lũy năng lượng. Khi năng lượng đạt tới giá trị tới hạn thì làm chảy dẻo hoặc tách phần tử mòn. Hệ số χ đặc trưng cho mức độ tích lũy được xác định bằng tỷ số giữa thể tích tích lũy và thể tích chất dẻo (phá hủy).

Khi chu kỳ tác động tới giới hạn n_k sẽ xảy ra quá trình tách phần tử mòn. Năng lượng trung bình của bề mặt ma sát e_{ak} tương ứng với giá trị (n_k-1) chu kỳ, khi đạt đến n_k chu kỳ thì toàn bộ năng lượng sẽ được dùng để tách phần tử mòn. Như vậy năng lượng phá huỷ trung bình của bề mặt khi ma sát được tính theo công thức sau:

$$\bar{e}_{tb} = e_{Te} \cdot [\xi_T(n_k - 1) + 1] \quad (3.31)$$

Tại miền bị phá huỷ, năng lượng bề mặt e_b lớn hơn năng lượng phá huỷ trung bình χ lần, ta có:

$$\bar{e}_b = e_{tb} \cdot \chi$$

Tương tự có mối quan hệ:

$$e_{tb} = \bar{e}_b \cdot \chi$$

Vậy năng lượng ảo của bề mặt ma sát là:

$$e_i^* = e_{tb} \cdot \frac{n_k}{\chi_T [\xi_T(n_k - 1) + 1]} \quad (3.32)$$

3.6.3. Tính mòn cặp ma sát theo độ bền nhiệt

Quá trình phá huỷ bề mặt của vật rắn trong tiếp xúc ma sát như là một quá trình nhiệt động (Zurkov). Tuổi bền ma sát và độ bền có mối quan hệ biểu thị qua biểu thức:

$$\tau = \tau_0 \cdot e \cdot \frac{U_0 - \gamma \sigma}{R \cdot \vartheta} \quad (3.33)$$

Trong đó: τ - tuổi bền (thời gian ma sát cần thiết để phá huỷ vật liệu).

σ - ứng suất phá huỷ.

γ - độ nhạy cảm cấu trúc của vùng tiếp xúc.

ϑ - nhiệt độ.

R - hằng số khí.

U_0 - năng lượng hoạt hoá của quá trình phá huỷ.

$\tau_0 = 10^{-2}$ s.

Biểu thức (3.33) phù hợp với vật liệu không đồng nhất, đa tinh thể cũng như đơn tinh thể.

Phương trình cường độ mòn có dạng :

$$I \approx \exp\left[-\frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot \theta}\right] \quad (3.34)$$

3.6.4. Tính mòn cặp ma sát theo lý thuyết ma sát mồi (Kragelsky)

Cần xác định mối quan hệ giữa lực ma sát riêng và biến dạng của thể tích vật liệu trong vùng tiếp xúc thực. Nhấp nhô của bề mặt vật rắn tạo ra các tác động tương hỗ phân tán tiếp xúc ma sát. Các tiếp xúc xảy ra trên các đỉnh nhấp nhô gọi là diện tích tiếp xúc thực. Bề mặt nhấp nhô dưới tác động của tải pháp tuyến sẽ thâm nhập vào nhau hoặc bị đè bẹp.

Trong quá trình ma sát thể tích vật liệu cục bộ nằm dưới lớp bề mặt phải chịu tác động tương hỗ lặp đi lặp lại nhiều lần.

Hình 3.21 trình bày sơ đồ ma sát với mô hình chỏm cầu cứng trượt trên bề mặt biến dạng, nơi xuất hiện thành phần ứng suất phức tạp. Phía trước tồn tại vùng ứng suất nén, còn phía sau là vùng ứng suất kéo. Kết quả là xuất hiện sự biến thiên ứng suất theo chu kỳ trong thể tích vật liệu ở lớp bề mặt. Mỗi chu kỳ tương tác ma sát sẽ hình thành hư hỏng tích lũy. Mòn do ma sát mồi là dạng phá hủy đặc biệt do ứng suất ma sát thay đổi theo chu kỳ, với giá trị biên độ không vượt quá giới hạn đàn hồi của vật liệu.

Số chu kỳ dẫn đến phá hủy phụ thuộc vào biên độ của ứng suất tác dụng:

$$n = \frac{\text{const}}{\tau^{t_f}} \quad (3.35)$$

Trong đó: τ - lực ma sát riêng.

t_f - số mũ của đường cong mỏi được xác định từ thực nghiệm.

Số chu kỳ dẫn đến phá hủy n đặc trưng cho quá trình mỏi của vật liệu lớp bề mặt. Theo đường cong mỏi Veler, số chu kỳ dẫn đến phá

huỷ sẽ giảm khi tăng biên độ của ứng suất tác dụng.

Bằng thực nghiệm đã xác định được sự đồng dạng giữa phụ thuộc của số chu kỳ phá huỷ vào ứng suất tác dụng của toàn khối vật liệu với phụ thuộc của số chu kỳ phá huỷ vào ứng suất ma sát của bề mặt. Hai đường cong mỗi trên đồ thị logarit luôn song song và cách nhau một khoảng nhất định.

Số chu kỳ phá huỷ của toàn khối vật liệu được xác định theo công thức :

$$n_{\text{toankhoi}} = \left(\frac{\sigma_b}{\sigma} \right)^k$$

Như vậy hằng số “const” trong công thức phải có dạng

$$\text{const} = \frac{\sigma_b}{k}$$

Số chu kỳ phá huỷ do ứng suất ma sát được thể hiện bằng công thức:

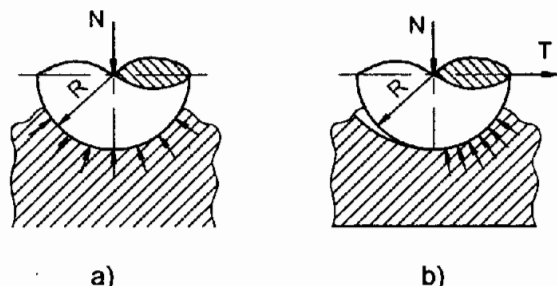
$$n_{\text{ms}} = \left(\frac{\sigma_b}{k \cdot \tau} \right)^{t_r} \quad (3.36)$$

Trong đó: τ – lực ma sát riêng, $\tau = f \cdot p_r$.

k – hệ số phụ thuộc trạng thái ứng suất ma sát và bản chất vật liệu: đối với vật liệu giòn $k = 5$; đối với vật liệu dẻo $k = 3$.

t_r - thông số tiếp xúc ma sát môi.

Bề mặt tiếp xúc ma sát là bề mặt có nhấp nhô thay đổi theo độ cao. Do đó ứng suất ma sát xuất hiện trên các đỉnh nhấp nhô biến thiên ngẫu nhiên phụ thuộc vào độ



Hình 3.21. Sơ đồ ma sát trượt của chỏm cầu cứng.
a) khi chưa có chuyển động tương đối; b) khi có chuyển động tương đối chỉ một nửa chỏm cầu chịu tải.

cao khác nhau của nhấp nhô. Thừa nhận quy luật phân bố xác suất của tải không ổn định trên vết tiếp xúc và áp dụng giả thuyết cộng tuyến tính các tương tác mới đưa đến việc điều chỉnh số chu kỳ dẫn đến tách phần tử mòn bằng hệ số K_{TV} . Hệ số này được xác định bằng đồ thị qua các giá trị của v và f (hình 3.22).

3.7. Tính mòn cặp ma sát theo lý thuyết cơ phân tử

3.7.1. Phương trình mòn cơ bản

Mòn vĩ mô thường đặc trưng bởi cường độ mòn tuyến tính I_h (không thứ nguyên):

$$I_h = \frac{V_\Sigma}{A_a \cdot L} = \frac{U}{L} \quad (3.37a)$$

Trong đó:

V_Σ - thể tích mòn của vật liệu trên quãng đường ma sát.

L - chiều dài quãng đường ma sát.

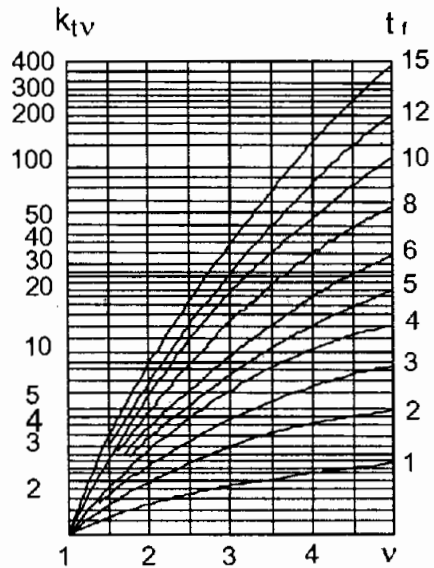
A_a - diện tích danh nghĩa.

U - Lượng mòn theo chiều cao lớp mòn.

Quá trình mòn chỉ xảy ra ở trên các vết tiếp xúc thực, khi đó mòn tại điểm tiếp xúc vĩ mô được đặc trưng bằng cường độ mòn riêng i_h là:

$$i_h = \frac{\Delta V}{A_r \cdot d} \quad \text{kết quả của một tương tác ma sát.} \quad (3.37b)$$

Trong đó: d - đường kính trung bình.



Hình 3.22. Toán đồ xác định K_{TV} .

ΔV – thể tích phần vật liệu tách ra trên diện tích A_r trong quãng đường ma sát d .

Phối hợp hai phương trình (3.37a) và (3.37b) ta được:

$$\frac{I_n}{i_h} = \frac{U/L}{\Delta V/A_r \cdot d} = \frac{U}{\Delta V} \cdot \frac{A_r \cdot d}{L} = \frac{V_\Sigma}{\Delta V} \cdot \frac{A_r \cdot d}{A_a \cdot L} = \frac{A_r}{A_a}$$

$$\forall i \quad U = \frac{V_\Sigma}{A_a} \quad \text{nên} \quad I_h = i_n \cdot \frac{A_r}{A_a} \quad (3.38)$$

Tính cường độ mòn của cặp ma sát là xác định mối quan hệ cường độ mòn riêng i_h với tính chất cơ lý của vật liệu, điều kiện làm việc của cặp ma sát (tải trọng, vận tốc, nhiệt độ, chất bôi trơn, môi trường, v.v...), đặc tính nhấp nhô tế vi của bề mặt, đặc điểm kết cấu, v.v...

Thực chất, cơ chế phá huỷ bề mặt ma sát quyết định mối quan hệ nói trên.

Điều kiện để cường độ mòn là không đổi như sau:

$$\Delta V = \frac{\Delta V_i}{n_i} = \frac{\Delta V_1}{n_1} \dots = \frac{\Delta V_n}{n_n} \quad (3.39)$$

Trong đó: ΔV_i – thể tích phần tử mòn bị tách ra.

n_i – số chu kỳ tác động để tách thể tích vật liệu ΔV_i .

ΔV – thể tích phần tử mòn tương ứng với một tương tác ma sát.

Khảo sát trường hợp đơn giản nhất của tiếp xúc ma sát giữa hai vật rắn với các giả thiết như sau:

- Thể tích phần tử mòn ΔV_i bằng thể tích vật thể nhỏ nhất V_b tham gia vào biến dạng tại điểm tiếp xúc ma sát.
- Tiếp xúc ma sát của hai vật rắn, một bề mặt là tuyệt đối phẳng và biến dạng đàn hồi, còn vật thể kia có nhấp nhô bề mặt và tuyệt đối rắn.
- Bề mặt nhấp nhô được mô hình hoá bởi các chỏm cầu đơn lẻ có bán kính như nhau, phân bố theo độ cao có cùng đường cong phân bố bề

mặt thực.

Trên thực tế các tiếp xúc phẳng là rất hiếm, độ không phẳng của bề mặt tiếp xúc có thể đánh giá gần đúng bằng mật độ vết tiếp xúc, xấp xỉ bằng tỷ số giữa áp suất danh nghĩa và độ cứng của vật liệu mềm hơn trong ma sát. Với giả thiết thứ nhất : chỉ có thể tích bị mòn tham gia vào các tiếp xúc ma sát nhấp nhô. Thể tích vật liệu V_b được tính thông qua việc sử dụng đường cong mật độ phân bố theo độ cao của nhấp nhô bề mặt, hình 3.23:

$$t_p = b \cdot \varepsilon^v \quad (3.40)$$

Trong đó:

$$\varepsilon - \text{độ dịch gần tương đối, } \varepsilon = \frac{h}{R_{\max}}$$

h – khoảng cách từ mặt phẳng đến đỉnh nhấp nhô cao nhất.

b, v - thông số đặc trưng của đường cong mật độ nhấp nhô.

R_{\max} – chiều cao lớn nhất của profin bề mặt.

Thể tích V_b được tính qua công thức:

$$V_b = \int_0^h A_r \cdot dh = A_c \cdot R_{\max} \cdot \int_0^\varepsilon b \cdot \varepsilon^v \cdot d\varepsilon = \frac{A_c \cdot R_{\max} \cdot b \cdot \varepsilon^{v+1}}{v+1} = \frac{A_r \cdot R_{\max} \cdot \varepsilon}{v+1} \quad (3.41)$$

$$i_h = \frac{\Delta V}{A_r \cdot d} \text{ suy ra } i_h = \frac{V_b}{A_r \cdot d \cdot n} = \frac{A_r \cdot h}{v+1} \times \frac{1}{A_r \cdot d \cdot n} = \frac{h}{(v+1)d \cdot n} \quad (3.42)$$

Với mô hình đỉnh nhấp nhô là chỏm cầu $d \approx \sqrt{2rh}$ do đó:

$\frac{h}{d} \approx 0,7 \sqrt{\frac{h}{r}}$. Giá trị của h/r trên các bề mặt gia công lần cuối, nằm trong phạm vi từ 10^{-3} đến 10^{-1} .

Phương trình mòn cơ bản của cặp ma sát được biểu diễn bằng công thức:

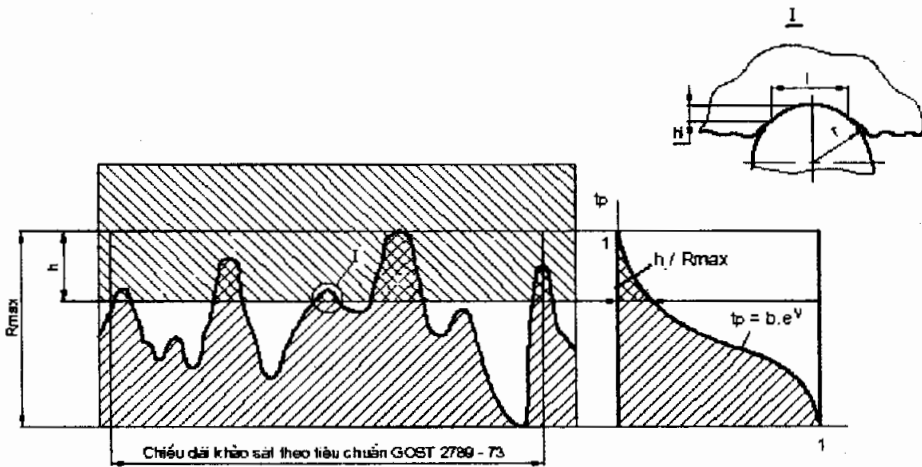
$$I_h = \alpha \cdot i_h \cdot \frac{A_r}{A_a} = K_l \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} \cdot \frac{p_a}{p_r} \cdot \frac{l}{n} \quad (3.43)$$

Trong đó:

K_1 – hệ số được xác định do hình dạng hình học và sự phân bố theo độ cao của các nhấp nhô đơn trên bề mặt vật thể rắn $K_1 \approx 0,2$.

α - hệ số trùng khít; $\alpha = 0,5$ khi tiếp xúc đàn hồi, $\alpha = 1$ khi tiếp xúc dẻo.

n – số chu kỳ dẫn đến tách phần tử mòn ΔV_i .



Hình 3.23. Mô hình tiếp xúc của vật rắn có nhấp nhô bề mặt với mặt phẳng của vật liệu biến dạng đàn hồi

Trong phương trình mòn cơ bản, cường độ mòn I_h thay đổi trong phạm vi từ 10^{-3} đến 10^{12} , qua thực nghiệm mối quan hệ giữa các biến dạng và cấp cường độ mòn được thể hiện trong bảng 3.3.

Bảng 3.3. Quan hệ cấp cường độ mòn và các nhóm biến dạng

Cấp	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\lg I_{\min}$	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4
$\lg I_{\max}$	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3

Các cấp mòn được quy định ở bảng 3.3 phù hợp với các dạng chủ yếu của mối tương tác ma sát, được thừa nhận trong cơ học vật rắn.

Cấp I đến cấp V: nhóm biến dạng đàn hồi.

Cấp VI đến cấp VII: nhóm đàn dẻo.

Cấp VIII đến cấp IX: nhóm cắt tế vi.

Cường độ mòn phụ thuộc vào dạng tiếp xúc của cặp ma sát. Vì vậy, trong mọi trường hợp cần đảm bảo tiếp xúc đàn hồi của bề mặt cặp ma sát. Điều này diễn ra một cách tự phát khi chạy rà, làm biến đổi hình học và tính năng của các nhấp nhô tiếp xúc cũng như phân bố của chúng theo chiều cao. Quá trình chạy rà là quá trình biến đổi dần dần từ tiếp xúc đàn dẻo của bề mặt công nghệ sang tiếp xúc đàn hồi của bề mặt làm việc.

Thông số của đường cong mật độ phân bố nhấp nhô theo độ cao được tính theo công thức :

$$v = 2t_m \cdot \frac{R_p}{R_a} - 1; \quad b = t_m \left(\frac{R_{max}}{R_p} \right)^y$$

Bảng 3. 4. Giá trị thông số tiếp xúc ma sát mỗi t_f khi trượt trên thép không chất bôi trơn trong môi trường không khí

Vật liệu	σ_b (kG/cm ²)	t_r
Thép 45	7,000	7,9
Gang 4HMX	6,600	4,1
Graphit		
AR - 1500	200	2,0
AO - 1500	250	2,6
AMC	800	2,4
Graphit điện	2,750	6,7
NIGRAN	250	2,0

Tiếp bảng 3.4.

Vật liệu	σ_b (kG/cm ²)	t_r
Cao su với môđun đàn hồi		
E(kG/cm ²)		
22	2,110	3,0
28	1,460	3,4
32,5	8,500	3,6
Cao su làm vòng bít	1,600	3,4
Polyformaldehyde	1,470	1,3
Polycarbonate	8,400	2,9
Nhựa epoxy	1,800	4,6
K82	14,200	3,1
Chất dẻo florua cấp 4	630	5,0
Retinax ΦK - 240	11,840	12,6
Retinax AΦ - 3AM	27,300	2,9
Caprolon	6,300	2,6

Trong phương trình mòn cơ bản (3.43), thừa số thứ nhất thể hiện độ sâu thâm nhập tương đối của nhấp nhô bề mặt, độ sâu thâm nhập này quyết định dạng biến dạng trong tiếp xúc ma sát. Đối với vật liệu đàn hồi, nó nhỏ hơn 10^{-2} đối với kim loại đen và nhỏ hơn 10^{-4} đối với kim loại màu. Cần phải lưu ý rằng với tỷ số $h/r > 0,5$ thì khớp ma sát ngoài không hoạt động. Trong trường hợp thâm nhập của nhấp nhô cứng vào bề mặt vật thể biến dạng đàn hồi (vật thể bị mòn), nhấp nhô của bề mặt được đặc trưng bởi thông số tổ hợp Δ và thông số của đường cong phân bố nhấp nhô bề mặt. Giá trị của h/r được tính theo công thức:

$$\sqrt{\frac{h}{r}} = \left(\frac{2p_c}{p_r} \right)^{\frac{1}{2\nu}} \cdot \Delta^{\frac{1}{2}} \quad (3.44)$$

Thừa số thứ hai của (3.43) xác định tỷ số diện tích tiếp xúc thực trên diện tích tiếp xúc danh nghĩa. Do bề mặt thực luôn tồn tại nhấp nhô bề mặt và sóng nên tỷ số này luôn nhỏ hơn đơn vị. Nó nằm trong khoảng từ 10^{-4} đến 10^{-2} đối với kim loại và 10^{-2} đến 10^{-1} với vật liệu đàn hồi (pôlyme, cao su, ...), tỷ số $\frac{p_a}{p_r}$ có thể xác định theo công thức:

$$p_r = 0,5 \cdot E^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \cdot \Delta^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \cdot p_c^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \quad (3.45)$$

Ở đây có $p_a = p_c$.

Thừa số thứ ba trong phương trình mòn cơ bản (3.43) đặc trưng cho tính chống mòn của vật liệu ma sát, nó phụ thuộc vào: cơ tính của vật liệu, độ lớn của ứng suất tác dụng trên vết tiếp xúc, các đặc trưng của các quá trình cơ lý hoá xảy ra trên vết tiếp xúc thực và vào sự tồn tại của chất bôi trơn hoặc khí ga của môi trường. Nó thay đổi trong khoảng rất rộng từ 10^{-2} đến 10^{-10} và tác động lớn đến tốc độ mòn. Bảng 3.5 cho thấy giá trị của cường độ mòn I_h thay đổi trong khoảng 10^{-3} ÷ 10^{-12} .

3.7.2. Cường độ mòn cặp ma sát.khi tiếp xúc đàn hồi.

Trong quá trình ma sát thể tích vật liệu lớp bề mặt chịu tác động của ứng suất biến thiên theo chu kỳ, mỗi chu kỳ tác động không mất đi trong vật liệu mà làm tích lũy các hư hỏng và cuối cùng xảy ra phá huỷ vật liệu trên lớp bề mặt ma sát. Đặc trưng cơ bản của mòn khi tiếp xúc đàn hồi đó là giá trị ứng suất có biên độ không vượt quá giới hạn đàn hồi của vật liệu. Tuy nhiên số chu kỳ ma sát dẫn đến phá huỷ vật liệu hay bậc của đường cong mỏi phải xác định bằng thực nghiệm, số mũ của thông số mỏi t_f trên thực tế đặc trưng cho tất cả các quá trình hoá lý khi ma sát. Trị số này cho đến nay không tính toán được, phải xác định qua thực nghiệm:

Thứ nhất: thử nghiệm mòn

Sử dụng các kết quả thử nghiệm mòn ở hiện trường và trong phòng thí nghiệm để tổng hợp hoặc kiểm nghiệm lại các dữ kiện. Nhược điểm chủ yếu của phương pháp này là số mẫu thử nghiệm ít, để có độ chính xác cao phải tốn nhiều thời gian và kinh phí .

Bảng 3. 5. Giá trị cường độ mòn I_h không thứ nguyên của một số chi tiết máy

Chi tiết bị mòn	I_h	Chú thích
1	2	3
+ Sơ mi xylanh - Động cơ kiểu ЯМЗ – 236 - Ôtô	$1,8 \cdot 10^{-12}$ $2,5 \cdot 10^{-12}$ $(1,1 \div 5,6) \cdot 10^{-11}$	Xecmăng - Mạ thiếc - Mạ crôm - Gang
+ Xec măng - Mạ thiếc của động cơ ЯМЗ – 236 - Mạ crôm của động cơ ЯМЗ – 236 - Động cơ Д-48Т	$2,5 \cdot 10^{-11}$ $2,5 \cdot 10^{-12}$ $4 \cdot 10^{-11}$	Sơ mi của các xylanh bằng gang
Trục khuỷu của động cơ ô tô + Ngõng cổ biên + Ngõng cổ chính	$4 \cdot 10^{-11} \div 5 \cdot 10^{-12}$ $1,6 \cdot 10^{-11} - 1,8 \cdot 10^{-12}$	Thép – bạc hợp kim
Ngõng trục cam động cơ ô tô ZIN – 130	$1,8 \cdot 10^{-9}$ $1,6 \cdot 10^{-9}$	-Bôi trơn -Mạ bề mặt, bôi trơn
Các chi tiết của máy xúc Э-302; Э - 305; Э - 651 và các máy khác + Then hoa trên đĩa quay + Then hoa trên trục quay + Răng của bánh răng đảo chiều: - Trụ - Côn Cơ cấu đĩa xích Răng của ly hợp vấu Răng gầu trục	$8,6 \cdot 10^{-11}$ $5,3 \cdot 10^{-10}$ $1,5 \cdot 10^{-11}$ $6,3 \cdot 10^{-12}$ $7,3 \cdot 10^{-12}$ $6,3 \cdot 10^{-10}$ $10^{-4} \div 10^{-3}$	Các vật liệu của chi tiết máy Thép 50Т – WX15 Thép 40X – 35ГЛ Thép 40X – 45 Thép 40 – 40X Thép 45 – 45 Thép 45 – 45 Thép 45 – 45

Tiếp bảng 3.5

1	2	3
Đường dẫn hướng của máy công cụ Cơ cấu có dạng trượt	$2 \cdot 10^{-9} \div 4 \cdot 10^{-11}$ $2 \cdot 10^{-11}$	Gang – Gang Gang - Gang
Các dụng cụ cắt gọt làm từ T15K6 không có dung dịch trơn nguội T15K6 trong không khí - Trên mặt sau - Trên mặt trước	$(1,5 \div 6) 10^{-8}$ $1,1 \cdot 10^{-8}$ $2,2 \cdot 10^{-8}$	Vật liệu gia công Thép 40X ở $v = 150 \div 230$ m/ph Thép 40; $v = 180$ m/ph
T15K6 trong chân không $5 \cdot 10^{-6}$ mmHg - Trên mặt sau - Trên mặt trước Các dụng cụ cắt gọt P9K5 trong khí quyển - Trên mặt sau - Trên mặt trước Cũng như trên nhưng ở chân không $5 \cdot 10^{-6}$ mmHg - Trên mặt sau - Trên mặt trước	 $5,8 \cdot 10^{-8}$ $4,1 \cdot 10^{-8}$ $5,5 \cdot 10^{-7}$ $6 \cdot 10^{-7}$ $8,5 \cdot 10^{-7}$ $1,1 \cdot 10^{-7}$	Thép 40; $v = 180$ m/ph Thép XH35BT I-O $v = 4$ m/ph nt nt nt nt nt
Các calip, compa đo lỗ, lỗ khuôn cân bằng hợp kim cứng Các calip làm từ hợp kim L1M – 332 và thép Y10A	10^{-10} $(1,3 \div 2,9) 10^{-9}$	
Các bộ phận phanh ma sát - Đĩa - Trống phanh - Guốc phanh	$8 \cdot 10^{-7} \div 4 \cdot 10^{-10}$ $(2 \div 8) 10^{-7}$ $2,6 \cdot 10^{-6} \div 10^{-7}$	
Ổ trượt của chòong khoan	$10^{-5} \div 10^{-7}$	

Thứ hai: thí nghiệm trên các thiết bị đo tiếp xúc cục bộ cho vật liệu không tương tác cơ hoá với môi trường xung quanh. Thông số t_r có thể rút ra từ thí nghiệm về môi thể tích. Đối với điều kiện ma sát thông thường, thông số ma sát mỗi t_r được cho trong bảng 3.4.

Sau khi biến đổi phương trình mòn cơ bản (3.43) cho trường hợp tiếp xúc đàn hồi, cường độ mòn có dạng:

$$I_h = K_1 \cdot \alpha \cdot 2^{\frac{1}{2v}} \cdot p_a \cdot p_c^{\frac{1}{2v}} \cdot p_r^{t_r-1} \cdot \frac{1}{2v} \cdot \Delta^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_r} \quad (3.46)$$

Trong đó áp suất tiếp xúc thực p_r được tính theo công thức:

$$p_r = 0,5 \cdot E^{\frac{2v}{2v+1}} \cdot \Delta^{\frac{v}{2v+1}} \cdot p_c^{\frac{1}{2v+1}} \quad (3.47)$$

Áp suất cục bộ khi không kể đến ảnh hưởng của nhám đến sóng được tính theo công thức:

$$p_c = 0,2 \cdot E^{0,8} \left(\frac{H_b}{R_b} \right)^{0,4} \cdot p_a^{0,2}$$

Trong đó: H_b - độ cao của sóng.

R_b - bán kính sóng.

E - mô đun đàn hồi.

Giá trị của áp lực vòng của p_c thay đổi tùy theo dạng tiếp xúc của nhấp nhô bề mặt:

1. Tiếp xúc của các bề mặt nhấp nhô, không chạy rà, không có sang $p_a = p_c$

Các bề mặt này bao gồm ổ của các cơ cấu đồng hồ, chi tiết của các dạng dụng cụ đo, các dạng mối ghép ren, chốt then, thanh dẫn hướng, dụng cụ cắt, v.v...

Các tiếp xúc tạo thành các cặp động học cao cấp, bộ truyền bánh răng, cam, bánh xe và đường ray, v.v...

Cường độ mòn trong trường hợp này được tính theo công thức sau:

$$I_h = K_2 \cdot \alpha \cdot K_{iv} p^{1 + \frac{t_f}{2v+1}} \cdot E \left[\frac{2v \cdot t_f}{2v+1} \right]^{-1} \cdot \Delta^{\frac{v \cdot t_f}{2v+1}} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_f} \quad (3.48)$$

$$K_2 = 0,5 \left(t_f^{-1} - \frac{1}{2v} \right) \cdot 2^{\frac{1}{2v}} \cdot K_1 \quad (3.49)$$

Với các bề mặt có gia công lần cuối thông dụng ($v = 2$):

$$I_h = K_2 \cdot \alpha \cdot K_{iv} p^{1 + \frac{t_f}{5}} \cdot E \left[\frac{4t_f}{5} \right]^{-1} \cdot \Delta^{\frac{2t_f}{5}} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_f} \quad (3.50)$$

2. Tiếp xúc của các bề mặt nhấp nhô có sóng và không chạy rà, $p_a \neq p_c$:

Dạng tiếp xúc này bao gồm : đường hướng máy công cụ, phanh đĩa, ly hợp, v.v ...

Cường độ mòn được tính theo công thức:

$$I_h = K_3 \cdot \alpha \cdot K_{iv} p^{1 + \frac{t_f}{5(2v+1)}} \cdot E^{\frac{2t_f(5v+2)}{5(2v+1)} - 1} \cdot \Delta^{\frac{v \cdot t_f}{2v+1}} \cdot \left(\frac{H_b}{R_b} \right)^{\frac{2t_f}{5(2v+1)}} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_f} \quad (3.51)$$

Trong đó: $K_3 = K_2 \cdot 0,2^{\frac{t_f}{2v+1}}$

Bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng không lớn giữa cường độ mòn và áp lực danh nghĩa khi $v = 2$, ta có:

$$I_h \approx K_3 \cdot \alpha \cdot K_{iv} \cdot p \cdot E^{t_f - 1} \cdot \Delta^{0,4t_f} \cdot \left(\frac{H_b}{R_b} \right)^{0,1t_f} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_f}$$

3. Các bề mặt đã chạy rà bao gồm các chi tiết có hình dạng bất kỳ

Độ nhấp nhô tối ưu được hình thành trong quá trình ma sát khi chạy rà.

Trong trường hợp tính cường độ mòn của bề mặt đã chạy rà, ta có áp lực tiếp xúc tại điểm thực:

$$P_r \approx 0,7 \cdot \left(\frac{\tau_0 \cdot E}{\alpha_n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.52)$$

Nếu không tính đến thành phần cơ học thì hệ số ma sát sẽ là:

$$f \approx 1,4 \cdot \left(\frac{\tau_0 \cdot \alpha_H}{E} \right)^{\frac{1}{2}} + \beta \quad (3.53)$$

Như vậy hệ số ma sát của các bề mặt đã được chạy rà thực tế là không phụ thuộc vào tải trọng và hình học tế vi của bề mặt ma sát.

Nhấp nhô thứ cấp được hình thành khi kết thúc quá trình chạy rà, khi đó thông số tổ hợp của bề mặt trong trường hợp này được tính theo công thức:

$$\Delta \approx \frac{15 \cdot \tau_0^{\frac{5}{4}}}{E^{\frac{4}{5}} \cdot P^{\frac{1}{2}} \cdot \alpha_h^{\frac{5}{4}}} \quad (3.54)$$

Trong trường hợp chạy rà, cường độ mòn được tính theo công thức:

$$I_h = K_2 \cdot 15^{\frac{2t_f}{5}} \cdot \alpha \cdot K_{iv} \cdot p \cdot E^{\left[\frac{t_f}{2} - 1 \right]} \cdot \tau_0^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\alpha_h^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(\frac{k \cdot f_p}{\sigma_b} \right)^{t_f} \quad (3.55)$$

Trong các trường hợp tính toán khác, khi tính năng đàn hồi của vật liệu hai chi tiết trong cặp ma sát là tương tự, thì sử dụng môđun đàn hồi tương đương:

$$E_{td} = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad (3.56)$$

Có thể đạt độ chính xác cao hơn nếu sử dụng hệ số môđun đàn hồi sau:

$$\Theta = \frac{(1 - \mu^2)}{E} \quad (3.57)$$

Độ nhấp nhô của bề mặt gây mòn:

$$r_{1,2} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (3.58)$$

$$R_{\max 1,2} = R_{\max 1} + R_{\max 2} \quad (3.59)$$

$$b_{1,2} = b_1 \cdot b_2 \cdot \frac{K_M \cdot R_{\max 1,2}}{R_{\max 1}^{v_1} \cdot R_{\max 2}^{v_2}} \quad (3.60)$$

$$v_{1,2} = v_1 + v_2 \quad (3.61)$$

Hệ số K_M phụ thuộc vào v_1 và v_2 .

Trong trường hợp khi cả hai bề mặt đều có gia công lần cuối thì giá trị tổ hợp của nhấp nhô bề mặt được tính:

$$\Delta_{1,2} = 1,6 \cdot \frac{(R_{\max 1} \cdot R_{\max 2})^{\frac{1}{2}}}{r_{1,2} (b_1 \cdot b_2)^{\frac{1}{4}}} \quad (3.62)$$

Nếu các bề mặt có độ nhấp nhô khác nhau hơn 2 cấp thì độ nhấp nhô của bề mặt phẳng hơn có thể bỏ qua.

Các công thức tính cường độ mòn trên đây dựa vào giả thuyết vật rắn tuyệt đối trên vật thể mềm hơn và mòn xảy ra trên vật thể mềm.

Cường độ mòn của vật thể gây mòn được tính theo công thức:

$$I'_n = I_h \cdot \alpha_M \quad (3.63)$$

Trong đó:

$$\alpha_M = (1 + c) - \frac{t_f}{2} (1 + \beta); \quad \beta = \frac{1}{2\nu + 1}$$

$$c = \frac{\Theta_2}{\Theta_1}$$

Θ_1 – hằng số môđun đàn hồi của vật liệu được tính mòn.

Khi $c \rightarrow 0$ thì $\alpha \approx 1$. Nếu môđun đàn hồi không khác nhau nhiều thì $\alpha < 1$.

Ví dụ, cần xác định mòn của vật thể gây mòn là trục thép tiếp xúc ma sát với ổ đỡ cao su. Khi đó chắc chắn có ổ đỡ cao su là vật

biến dạng so với trục thép, giả thiết $t_f = 2$; $\beta = 1/5$; $c = 10^4$. Vậy $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

3.7.3. Cường độ mòn cặp ma sát khi tiếp xúc dẻo

Đối với tiếp xúc dẻo (số chu kỳ mòn nhỏ), số chu kỳ phá huỷ n phụ thuộc vào giá trị biên độ biến dạng:

$$n = \left(\frac{e_0}{e} \right)^t \quad (3.64)$$

Trong đó: t – số mũ đường cong ma sát do mỏi, giá trị của t dao động trong phạm vi hẹp từ 2 đến 3.

e_0 – có giá trị xấp xỉ độ dẫn dài tương đối khi đứt σ_b .

Quan hệ giữa n và biến dạng tại vùng tiếp xúc, tính năng cơ lý, nhấp nhô bề mặt, và đặc trưng ma sát được xác định theo công thức:

$$n = \left(\frac{2.r.e_0}{d} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_T - 2.f.HB}{\sigma_T + 2.f.HB}} \right)^{1.K_{iv}} \quad (3.65)$$

Trong đó: r – bán kính cong của các đỉnh nhấp nhô.

d – đường kính trung bình vết tiếp xúc.

f – hệ số ma sát, $f < \frac{\sigma_T}{2.HB}$.

σ_T – giới hạn chảy.

$$K_{iv} - \text{hệ số, } K_{iv} = \frac{\Gamma\left(v + \frac{t}{2}\right)}{\Gamma(v)\Gamma\left(1 + \frac{t}{2}\right)}$$

Thay thế giá trị của n vào phương trình (3.43) thì cường độ mòn khi tiếp xúc dẻo được biểu thị như sau:

$$I_h = 2^{\frac{1}{2}} \cdot c \cdot \left(\frac{P_a}{HB} \right)^{\frac{1+\beta t}{1-\beta t}} \cdot \Delta^{\frac{1+t}{2}} \cdot \left(\frac{K_f^d}{e_0} \right)^t \cdot \eta_{c.a}^{\frac{1+\beta t}{1-\beta t}} \quad (3.66)$$

Trong đó:

$$K_f^d = \sqrt{\frac{\sigma_T + 2.f.HB}{\sigma_T - 2.f.HB}}$$

$$\eta_{c,a} = \frac{A_c}{A_a}; \quad \beta = \frac{1}{2\nu + 1}$$

Như vậy cường độ mòn tỷ lệ với áp suất và thông số bề mặt tổ hợp với số mũ lớn hơn 1, khi hệ số ma sát càng cao thì cường độ mòn càng lớn. Tính năng cơ lý của vật liệu thể hiện trong công thức (3.66) bằng thừa số:

$$\left(HB^{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \cdot e_0^{\beta} \right)^{-1}$$

Khi độ cứng và độ đàn hồi tương đối tại thời điểm phá huỷ càng cao thì cường độ mòn càng nhỏ.

3.8. Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ mòn

1) Áp suất danh nghĩa

Đối với các bề mặt không được chạy rà, tải trọng riêng ảnh hưởng một cách phi tuyến đến cường độ mòn: $I \approx p_a^{(1.4 \dots 3)}$, đặc biệt đối với bề mặt có diện tích tiếp xúc nhỏ (tức là không có độ sóng).

Độ sóng bề mặt làm giảm đáng kể tính phi tuyến. Đối với bề mặt đã được chạy rà, cường độ mòn tỷ lệ với tải trọng riêng. Trong trường hợp chung, ta có $I \approx p_a^{(1 \dots 3)}$, điều này phù hợp với thực nghiệm.

2) Môđun đàn hồi của vật liệu

Môđun đàn hồi của vật liệu ảnh hưởng rất lớn đến cường độ mòn. Bảng 3.6 đã thấy hệ số lũy thừa của môđun đàn hồi thay đổi trong khoảng rất lớn. Khoảng thay đổi lớn nhất của lũy thừa phù hợp với tiếp xúc bề mặt nhám, không có độ sóng, còn giá trị lớn nhất của hệ số này tương ứng với tiếp xúc bề mặt nháp nhô và độ sóng. Sự phụ thuộc trực tiếp đơn trị giữa môđun đàn hồi và cường độ mòn khó thiết lập bằng thực nghiệm, bởi tồn tại mối liên hệ giữa môđun đàn hồi với đặc trưng ma sát, với hệ số ma sát và với các đặc trưng của độ bền (σ_0, t_p).

Sự không hoàn thiện của tính đàn hồi được thể hiện bằng hệ số hao tổn trễ, nó có ý nghĩa quan trọng với việc dự toán độ mòn của bề mặt đã chạy rà.

3) Đặc trưng độ bền vật liệu (σ_0, t_p)

Độ bền vật liệu ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ mòn. Trị số tuyệt đối của các thông số đặc trưng độ bền vật liệu càng lớn thì khả năng chịu mòn càng tăng. Khi t_f càng lớn thì chu kỳ cần thiết để tách các phần tử mòn ra khỏi bề mặt mòn càng lớn. Nói chung việc tăng bền bề mặt vật liệu làm tăng khả năng chống mòn.

4) Tính chất ma sát tiếp xúc (hệ số ma sát f)

Cường độ mòn cũng phụ thuộc vào hệ số ma sát ($f \approx f'$) như các đặc trưng bền. Mối quan hệ không tuyến tính vì hệ số ma sát phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của vật liệu, độ nhám bề mặt, tải trọng đơn vị và các đặc trưng về tương tác phân tử khi tiếp xúc.

5) Độ nhám và độ sóng bề mặt

Ảnh hưởng của các đặc trưng hình học tế vi bề mặt tới độ mòn là rất quan trọng. Bởi vì tiêu chuẩn tổng hợp của độ nhám Δ có thể thay đổi trong khoảng $10^{-3} < \Delta < 1$ và hệ số mũ của Δ thay đổi từ $0,8 \div 4$ cho nên khi tính toán nếu bỏ qua Δ sẽ làm giảm độ chính xác khi xác định cường độ mòn.

Độ sóng có thể làm thay đổi cường độ mòn trong giới hạn nhỏ hơn vì $10^{-3} > \frac{H_b}{R_b} > 10^{-6}$, còn hệ số lũy thừa nhỏ hơn đơn vị và chỉ có thể biến động đến 4 lần, và có thể làm thay đổi độ mòn từ 1 đến 2 bậc. Đối với trường hợp mòn của bề mặt chạy rà, đặc trưng tế vi ban đầu của bề mặt ma sát không ảnh hưởng đến cường độ mòn.

6) Sự tương tác phân tử khi tiếp xúc

Sự tương tác phân tử khi tiếp xúc phụ thuộc vào điều kiện ma sát như: bôi trơn, mức độ bề mặt được làm sạch, môi trường khí xung quanh và các thông số đặc trưng. Sự tương tác này được thể hiện bởi hệ số ma sát và các thông số đặc trưng τ_0 và β . Cường độ mòn của bề mặt ma sát càng nhỏ nếu lực cản trượt càng nhỏ. Đó chính là lý do sử dụng chất bôi trơn nhằm tăng tính chất chống mòn khi ma sát.

7) Yếu tố nhiệt và tốc độ

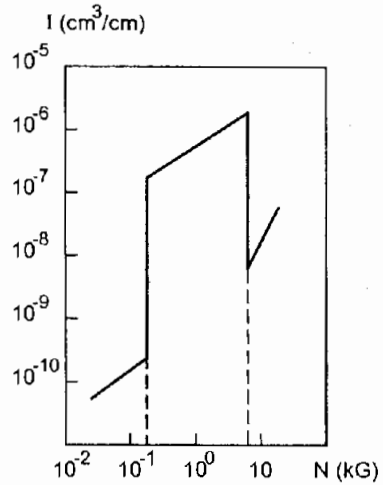
Hiện nay những nghiên cứu về ảnh hưởng của vận tốc trượt đến cường độ mòn được tiến hành chưa đầy đủ. Vận tốc trượt xác định thời gian tồn tại của liên kết ma sát và xác định tốc độ biến dạng của vật

liệu. Vận tốc trượt quyết định công suất toả nhiệt và nhiệt độ tại điểm tiếp xúc. Sự gia nhiệt của bề mặt ma sát dẫn tới sự thay đổi các tính năng cơ học và ma sát, cũng như thay đổi cấu trúc cơ hoá. Do đó cần xem xét mối quan hệ giữa nhiệt độ và mòn như hậu quả của mối quan hệ giữa nhiệt độ với các tính năng vật liệu, tức là t_f , σ_0 , f , E ở trong các phương trình tính toán.

Khi nhiệt độ tăng, môđun đàn hồi E của vật liệu biến động (giảm) không đáng kể. Hệ số ma sát có thể giảm, tăng hay không đổi đó là do thay đổi tỷ lệ giữa các thành phần phân tử và các thành phần cơ hoá tạo nên hệ số ma sát. Sự thay đổi của t_f theo nhiệt độ vẫn còn chưa được xác định rõ ràng, do đó nó cần được xác định ở nhiệt độ tương tự như khi khớp ma sát làm việc.

Cần lưu ý rằng, sự tồn tại những điểm tới hạn của quan hệ giữa cường độ mòn với các thông số đặc trưng cho toả nhiệt khi tiếp xúc, đó là tốc độ, nhiệt độ, tải trọng. Khi tiếp xúc tới nhiệt độ tới

hạn thì cường độ mòn có thể thay đổi tới mấy bậc. Để có thể xác định những điểm tới hạn này, phải tiến hành thử nghiệm độ bền nhiệt của vật liệu thu thập mối quan hệ thực nghiệm giữa hệ số ma sát và cường độ mòn với nhiệt độ tại bề mặt ma sát (hình 3.24).



Hình 3.24. Thay đổi của cường độ mòn vào tải trọng của thép có 0,25% C với $v = 2,6$ m/s.

Các công thức tính toán (3.43) ÷ (3.66) đúng với điều kiện không bôi trơn và có bôi trơn tới hạn với chuyển động ổn định.

Các phương trình tính toán cường độ mòn trong các điều kiện tiếp xúc khác nhau cho phép phân tích ảnh hưởng của các nhân tố khác nhau đến mòn.

Đối với phần lớn các bề mặt được gia công tinh bằng các phương pháp công nghệ khác nhau, đặc biệt là khi có chạy rà thì $v \approx 2$, thông số ma sát mỗi dao động trong khoảng $2 < t_f < 10$ đối với phần lớn các loại vật liệu.

Trên cơ sở các giá trị b và v đã biết. Bảng 3. 6 đưa ra khoảng thay đổi chỉ số luy thừa (phụ thuộc vào v , b) cho các thông số cơ bản ảnh hưởng nhiều đến tốc độ mòn.

3.9. Ảnh hưởng của dòng điện và rung động đến mòn

3.9.1. Ảnh hưởng của dòng điện đến mòn

Điện trường bên ngoài cũng là một yếu tố ảnh hưởng đến quá trình mòn. Bằng một loạt các thí nghiệm các nhà khoa học đã xác định sự tăng lên của mòn động cơ diezen làm việc với nhiên liệu có lưu huỳnh khi lớp cách điện các dây dẫn kém. Nguyên nhân là điện trường của các thiết bị làm tăng gỉ của trục và bạc nằm trong điện trường ấy.

Dòng điện một chiều điện áp thấp có cường độ từ 1 ÷ 10A đi qua lớp dầu nằm giữa các bề mặt ma sát có ảnh hưởng tốt đến bề mặt ma sát và đến độ bền mòn chi tiết. Khi đó xảy ra sự kết tủa điện hoá kim loại trên mặt ma sát từ chất phụ gia trong dầu. Phương pháp này được sử dụng cho các ổ của tuabin, động cơ đốt trong và các máy phát điện.

Bảng 3. 6. Ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến mòn

$$(v \approx 2, 2 < t_f < 10)$$

Bề mặt tiếp xúc đàn hồi	Chỉ số mức độ ảnh hưởng						
	P_a	E	Δ	$\frac{H_p}{R_b}$	F_p	τ_0	α_n
- Có nhấp nhô, không sóng, không chạy rà	1,4÷3	0,6÷7	0,8÷4	1,4÷3	2÷10		
- Có nhấp nhô, có sóng, không chạy rà.	1,4÷3	1,9÷4,6	0,8÷4	0,16÷0,8	2÷10	0,5	1÷5
- Có chạy rà	1	0÷4	-	-	2÷10		

Tùy theo tính chất của polyme mà polyme có thể tích điện dương hoặc âm khi ma sát với kim loại. Khi nhiễm điện dương sẽ thuận lợi

cho việc dịch chuyển kim loại lên chất dẻo. Các thực nghiệm đã chỉ ra rằng : khi ma sát với thép điện tích dương trên chất dẻo sẽ xảy ra hiện tượng hydro hoá mạnh và phá huỷ bề mặt thép. Dòng điện trong quá trình ma sát khi cắt có tác dụng ăn mòn dụng cụ, ảnh hưởng đến cường độ tạo thành màng ôxyt, làm mòn dụng cụ cắt bằng khuyếch tán điện.

Một đặc tính quan trọng của các quá trình lý hoá trong vùng tiếp xúc là điện thế cực φ . Bằng sự thay đổi đặc tính này có thể nhận biết sự hiện diện của các màng bảo vệ. Điện thế cực φ khi bề mặt ma sát có các màng bảo vệ khác với điện thế φ' khi bề mặt đã được làm sạch. Các màng này sẽ mòn nếu φ tiến gần đến φ' . Khi các màng dày lên thì hiệu giữa φ và φ' tăng lên.

3.9.2. Ảnh hưởng của rung động

Khi nghiên cứu sự mòn các chi tiết của trục chuyển động máy kéo, tác giả X.A.Lapxin đã xác định rằng: sự rung động của các tải trọng, dù không lớn hơn $10 \div 20\%$ tải trọng trung bình, cũng làm tăng đáng kể cường độ mòn.

Khi tạo nên các biến dạng thay đổi của vật liệu ở vùng tiếp xúc các bề mặt lắp ghép, tải trọng động đã làm xuất hiện dòng điện cảm ứng thay đổi trong lớp biến dạng. Sự thay đổi của từ thông tạo ra suất điện động cảm ứng trong khung (hình thành bởi các chi tiết lắp ghép). Tính chất của lớp ôxyt và chất bôi trơn ảnh hưởng đến điện trở và thể hiện trong vùng tiếp xúc là nguyên nhân của sự hoạt hoá bề mặt và phát triển mòn ôxyt hoá. Sự xâm thực và các quá trình điện hoá làm giảm tuổi thọ của mối lắp ghép rất nhiều. Hiện tượng này gọi là hiện tượng điện động lực học của sự mòn.

Người ta sử dụng những bộ lắp ghép khác nhau (bộ truyền các răng, mối ghép then hoa, ...) để nghiên cứu thực nghiệm hiện tượng này. Chúng được gia tải trên giá thí nghiệm với đặc tính biên độ, tần số của tải trọng động ứng với giá trị thực tế khi sử dụng. Sau đó tiến hành đo biên độ, tốc độ biến đổi của từ thông, điện trở giữa các bề mặt tiếp xúc, nhiệt độ; đánh giá khả năng xuất hiện điện tích khi có tải trọng động và thử nghiệm so sánh về mòn. Từ kết quả thí nghiệm đã dựng được đường cong của suất điện động cảm ứng phụ thuộc vào biên độ và tần số của tải trọng động. Nếu biên độ không đổi, thì suất điện động tỷ lệ với tần số của tải trọng động. Do đó từ thông cảm ứng thay

đổi nhiều nhất ở vùng tần số cao của tải trọng. Nếu tần số không đổi thì suất điện động cảm ứng cũng tăng theo biên độ tải trọng nhưng chậm lại, tương tự đường cong độ biểu thị độ cứng vững theo áp suất.

Khi làm thí nghiệm với biên độ của hiệu điện thế 30mV, $f = 50$ Hz, nếu ứng suất tiếp xúc lớn nhất vượt quá một giới hạn xác định (350 ÷ 400 MPa) sẽ làm giảm yếu tố điện động lực. Điện trở giữa các chi tiết giảm đi, ổn định ở giá trị cực tiểu 0,05 Ω khi áp suất là 350 ÷ 400 MPa. Yếu tố điện động lực học của sự mòn tỷ lệ với tốc độ biến dạng và điện trở của vùng tiếp xúc của các chi tiết lắp ghép chế tạo vật liệu có từ tính.

Sự tăng biên độ tải trọng động làm xuất hiện hai quá trình ngược nhau : sự tăng của từ thông cảm ứng dẫn đến sự tăng của hiệu điện thế và sự giảm của điện trở làm hiệu điện thế giảm theo. Theo quan điểm động lực, tải trọng động có tần số cao và biên độ nhỏ sẽ có lợi nhất (đặc biệt là khi thành phần cố định của tải trọng bị hạn chế) nên cần đảm bảo những điều sau để nâng cao tuổi thọ của chi tiết máy :

- Giảm tải trọng động ở phần tần số cao (20Hz) và tạo ứng suất tiếp xúc cố định (350 ÷ 400 MPa).
- Tạo ra ứng suất dư nén ở lớp bề mặt biến dạng.
- Làm đều áp suất và giảm điện trở trên cơ sở dịch chuyển chọn lọc khi ma sát.
- Sử dụng chất bôi trơn dẫn điện.
- Sử dụng các chất bảo vệ (bù cho sự phân cực anốt trong vùng tiếp xúc) từ những vật liệu hoạt động hơn trong dãy.
- Yếu tố điện động của sự mòn có thể ảnh hưởng đến hoạt động của hydro trong vùng tiếp xúc. Vấn đề này cần phải được nghiên cứu ở một chuyên đề riêng.

CHƯƠNG 4

TÍNH MÒN KHỚP MA SÁT

4.1 Mòn bề mặt khớp ma sát

4.1.1. Qui luật mòn của vật liệu

Tính mòn của chi tiết máy phải dựa vào các qui luật vật lý về ảnh hưởng của vật liệu sử dụng trong khớp ma sát và điều kiện làm việc đối với mòn. Đầu tiên phải tìm điều kiện giới hạn nhằm xác định chính xác dạng mòn xảy ra trong khớp ma sát, kể cả các dạng mòn không được phép xảy ra. Sau đó là phân tích sự phụ thuộc của tốc độ mòn cặp ma sát trượt vào các yếu tố khác, nó là hàm của các biến ngẫu nhiên, mà mỗi thông số đó có xu hướng ảnh hưởng khác nhau đến tốc độ mòn cùng với mức độ phân tán của chúng.

Tính mòn cho khớp ma sát cần phải xác định được phân bố áp suất và mòn tuyến tính trên bề mặt ma sát. Sự thay đổi vị trí tương đối của các chi tiết cặp ma sát là do mòn gây nên, nó là hàm số phụ thuộc vào qui luật mòn vật liệu của các chi tiết ma sát và tính năng của cơ cấu máy, cũng như kết cấu và kích thước của khớp ma sát.

Để tính mòn của khớp ma sát phải nắm được qui luật thay đổi của mòn theo thời gian. Trong đa số các trường hợp, mối quan hệ giữa lượng mòn U và thời gian t diễn ra quá trình mòn được thừa nhận là quan hệ tuyến tính, do đó tốc độ mòn theo thời gian được tính như sau:

$$\gamma = \frac{U}{t} = \text{const}$$

Chấp nhận lý thuyết mới cho các dạng mòn khác nhau (tiếp xúc đàn hồi, tiếp xúc dẻo hoặc cắt tế vi), cường độ mòn tuyến tính I phụ thuộc vào áp suất p trong vùng tiếp xúc:

$$I = kp^m$$

Ở đây: $1 < m < 3$, trong trường hợp chạy rà $m \approx 1$.

Trong điều kiện mòn cơ hoá, tốc độ mòn tuyến tính và áp suất có

mối quan hệ tuyến tính, theo tác giả M.M.Khrupchov, $I = k.p$, do đó lượng mòn tuyến tính U không phụ thuộc vào vận tốc trượt tương đối trên quãng đường ma sát là:

$$U = k.p.L.$$

Chia cả hai vế của công thức này cho thời gian hoạt động của khớp ma sát, nhận được tốc độ mòn theo thời gian:

$$\gamma = k.p.v \tag{4.1}$$

Trong đó k là hệ số đặc trưng cho tính chống mòn của vật liệu và điều kiện làm việc của khớp ma sát (bôi trơn, bảo vệ bề mặt tiếp xúc chống bụi bẩn, v.v...).

Tốc độ mòn theo thời gian (γ) và tốc độ mòn tuyến tính (I) có quan hệ: $\gamma = v.I$

Qui luật này có thể được sử dụng để tính mòn cho nhiều chi tiết máy như: đường dẫn hướng trượt, đĩa ly hợp ma sát, vít me - đai ốc, các rãnh trượt trong cơ cấu tay quay thanh truyền và tương tự. Trong trường hợp tổng quát, tốc độ mòn theo thời gian được xác định theo hàm số mũ:

$$\gamma = k.p^m.v^n \tag{4.2}$$

Thông thường cho trường hợp mòn cơ hoá $n = 1$.

Giá trị của hệ số k phụ thuộc chủ yếu vào vật liệu của cặp ma sát trượt, hình học tế vi của bề mặt tại điểm tiếp xúc và chất bôi trơn.

4.1.2 Mòn bề mặt và khớp ma sát

Mòn bề mặt được đặc trưng bằng sự thay đổi kích thước của chi tiết theo hướng vuông góc với bề mặt ma sát. Lượng mòn $U = \Delta h$ gọi là lượng mòn tuyến tính. Trong trường hợp tổng quát mòn phân bố trên bề mặt ma sát không đều nhau. Vì vậy $U = \Delta h = f(x,y)$, ở đây x và y là tọa độ của bề mặt ma sát.

Khi ma sát trượt, mòn của hai bề mặt ma sát đối tiếp là sự thay đổi vị trí tiếp xúc tương hỗ của chúng.

Mòn khớp ma sát đặc trưng cho tác động tương hỗ của cặp chi tiết ma sát khi chúng làm việc. Nó được xác định bằng một hay nhiều

thông số hình học, do thay đổi vị trí tương đối của cặp chi tiết trong quá trình mòn bề mặt ma sát.

Mòn của khớp ma sát ảnh hưởng trực tiếp đến tính năng ban đầu của máy móc và cơ cấu. Kết cấu và đặc trưng động học của cặp ma sát trượt là rất quan trọng nó quyết định đặc điểm và hướng dịch chuyển tương đối của các bề mặt ma sát với nhau. Các cách xác định mòn khớp ma sát trong các trường hợp khác nhau được trình bày trên hình 4.1. Đối với mòn bề mặt chi tiết quay, hướng dịch gần $x - x$ được dự báo trước.

Trong trường hợp này mòn khớp ma sát được đặc trưng bằng một thông số U_{1-2} , nó chính là giá trị dịch gần tương đối của bề mặt mòn 1 và 2 theo hướng $x - x$. Tổng lượng mòn của các chi tiết ma sát được đo theo hướng dịch gần là hằng số và bằng tổng lượng mòn của cả khớp ma sát :

$$U_{x1} + U_{x2} = U_{1-2} = \text{const}$$

Phương trình này gọi là điều kiện tiếp xúc của vật thể ma sát vì nó là một đặc trưng quan trọng của quá trình mòn của khớp ma sát, nghĩa là bề mặt mòn của các chi tiết ma sát trong toàn bộ tiếp xúc không phụ thuộc vào hình dạng của chúng.

Do bề mặt tiếp xúc a'b' và a''b'' là chung cho cả hai chi tiết, mỗi bề mặt sẽ xác định vùng dịch gần tương ứng, nó đặc trưng cho thể tích của vật liệu mòn trên mỗi chi tiết ma sát. Vùng dịch gần tương ứng của mỗi bề mặt chính là số đo lượng mòn. Từ điều kiện tiếp xúc trên có phương trình mòn cho tất cả các điểm của bề mặt:

$$U_{1-2} = \frac{U_1 + U_2}{\cos \alpha} \quad \text{hay} \quad \gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\cos \alpha} \quad (4.3)$$

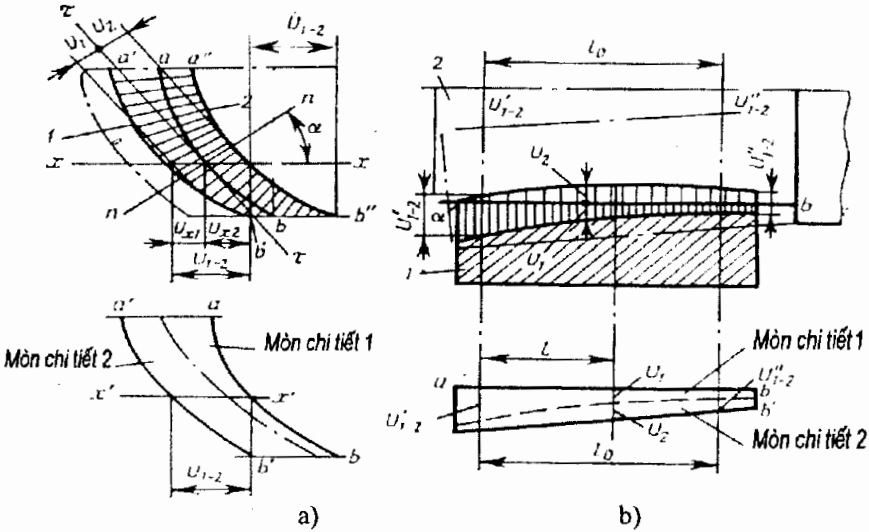
Trong đó:

U_1 và U_2 - lượng mòn của các chi tiết trong khớp ma sát đo theo hướng pháp tuyến với bề mặt ma sát.

α - góc giữa phương pháp tuyến của bề mặt ma sát và phương dịch gần.

γ_{1-2} - tốc độ mòn theo thời gian của khớp ma sát ($\gamma = \frac{\Delta h}{\Delta t}$)

γ_1, γ_2 - tốc độ mòn theo thời gian của các chi tiết khớp ma sát.



Hình 4.1. Mòn khớp ma sát và mòn của các bề mặt đối tiếp

a) hướng dịch gần của bề mặt đối tiếp được dự báo trước

b) các chi tiết đối tiếp khi mòn ổn định

Trong trường hợp hướng dịch gần không dự báo trước được, vị trí tương đối của các bề mặt đối tiếp được xác định qua đặc điểm của lực tác động và dạng của bề mặt mòn, thì các mối quan hệ khác đặc trưng cho mòn của khớp ma sát sẽ được xác định.

Trong trường hợp tiếp xúc ma sát của trục và bạc trượt (hình 4.1b) thì khi các chi tiết bị mòn, trục bị xệ xuống và nghiêng đi trên bạc, vị trí tương đối của chúng bị thay đổi. Dựa vào vị trí mòn của trục trên bạc có thể xác định lượng mòn của khớp ma sát. Lượng mòn này có thể được xác định theo hai cách:

- Theo khoảng cách của một điểm nằm trên trục toạ độ của trục và góc nghiêng của trục.

- Theo hai thông số lượng mòn tuyến tính U'_{1-2} và U''_{1-2} và các điểm nằm trên tâm trục để xác định các giá trị đo, có thể chọn tùy ý.

Giá trị lượng mòn U_{1-2}' và U_{1-2}'' được đo theo hướng vuông góc với vị trí ban đầu của trục quay là giá trị mòn của khớp, ở đây đã bỏ qua góc nghiêng không đáng kể của trục.

Để tìm mối quan hệ giữa các thông số đặc trưng của mòn khớp ma sát U'_{1-2} và U''_{1-2} và mòn của các bề mặt chi tiết ma sát đối tiếp U_1

và U_2 tại điểm có tọa độ L , căn cứ vào giá trị dịch gần tương hỗ cho trường hợp này là:

$$U_1 + U_2 = U'_{1-2} \left(1 - \frac{L}{L_0} \right) + U''_{1-2} \cdot \frac{L}{L_0} \quad (4.4)$$

Trong đó L_0 là khoảng cách giữa hai điểm đo giá trị lượng mòn U'_{1-2} và U''_{1-2}

Trường hợp phức tạp hơn là trường hợp mòn bề mặt khớp ma sát có cả hai thông số U'_{1-2} và U''_{1-2} đều là hàm số theo vị trí tương đối của các chi tiết đối tiếp.

4.1.3 Phân loại khớp ma sát theo điều kiện mòn

Tính mòn cho các chi tiết máy đòi hỏi phải nắm chắc được kết cấu của khớp ma sát, chú ý ảnh hưởng của nó đến phân bố của mòn trên bề mặt ma sát và đến đặc trưng tương tác giữa các bề mặt mòn. Trong nhiều trường hợp ảnh hưởng của kết cấu đến dạng của bề mặt mòn lớn hơn ảnh hưởng của bản chất vật liệu.

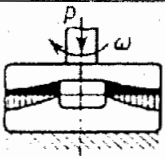
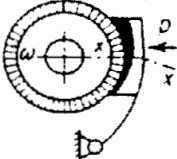
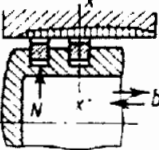
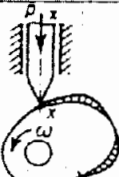
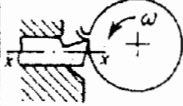
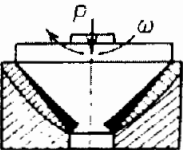
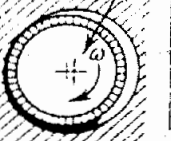
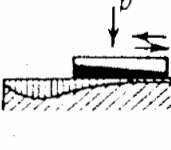
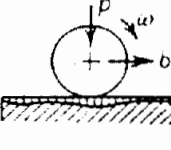
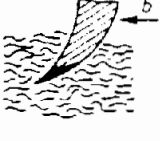
Trên thực tế hình dạng mòn của bề mặt ma sát trong đường dẫn hướng thẳng phụ thuộc vào lực tác dụng, đặc tính của chuyển động, hình dạng và kích thước của đường dẫn hướng hơn là phụ thuộc vào bản chất vật liệu.

Vì vậy cần phải có các phương pháp tính phù hợp với các khớp ma sát khác nhau trong máy. Bảng phân loại các dạng khớp ma sát phụ thuộc vào điều kiện mòn, được cho trong bảng 4.1. Bản chất của sự dịch chuyển vị trí tương đối của các chi tiết chính là mòn bề mặt tiếp xúc của chúng, các khớp ma sát được chia làm hai dạng.

Dạng thứ nhất, khớp ma sát không có mòn tổng hợp hoặc mòn rất ít của đường dẫn hướng, nó là sự dịch chuyển của chi tiết mòn chỉ theo hướng $x - x$.

Trong dạng thứ hai của khớp ma sát, chi tiết tự phân bố vị trí mòn, vị trí tương đối của chúng phụ thuộc vào hình dạng của bề mặt mòn. Trong nhóm này ảnh hưởng của mòn đến các đặc tính chức năng hoạt động của cặp ma sát trượt là rất rõ.

Bảng 4.1 Sơ đồ phân loại khớp ma sát theo điều kiện ma sát

Dạng	A		B		
	Nhóm 1	Nhóm 2	Nhóm 3	Nhóm 4	Nhóm 5
I					
II					

Trong cách phân loại ở bảng 4.1, các khớp được chia thành năm nhóm, phụ thuộc vào điều kiện ma sát mòn là các điểm của bề mặt ma sát đối tiếp có chuyển động theo một quỹ đạo hay theo các quỹ đạo tương tự.

Với khớp ma sát nhóm thứ nhất các điểm chuyển động theo cùng một dạng quỹ đạo thì lượng mòn tách ra đúng bằng lượng mòn cho từng chi tiết của cặp ma sát (mòn của bề mặt quay chịu tải xuyên tâm).

Tương tự, nhóm thứ hai là các khớp mà điều kiện mòn là đúng cho các điểm chuyển động có cùng một đường quỹ đạo, nhưng chỉ đúng cho một bề mặt chi tiết đối tiếp (ổ trượt, phanh).

Nhóm thứ ba là các khớp động học cấp thấp (đường trượt, tay quay trục khuỷu).

Trong nhóm thứ tư là các khớp động học cấp cao (ổ lăn, cơ cấu cam).

Với nhóm thứ ba, thứ tư điều kiện mòn là không như nhau cho tất cả các điểm của cả hai bề mặt chi tiết đối tiếp, vì vậy mòn là không đều trên bề mặt khớp ma sát.

Tương tự nhóm thứ năm là nhóm các chi tiết tiếp xúc trực tiếp với vật rắn hoặc với môi trường như là: đất, đá hoặc với chi tiết đang

được gia công. Ở đây chỉ có mòn một bề mặt, nó bị tác dụng bởi quá trình mài mòn hoặc với các môi trường khác bị tác động. Dạng của bề mặt mòn khi làm việc sẽ phụ thuộc vào đặc trưng tương tác với môi trường, biểu đồ tải và vận tốc. Tất cả các khớp có thể đưa vào 2 nhóm chính: A – nhóm có điều kiện tiếp xúc không đổi, B – nhóm có điều kiện tiếp xúc thay đổi.

Bảng 4.2 trình bày cách phân loại theo dạng phân bố mòn bề mặt.

Bảng 4.2 Cách phân loại theo dạng phân bố mòn bề mặt

Nhóm	Dạng khớp ma sát	
	I (mòn theo $x - x$)	II (tự phân bố mòn)
1	Ly hợp ma sát đĩa	Ly hợp ma sát côn
2	Trục vít đai ốc, má phanh	Trục và bạc trượt, đường trượt tròn với tải lệch tâm
3	Piston và xy lanh	Đường dẫn hướng thẳng, con trượt và khe dẫn hướng
4	Truyền động răng, cam và cần cam	Bánh xe và đường ray, lăn của ổ và đường dẫn hướng
5	Dụng cụ cắt kẹp cứng vững	Lưỡi cắt tự phân bố mòn

4.2 Các phương pháp tính mòn khớp ma sát

4.2.1. Tính mòn theo điều kiện tiếp xúc

Khi tính mòn khớp ma sát theo điều kiện tiếp xúc thường áp dụng hai phương pháp tính mòn sau:

a – Theo áp lực (trung bình và lớn nhất) tác dụng trên bề mặt ma sát. Các giá trị đạt được, so sánh với giá trị cho phép, nó là quy tắc từ thực tiễn.

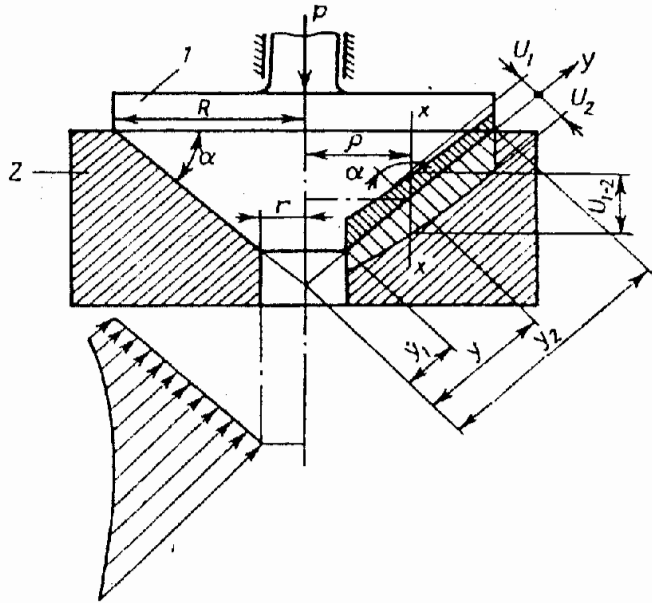
Mặc dù áp lực là yếu tố chính, nhưng nó không phải là một yếu tố duy nhất xác định tốc độ mòn. Vì vậy tính toán theo áp lực đưa đến

số liệu gần đúng của kích thước khớp. Trong một vài trường hợp tính toán này có thể còn dẫn đến kết luận không chính xác về cách cải thiện tính chống mòn của khớp ma sát được thiết kế.

b – Theo lượng mòn và hình dạng của bề mặt mòn.

Phương pháp này là phương hướng chính để kéo dài tuổi thọ của khớp ma sát cả khi trong giai đoạn thiết kế và trong sử dụng.

Khi ma sát, đại lượng cần tìm là lượng mòn của bề mặt ma sát tại mỗi điểm, biểu đồ áp lực ở trên bề mặt tương tác và sự thay đổi vị trí tương đối của các chi tiết là do mòn, hình dạng của bề mặt mòn chính là mòn của khớp ma sát.



Hình 4.2. Sơ đồ mòn của bề mặt côn

Các tính toán này dựa vào quy luật mòn của vật liệu và đưa đến kết cấu tối ưu của khớp.

Áp dụng phương pháp này để tính mòn cho khớp ma sát côn với quy luật mòn tuyến tính, hình 4.2.

Xác định đặc trưng của biểu đồ áp lực trong trường hợp này.

Góc của toạ độ trùng với vị trí của đỉnh côn. Trục y được đặt dọc theo hướng đường sinh của mặt côn. Tốc độ trượt tương đối ở từng điểm của bề mặt ma sát sẽ là:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot y \cdot \cos \alpha$$

Liên hệ với công thức (4.1) sẽ có dạng:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= k_1 \cdot p \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \cos \alpha \cdot y \\ \gamma_2 &= k_2 \cdot p \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \cos \alpha \cdot y \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Sử dụng công thức (4.3), ta có :

$$\gamma_{1-2} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\cos \alpha} = (k_1 + k_2) \cdot 2\pi \cdot n \cdot p \cdot y$$

Ở đây:

$$p = \frac{\gamma_{1-2}}{2\pi \cdot n \cdot (k_1 + k_2) \cdot y} \cdot \frac{1}{y} \quad (4.6)$$

Phương trình (4.6) cho thấy biểu đồ áp lực có dạng hyperbolic khi tốc độ mòn $\gamma_{1-2} = \text{const}$.

Để tìm giá trị γ_{1-2} phải xác định mối quan hệ giữa lực P và áp lực phân bố p trên bề mặt ma sát:

$$P = \int_S p \cdot \cos \alpha \cdot dS = 2 \cdot \pi \int_{y_1}^{y_2} p \cdot \cos \alpha \cdot \rho \cdot dy = 2\pi \cdot \cos^2 \alpha \int_{y_1}^{y_2} p \cdot y \cdot dy$$

Ở đây:

$$y_1 = \frac{r}{\cos \alpha} ; y_2 = \frac{R}{\cos \alpha} ; \rho = y \cdot \cos \alpha$$

Thay thế vào công thức giá trị p trong công thức (4.6) và tích phân rồi giải phương trình cho γ_{1-2} chúng ta sẽ có:

$$\gamma_{1-2} = \frac{P \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{(R - r) \cdot \cos \alpha} \quad (4.7)$$

Với công thức (4.7), tốc độ mòn theo thời gian (hoặc là lượng mòn $U_{1-2} = \gamma_{1-2} \cdot t$) có thể tính được cho khớp ma sát, nó phụ thuộc vào điều kiện làm việc (P, n); vào kích thước, hình dạng (R, r, α) và vào đặc tính của mòn của các chi tiết đối tiếp (k_1 và k_2).

Biểu đồ áp lực cũng có thể tính theo công thức (4.6), (4.7):

$$p = \frac{P}{2\pi(R - r) \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{1}{y} \quad (4.8)$$

Kết cấu của bề mặt mòn có thể tính được qua phương trình (4.5) thay thế giá trị p từ phương trình (4.8):

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \gamma_1 \cdot t = k_1 \cdot \frac{P \cdot n}{R - r} \cdot t \\ U_2 &= \gamma_2 \cdot t = k_2 \cdot \frac{P \cdot n}{R - r} \cdot t \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Các tính toán tương tự thông qua kết cấu có thể áp dụng cho các khớp khác nhau và quy luật mòn khác nhau. Bảng 4.3 cho kết quả tính toán thông số của khớp ma sát thuộc nhóm 1.

Các tính toán cho thấy rằng các thông số của khớp ma sát mòn, xác định tính năng làm việc, không chỉ phụ thuộc vào qui luật mòn của vật liệu cặp ma sát mà còn phụ thuộc vào kết cấu và hình dạng của chúng.

4.2.2. Cặp ma sát tịnh tiến đảo chiều

Mòn phân bố không đều là đặc trưng của cặp ma sát tịnh tiến đảo chiều (thuộc nhóm thứ 3 của khớp ma sát). Tiếp xúc ma sát có thể xảy ra không trên toàn bộ bề mặt ma sát, nó làm phức tạp cho việc tính mòn bề mặt. Tuy nhiên chính sai lệch bề mặt dẫn hướng khi bị mòn sẽ dẫn đến việc suy giảm độ chính xác làm việc của mối ghép ma sát (đường dẫn hướng máy công cụ).

Tính mòn cho đường dẫn hướng có thể được thực hiện với độ chính xác thực tế phù hợp trên cơ sở công nhận các giả thiết sau:

1. Lượng mòn U của cặp ma sát chuyển động tịnh tiến đảo chiều phụ thuộc vào chiều dài quãng đường ma sát s và độ lớn của áp suất tác dụng p :

$$U_1 = k_1 \cdot p \cdot s ; \quad U_2 = k_2 \cdot p \cdot s$$

Trong đó U_1 và U_2 là lượng mòn của đường dẫn hướng và của bàn dao.

2. Biểu đồ áp suất tác dụng ban đầu không thay đổi trong quá trình ma sát mòn, nghĩa là bỏ qua sự phân bố lại của biểu đồ áp suất do xuất hiện mòn không đều.

3. Biết trước hàm phân bố chuyển động $\varphi(x)$ của bàn dao: nó thay đổi theo chiều dài của quãng đường ma sát của bàn dao. Sự thay đổi này có ràng buộc, khi gia công các chi tiết khác nhau trên máy, thì tung độ của đường cong $\varphi(x)$ đặc trưng cho quãng đường ma sát chung mà bàn dao đi qua vị trí tương ứng của thân máy.

Nếu một chi tiết xác định được gia công trên máy và quãng đường trượt của bàn dao là hằng số, thì mỗi một phân tử đường dẫn hướng được phân bố một lượng bằng nhau của đường dịch chuyển và đường cong phân bố sẽ được thể hiện bởi đồ thị song song và cách đều với trục hoành. Nếu máy gia công các chi tiết khác nhau thì đường cong phân bố $\varphi(x)$ sẽ phản ánh chuyển động của bàn dao khi gia công các chi tiết máy. Vì vậy nó đặc trưng cho việc chất tải của máy. Đường cong $\varphi(x)$ phản ánh đặc điểm hoạt động đặc thù của máy đã cho và nó có thể được xác định từ việc phân tích các điều kiện sử dụng.

Để xác định dạng mòn bề mặt ma sát của đường dẫn hướng và bàn dao cần phải xác định mối liên hệ giữa các thông số liên quan, nó được thể hiện trên hình (4.3), trong đó:

$U(x)$ - ẩn số lượng mòn tuyến tính của đường dẫn hướng (U_1) dọc theo chiều dài x ; $0 \leq x \leq L + l_0$.

$U(l)$ - ẩn số lượng mòn tuyến tính của bàn dao (U_2) trên chiều dài l ($0 \leq l \leq l_0$).

L - hành trình lớn nhất của bàn dao.

l_0 - chiều dài của bàn dao.

$p = f(l)$ - phương trình biểu đồ áp lực.

$y = \varphi(x)$ - hàm phân bố quãng đường ma sát chung (liên quan đến điểm bề trái ngoài cùng của bàn dao).

s - chiều dài quãng đường dịch chuyển của các điểm trên bàn dao theo thời gian.

Bảng 4.3 Thông số môn khớp ma sát cho các bề mặt tiếp xúc khác nhau

Dạng kết nối	Quy luật môn	Hình dạng của bề mặt môn	Dạng môn bề mặt	Thời gian môn. γ_{1-2}
Các dạng bề mặt đĩa phẳng	(1)	$\frac{P}{2\pi(R-r)\rho}$	$U_1 = k_1 \frac{Pn}{R-r} t; U_2 = k_2 \frac{Pn}{R-r} t$	$\frac{(k_1 + k_2)Pn}{R-r}$
	(2) $n=1$	$\sqrt[n]{\frac{\gamma_{1-2}}{(k_1 + k_2) 2\pi n} \frac{1}{\omega \rho} = \frac{A}{\omega \rho}}$ (A = hằng số)	$U_1 = \gamma_{1-2} \frac{k_1}{k_1 + k_2} t;$ $U_2 = \gamma_{1-2} \frac{k_2}{k_1 + k_2} t;$	$(k_1 + k_2) \frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) P^m n}{\left[R^{\frac{2-1}{m} - r} \right]^m (2\pi)^{m-1}}$
Các dạng bề mặt hình côn	(1)	$\frac{\gamma_{1-2}}{2\pi n(k_1 + k_2)} y$	$U_1 = k_1 \frac{Pn}{R-r} t; U_2 = k_2 \frac{Pn}{R-r} t$	$\frac{P(k_1 + k_2)n}{(R-r)\cos\alpha}$
	(2) $n=1$	$\sqrt[m]{\frac{\gamma_{1-2}}{2\pi n(k_1 + k_2)} \frac{1}{\omega y}}$	$U_1 = \gamma_{1-2} \frac{k_1 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$ $U_2 = \gamma_{1-2} \frac{k_2 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$	$\frac{k_1 + k_2}{\cos\alpha} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) P}{2\pi R^{\frac{2-1}{m} - r} \frac{1}{m}} \right]^m 2\pi n$
Dạng bề mặt cầu (với bán kính cầu R)	(1)	$\frac{\gamma_{1-2}}{2\pi n(k_1 + k_2)R} \cdot \text{ctg}\alpha$	$U_1 = \gamma_{1-2} \frac{k_1 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$ $U_2 = \gamma_{1-2} \frac{k_2 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$	$\frac{4Pn(k_1 + k_2)}{R(\sin 2\alpha_2 + 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1 - 2\alpha_1)}$
	(2) $n=1$	$\sqrt[m]{\frac{\gamma_{1-2} \cos\alpha}{(k_1 + k_2) 2\pi n R \sin\alpha}}$	$U_1 = \gamma_{1-2} \frac{k_1 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$ $U_2 = \gamma_{1-2} \frac{k_2 \cos\alpha}{k_1 + k_2} t;$	$\frac{P^m (k_1 + k_2) n}{(2\pi)^{m-1} R^{2m+2} \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (\cos\alpha)^{\frac{1}{m}} d\alpha \right]^m}$

Chú ý : n = số vòng quay/phút (rpm), α_1 và α_2 = góc tiếp xúc của bề mặt cầu.

k - hệ số mòn biểu diễn lượng mòn tuyến tính theo μm ở áp suất $1\text{kg}/\text{cm}^2$ ($10\text{ N}/\text{cm}^2 = 0,1\text{ N}/\text{mm}^2 = 0,1\text{MPa}$) trên quãng đường ma sát $1\text{km} = 1000\text{m}$ của vật liệu cặp ma sát trong điều kiện mòn đã cho.

k_1 - hệ số mòn của vật liệu làm thân máy (đường dẫn hướng).

k_2 - hệ số mòn của vật liệu làm bàn dao (làm đường trượt bàn dao).

Hàm số $U(l)$ được xác định từ điều kiện : mọi điểm trên đường dẫn hướng của bàn dao sẽ bị mòn tương ứng với cả quãng đường ma sát s và nó chịu áp suất tác dụng $p = f(l)$. Vì vậy đường cong phân bố mòn sẽ đồng dạng với biểu đồ áp suất và được biểu diễn bằng phương trình:

$$U(l) = k_2 \cdot s \cdot f(l)$$

Nguyên nhân chính làm suy giảm độ chính xác của máy công cụ là hình dạng mòn của bề mặt ma sát đường dẫn hướng, nó được xác định bằng hàm số $U(x)$. Để xác định hàm số này, cần xem xét một đoạn của đường dẫn hướng bị mòn ở tọa độ x (hoành độ) trên hình 4.3. Chuyển động của bàn dao trên đoạn xác định của đường dẫn hướng, dưới tác dụng của áp suất được xác định nhờ phân tố biểu đồ áp suất $f(l)$ tại nơi bàn dao đi qua với tọa độ x (như dịch chuyển của bàn trượt), sẽ làm mòn đường dẫn hướng. Mỗi một phân tố của biểu đồ áp lực ở tọa độ l gây mòn đường dẫn hướng với lượng mòn tương ứng với $p \cdot dl = f(l) \cdot dl$. Để tìm phân tố lượng mòn dU dưới tác động của phân tố $p \cdot dl$, cần phải xác định phần của đường ma sát chung (chiều dài quãng đường ma sát chung) dưới tác dụng bởi phân tố áp suất $p \cdot dl$ trong quá trình mòn của phần dẫn hướng có tọa độ x . Đường cong phân bố $y = \varphi(x)$ được sử dụng để xác định quãng đường ma sát chung.

Phương trình của đường cong này mô tả đặc trưng chuyển động của điểm bên trái ngoài cùng của bàn dao có $l = 0$, phương trình tại điểm có tọa độ l được xác định $y = \varphi(x-l)$ và đoạn chiều dài đường trượt tương ứng với tọa độ x sẽ bằng $s \cdot \varphi(x-l)$.

Do đó lượng mòn tại điểm x dưới tác dụng của phân bố áp suất $p \cdot dl$ sẽ là:

$$dU = k_1 \cdot s \cdot \varphi(x-l) \cdot f(l) dl$$

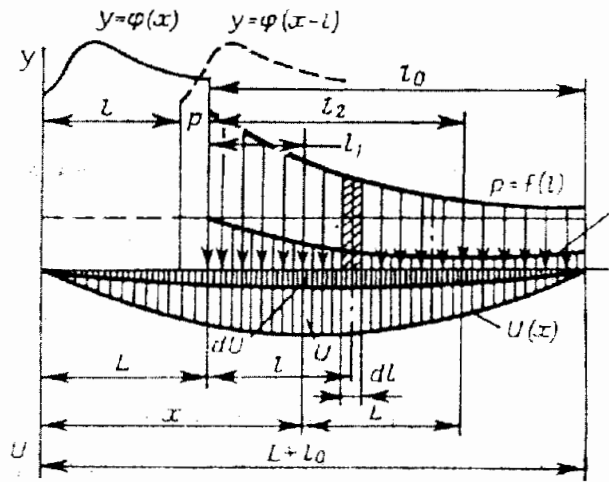
Để tìm lượng mòn tại điểm x dưới tác động của phân biểu đồ áp suất từ l_1 đến l_2 cần thiết phải lấy tích phân phần tử $p.dl$ với giới hạn l_1 và l_2 :

$$U(x) = k_1 \cdot s \cdot \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) \cdot f(l) dl \quad (4.10)$$

Công thức (4.10) là công thức tổng quát cho các trường hợp khác nhau, cận tích phân được xác định phụ thuộc vào phân tử của biểu đồ áp suất tác dụng lên điểm đã cho của đường dẫn hướng được xác định theo toạ độ x .

Bảng 4.4 cho các giá trị của cận tích phân theo công thức (4.10).

Công thức tính mòn của cặp ma sát đối tiếp cho thấy ảnh hưởng của nhân tố chính đến dạng mòn của đường dẫn hướng, đó là:



Hình 4.3. Sơ đồ mòn của đường dẫn hướng

K_1 - đặc trưng cho tính chống mòn của vật liệu và điều kiện mòn.

s - năng lực chất tải của máy theo thời gian.

$p = f(l)$ - kết cấu của bề mặt trượt ảnh hưởng đến cả vị trí và độ lớn của lực (bao hàm cả dạng của biểu đồ áp lực).

$\varphi(x)$ - điều kiện hoạt động của máy hay là của cặp ma sát, ví dụ như: quá trình vận hành thực hiện trên máy.

Công thức tính mòn cho đường dẫn hướng trong các trường hợp khác nhau cho trong bảng 4.5.

Bảng 4.4. Cận tích phân theo công thức (4.10)

L l_0	Đoạn	Giới hạn đoạn	Cận tích phân	
			l_1	l_2
>1	I	$0 \leq x \leq l_0$	0	x
	II	$l_0 \leq x \leq L$	0	l_0
	III	$L \leq x \leq l_0+L$	$x - L$	l_0
<1	I	$0 \leq x \leq L$	0	x
	II	$L \leq x \leq l_0$	$x - L$	x
	III	$l_0 \leq x \leq l_0 + L$	$x - L$	l_0

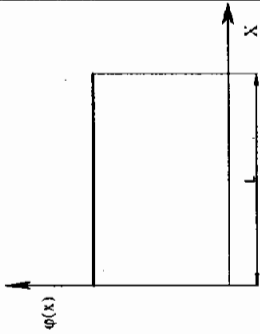
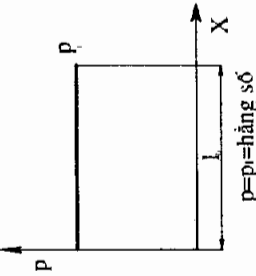
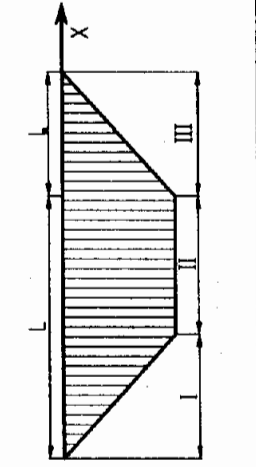
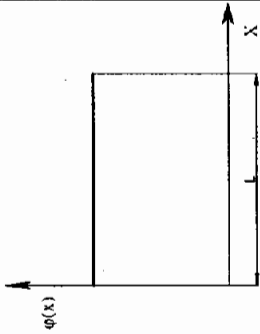
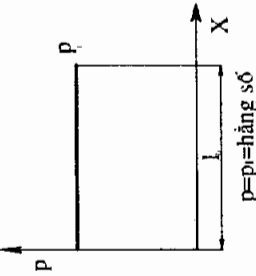
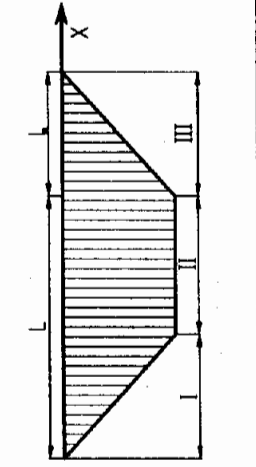
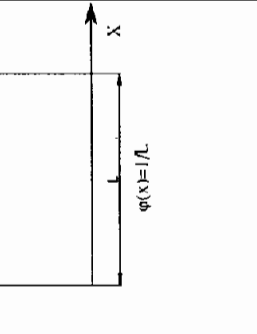
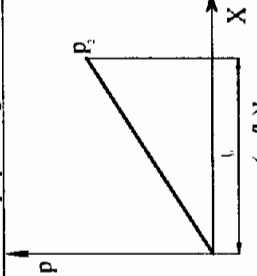
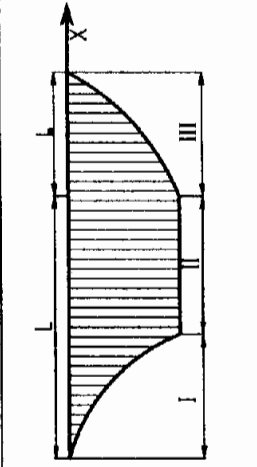
4.2.3. Các khớp ma sát có điều kiện tiếp xúc thay đổi

Các khớp ma sát thuộc nhóm phân loại cao cấp nhất làm việc với điều kiện tiếp xúc thay đổi. Ở đây, thay đổi của các nhân tố ngoài (lực, tốc độ, điều kiện tiếp xúc và tương tự) đến mỗi vùng của bề mặt tiếp xúc, có ảnh hưởng lớn đến sự phân bố mòn trên bề mặt ma sát.

Một điển hình của dạng khớp này đó là cơ cấu cam và thanh đẩy với thanh đẩy dạng lăn hoặc đầu vát nhọn (hình 4.4). Cơ cấu cam được sử dụng rộng rãi trong máy móc, thiết bị, đặc biệt là trong các máy tự động. Mòn profin không đều của cam dẫn đến sự thay đổi động học của chuyển động và phát sinh tải động, thường dẫn đến hư hỏng của toàn cơ cấu.

Chúng ta xem xét một phương pháp đánh giá mòn của profin cam, thông qua trường hợp, cơ cấu cam, với thanh đẩy tịnh tiến đảo chiều có đỉnh tiếp xúc dạng đỉnh nhọn. Cặp chuyển động này thuộc nhóm 4 dạng thứ 2, vì đường dẫn hướng của thanh đẩy xác định theo hướng $x - x$, cũng là hướng dịch chuyển của chúng khi bị mòn, điều kiện tiếp xúc theo quan hệ (4.2) có thể áp dụng cho trường hợp này. Mòn của đầu nhọn thanh đẩy có ảnh hưởng ít đến sự biến đổi của quy luật chuyển động cam, mà nguyên nhân chính là do mòn profin của cam.

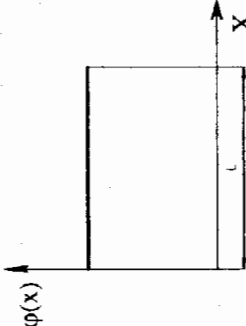
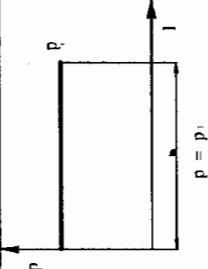
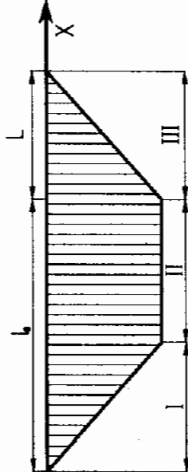
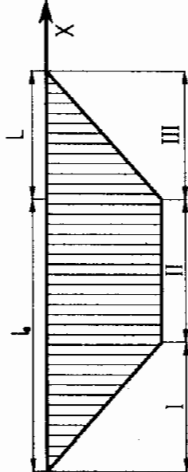
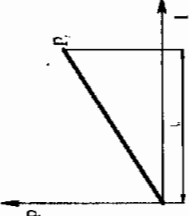
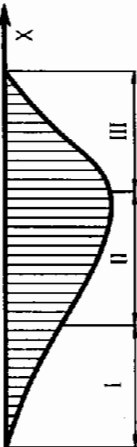
Bảng 4.5 Công thức tính mô men cho đường dẫn hướng

$\frac{L}{l_0}$ > 1	Đường cong phân bố $\varphi(x)$  $\varphi(x) = l/L$	Biểu đồ xác định áp suất $f(l)$  <p>$p = p_1 = \text{hằng số}$</p>	Hình dạng đường cong mô men 	Các vùng I II III	Công thức tính $U(x) = ks \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) f(l) dl$ $ksp_1 \frac{x}{L}$ $ksp_1 \frac{l_0}{L}$ $ksp_1 \frac{1}{L} (L + l_0 - x)$
	 $\varphi(x) = x/L$	 <p>$p = (p_2/l_0)l$</p>		I II III	$ksp_1 \frac{x^2}{2Ll_0}$ $ksp_1 \frac{l_0}{2L}$ $ksp_1 \frac{1}{2Ll_0} \left[l_0^2 - (x-L)^2 \right]$
	 $\varphi(x) = \frac{2}{L}(L-x)$	 <p>$p = p_1$</p>		I II III	$ksp_1 \frac{1}{L^2} (2Lx - x^2)$ $ksp_1 \frac{l_0}{L^2} (2L + l_0 - 2x)$ $ksp_1 \frac{1}{L^2} (L + l_0 - x)^2$

Tiếp bảng 4.5

$\frac{L}{l_0}$	Đường cong phân bố $\varphi(x)$	Biểu đồ xác định áp suất $f(l)$	Hình dạng đường cong mòn	Các vùng	Công thức tính $U(x) = ks \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) f(l) dl$
> 1				I II III	$ksp_1 M \left[\Phi \left(\frac{x-a}{\sigma} \right) + \Phi \left(\frac{a}{\sigma} \right) \right]$ $ksp_1 M \left[\Phi \left(\frac{x+a}{\sigma} \right) + \Phi \left(\frac{a+l_0-x}{\sigma} \right) \right]$ $ksp_1 M \left[\Phi \left(\frac{L-a}{\sigma} \right) + \Phi \left(\frac{a+l_0-x}{\sigma} \right) \right]$
< 1				I II III	$\frac{ksp_1}{l^2} x^2$ ksp_1 $\frac{ksp_1}{L^2} [L^2 - (x-l_0)^2]$
				I II III	$\frac{ksp_2}{3l_0 L^2} x^3$ $\frac{ksp_2}{l_0} \left(x - \frac{2}{3} L \right)$ $\frac{ksp_2}{3L^2 l_0} [3(L^2 + l_0^2)x - x^3 - 2l_0^3 - 2L^3]$

Tiếp bảng 4.5

$\frac{L}{l_0}$	Đường cong phân bố $\varphi(x)$  $\varphi(x) = 1/L$	Biểu đồ xác định áp suất $f(l)$  $p = p_0$	Hình dạng đường cong mòn 	Các vùng I II III	Công thức tính $U(x) = ks \int_{l_1}^{l_2} \varphi(x-l) f(l) dl$
< 1				I II III	$\frac{ks p_1}{L} x$ $k s p_1$ $\frac{ks p_1}{L} (l_0 + L - x)$
		 $p = (p_0/L)l$		I II III	$\frac{ks p_2}{2L l_0} x^2$ $\frac{ks p_2}{2L_0} (2x - L)$ $\frac{ks p_2}{2L_0} [l_0^2 - (x - L)^2]$

Quy luật mòn của vật liệu được xác định theo công thức:

$$\gamma = k.p^m.v^n$$

được sử dụng để tính dạng mòn của bề mặt tiếp xúc, nó được ứng dụng cho từng phần của bề mặt tiếp xúc. Tuy nhiên cũng cần phải tính đến các yếu tố dưới đây :

1 - Ứng suất tiếp xúc σ_c trong vùng tiếp xúc bị chi phối bởi quy luật tiếp xúc Hetz.

2 - Tải trọng pháp tuyến là hàm số của tải P tác dụng lên thanh đẩy và góc áp lực α :

$$N = P \cdot \frac{\cos \varphi_2}{\cos(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)}$$

Trong đó, φ_1 và φ_2 là góc ma sát của thanh đẩy với cam và với đường dẫn hướng.

Góc áp lực α thay đổi phụ thuộc vào các điểm tiếp xúc trên prôfin. Tải P có thể được tính cho từng điểm của prôfin cam, cụ thể nó là hàm của góc quay β , hoặc theo chiều dài prôfin.

3 - Bán kính cong của prôfin cam thay đổi theo vị trí của prôfin.

4 - Tốc độ trượt của thanh đẩy dọc theo biên dạng cam thay đổi mặc dù vận tốc góc của cam là hằng số, $\omega = \text{const}$ và quan hệ với vận tốc trượt tiếp tuyến sẽ là :

$$v_r = \frac{\omega.R}{\cos \alpha}$$

Trong đó R là bán kính cam (R là biến số).

Tốc độ này được đưa vào phương trình mòn cơ sở. Nếu mối quan hệ này được thể hiện như là hàm của khoảng trượt thì được xác định theo sự tăng chiều dài của prôfin cam.

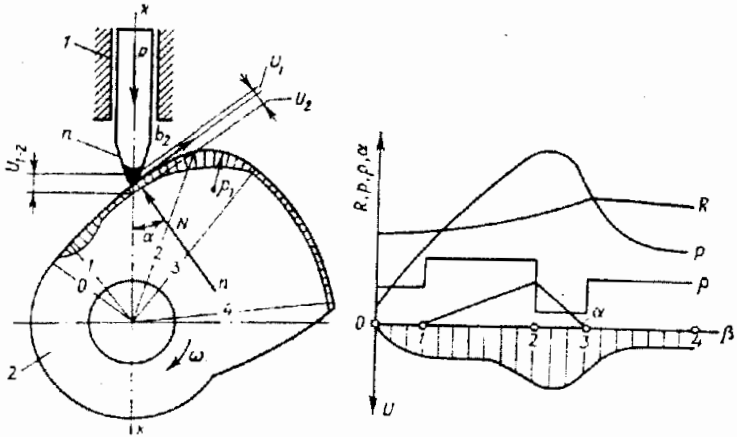
Vì vậy nếu phương trình mòn cơ sở của vật liệu ma sát là:

$$\gamma = k.\sigma_c^m.v_r$$

thì dạng mòn của bề mặt cam $U = \gamma.t$ được xác định bằng thay thế trực

tiếp vào công thức các giá trị P , α , R và ρ từ các phương trình ở trên, các thông số này là biến số và phụ thuộc vào góc quay β của cam.

Biểu diễn đồ thị của các thông số cơ bản của cam và dạng mòn của bề mặt làm việc (điểm profin đặc trưng 2 -



Hình 4.4. Sơ đồ mòn của cơ cấu cam

4) được thể hiện trên hình 4.4. Lượng mòn $U_{1,2}$ của khớp ma sát được đo bằng một thông số theo hướng $x-x$ và xác định sự biến dạng của luật chuyển động được truyền tải, có thể được xác định theo công thức (4.3), trong đó U_1 và U_2 và góc α là hàm số của góc quay cam.

4.2.4. Quá trình chạy rà của bề mặt chi tiết kém chính xác hoặc chi tiết bị biến dạng

Khi các chi tiết đối tiếp ma sát được chế tạo và lắp ghép kém chính xác hoặc bị biến dạng, chắc chắn tiếp xúc không hoàn toàn sẽ xảy ra trên bề mặt của nó. Tất yếu là cặp chi tiết ma sát sẽ hoạt động kém trong giai đoạn bắt đầu làm việc của quá trình chạy rà.

Do mòn của khớp ma sát, quá trình chạy rà làm tăng vọt diện tích vùng tiếp xúc ma sát, đẩy mạnh các quá trình thay đổi diễn ra trên bề mặt nhấp nhô. Dạng này của quá trình chạy rà được gọi là quá trình chạy rà macro.

Sơ đồ của quá trình chạy rà macro của đĩa biến dạng đàn hồi cho trên hình 4.5. Trong giai đoạn đầu của quá trình tiếp xúc, tải trọng P có thể được tập trung trong một vùng giới hạn và do vậy cường độ mòn khá cao (hình 4.5a). Trên các bề mặt đối tiếp ma sát phần tử mòn tách ra làm cho vùng tiếp xúc mở rộng và tải trọng được phân bố trên

cả vùng này (hình 4.5b, c).

Quá trình chạy rà sẽ bị kéo dài nếu vật liệu sử dụng có tính chống mòn cao. Vì vậy, đặc tính ưu việt của vật liệu mới cho thấy sử dụng nó có thể không phù hợp trong thực tế khi chạy rà, hơn nữa nó có thể làm tăng hiện tượng tập trung ứng suất, trừ khi có biện pháp rút ngắn quá trình chạy rà.

Với một trục biến dạng đàn hồi, áp lực tiếp xúc có đỉnh nhọn có thể tác dụng trong thời gian dài, khi nó trượt trên bạc được chế tạo từ vật liệu có tính chống mòn cao, do đó quá trình chạy rà bị kéo dài. Ở đây trục cần có độ cứng cao và bạc tự phân tố mòn.

⁴ Tính chiều dài thời kỳ chạy rà của bề mặt tiếp xúc ma sát dạng đĩa là t_{ri} với dạng tiếp xúc ban đầu của bề mặt không trùng nhau vì chế tạo kém chính xác hoặc do biến dạng.

Nếu các đĩa tiếp xúc hoàn toàn, mòn của chúng có thể được xác định bằng công thức (4.9), có thể coi đĩa là bề mặt côn ($\alpha = 0$). Trong quá trình chạy rà bán kính R liên tục thay đổi theo thời gian, mối quan hệ có thể được biểu diễn như sau:

$$dU = k \cdot \frac{P \cdot n}{R - r} \cdot dt \quad (4.11)$$

Sơ đồ xác định mòn của bề mặt khi chạy rà trong trường hợp này được thể hiện trên hình 4.5d. Giá trị bán kính R thay đổi theo thời gian cho đến khi nó đạt giá trị cực đại $R_{max} = R_0$. Mối quan hệ giữa vi phân của bán kính dR và mòn dU có thể được thiết lập nếu phương trình khe hở ban đầu giữa các bề mặt được xác định trước, phương trình này có dạng tổng quát:

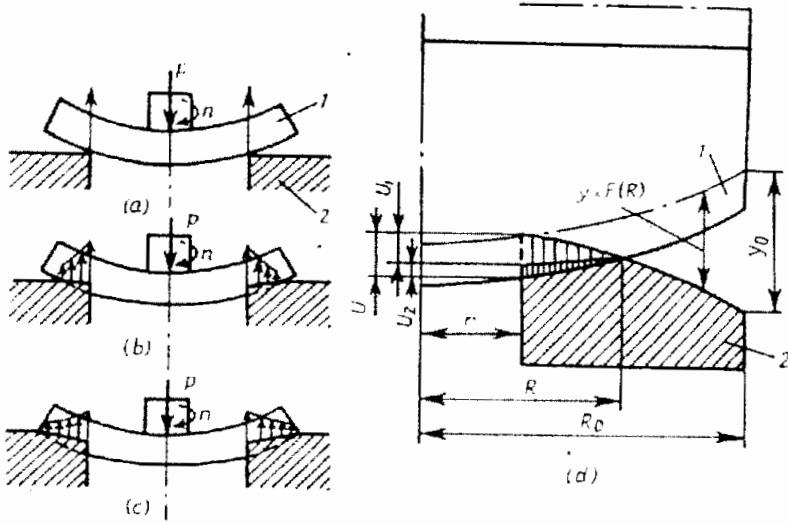
$$y = F(R)$$

Nếu khe hở là do biến dạng của một chi tiết trong cặp chi tiết thì hàm số sẽ là phương trình đường đàn hồi của chi tiết.

Trong quá trình chạy rà, mòn tăng lên đúng bằng sự suy giảm của khe hở y vì vậy $dU = dy$ và $\rightarrow dU = F'(R)dR$.

Thay thế phương trình này vào phương trình (4.11) sẽ có phương trình:

$$dt = \frac{(R-r) \cdot F'(R)}{k \cdot P \cdot n} \cdot dR$$



Hình 4.5. Sơ đồ quá trình chạy rà cho gia công kém chính xác hoặc chi tiết biến dạng.

Chiều dài của khoảng thời gian chạy rà là:

$$t_{ri} = \frac{1}{k \cdot P \cdot n} \int_r^{R_0} (R-r) F'(R) \cdot dR \quad (4.12)$$

Nếu tốc độ mòn của khớp ma sát khi đĩa tiếp xúc hoàn toàn là:

$$\gamma_{1-2} = k \cdot \frac{P \cdot n}{R_0 - r}$$

Khi đó công thức (4.7) sẽ có phương trình:

$$t_{ri} = \frac{1}{\gamma_{1-2} (R_0 - r)} \int_r^{R_0} (R-r) F'(R) \cdot dR$$

Công thức này làm sáng tỏ một điều là quá trình chạy rà bị kéo dài nếu tính chống mòn của vật liệu cao (tương ứng với tốc độ mòn γ_{1-2} nhỏ).

Trong nhiều trường hợp $F(R)$ có thể được biểu diễn bằng hàm số mũ $F(R) = c(R-r)^m$. Khi $R = r$ thì $F(R) = 0$.

Thay thế giá trị của đạo hàm $F'(R) = cm.(R-r)^{m-1}$ vào công thức (4.12) và sau một số chuyển đổi cần thiết, có phương trình sau:

$$t_n = \frac{cm}{(m+1)k.P.n} (R_0 - r)^{m+1} \quad (4.13)$$

Trong quá trình chạy rà mòn của khớp ma sát là hàm số của thời gian, nhưng không phải mối quan hệ tuyến tính:

$$U = m+1 \sqrt[m]{c \left[\frac{(m+1)k.P.n}{m} \right] \cdot t^{\frac{m}{m+1}}}$$

Sự kém chính xác tiếp xúc ban đầu của các chi tiết ma sát đối tiếp có thể được đặc trưng bằng giá trị khe hở y_0 theo công thức:

$$y_0 = \frac{m+1}{n} \cdot \gamma_{1-2} \cdot t_n \quad (4.14)$$

y_0 có thể được tính nếu có độ chính xác tiếp xúc ban đầu của cặp đối tiếp ma sát.

Ví dụ, nếu dạng tiếp xúc ban đầu phù hợp với phương trình parabol ($m=2$) thì quá trình chạy rà không vượt quá $t_n = 50h$, và tốc độ mòn γ_{1-2} của khớp ở thời điểm tiếp xúc hoàn toàn, phù hợp với điều kiện làm việc là $\gamma_{1-2} = 10^{-4}$ mm/h thì giá trị cho phép của y_0 được tính theo công thức (4.14) sẽ là:

$$y_0 = \frac{3}{2} \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 0,007^{mm}$$

Vậy giá trị khe hở y_0 cho thấy nó rất chính xác ngay cả khi vật liệu có tốc độ mòn cao.

4.2.5. Cặp ma sát có dịch chuyển tương đối nhỏ

Bề mặt ma sát đối tiếp có dịch chuyển tương đối nhỏ (chuyển động dao động) thường gặp trong một số cơ cấu bị rung động. Dạng mòn này gọi là mòn fretting – corrosion của các khớp tĩnh động học.

Sự thay đổi của mòn và biểu đồ áp lực theo trục x có thể bỏ qua, căn cứ vào điều kiện tiếp xúc có thể tính toán chính xác dạng mòn của bề mặt ma sát.

Sơ đồ tính toán đối với trường hợp này được chỉ ra trên hình 4.6. Điều kiện tiếp xúc, căn cứ vào vùng tác động, thâm nhập tương hỗ được biểu diễn bằng công thức (4.4).

Thừa nhận quy luật mòn tuân theo phương trình (4.2) có áp suất tác dụng là hàm số mũ với $n = 1$:

$$\gamma = k \cdot p^m \cdot v$$

Tổng tốc độ mòn theo thời gian:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = (k_1 + k_2)v \cdot p^m \text{ (theo quy luật mòn);}$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 = \gamma'_{1-2} \left(1 - \frac{l}{l_0} \right) + \gamma''_{1-2} \frac{l}{l_0} \text{ (theo điều kiện tiếp xúc, công thức (4.4)).}$$

Cân bằng vế phải của phương trình trên, có biểu thức tính p qua hệ phương trình sau:

$$P^m = \frac{1}{v(k_1 + k_2)} \left[\gamma'_{1-2} \left(1 - \frac{l}{l_0} \right) + \gamma''_{1-2} \frac{l}{l_0} \right] \quad (4.15)$$

$$P = a \int_0^{l_0} p \, dl \quad (4.16)$$

$$Pl_p = a \cdot \int_0^{l_0} p \cdot l \, dl \quad (4.17)$$

Trong đó: a – là chiều rộng đường dẫn hướng.

l_p – tọa độ của điểm đặt lực P (theo x).

Như vậy với ba phương trình và ba ẩn số (p , γ'_{1-2} , γ''_{1-2}), có thể tìm ra các thông số cần thiết của của khớp ma sát.

Các phương trình tính không đủ để định dạng biểu đồ áp lực, nên phương pháp nói trên là gần đúng để giải bài toán mòn trong khớp ma sát. Điều kiện tiếp xúc của dạng bề mặt được đưa vào phương trình bổ sung và cho phép xác định các thông số chưa biết (ẩn số).

Giải bài toán với quy luật mòn tuyến tính, khi $m = 1$.

Thay thế giá trị của p từ (4.15) vào phương trình (4.16) và (4.17) rồi tích phân, sẽ nhận được giá trị của thông số γ'_{1-2} và γ''_{1-2} của khớp ma sát. Sau khi biến đổi có phương trình sau:

$$\gamma_{1-2} = \frac{Pv(k_1 + k_2)}{a.l_0} \cdot \left(1 \pm 6 \frac{\epsilon_p}{l_0} \right) \quad (4.18)$$

Trong đó ϵ_p là dịch chuyển điểm đặt của lực P .

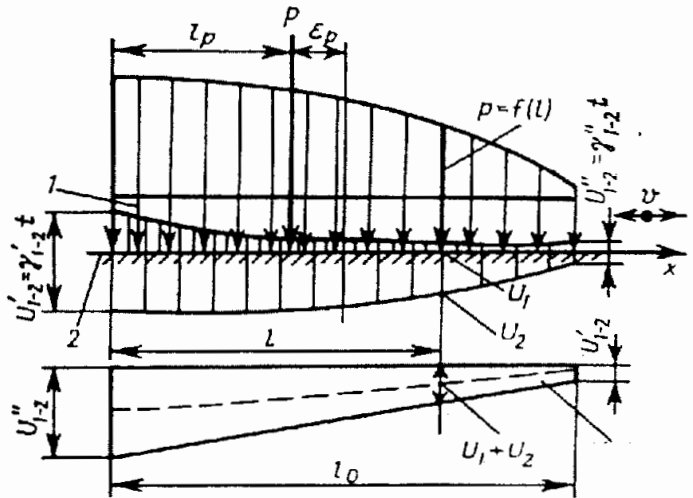
Công thức là công thức tổng quát với dấu (+) có $\gamma_{1-2} = \gamma'_{1-2}$, tương tự với dấu (-) có $\gamma_{1-2} = \gamma''_{1-2}$.

Thay thế giá trị γ'_{1-2} và γ''_{1-2} vào công thức (4.15) tìm được biểu đồ áp lực, sau khi biến đổi có dạng:

$$P = p_m \left(1 + 6 \cdot \frac{\epsilon_p}{l_0} - 12 \cdot \frac{\epsilon_p \cdot l}{l_0^2} \right) \quad (4.19)$$

Trong đó p_m - là giá trị áp lực trung bình trên bề mặt ma sát ở $\epsilon_p=0$ và $p=p_m = \text{const}$, $p_m = P/(a.l)$.

Vì vậy, biểu đồ áp lực có quan hệ tuyến tính với điều kiện mòn. Trong trường hợp chung nó có dạng hình thang, ở điểm $\epsilon_p = l_0/\delta$ nó chuyển thành dạng tam giác ($p_{\min}=0$). Công thức (4.19) biểu thị dạng biểu đồ



Hình 4.6. Sơ đồ tính mòn cho các chi tiết có chuyển động dao động

áp lực tương tự như khi chỉ tính theo phương trình tĩnh, nhưng giả thiết rằng biểu đồ áp lực là dạng tuyến tính. Trong trường hợp này không như giả thiết (đã chấp nhận) và công thức (4.19) đạt được với giả thiết

khác đó là mòn tỷ lệ với áp lực. Khi $m \neq 1$ biểu đồ áp lực sẽ không tuyến tính.

4.3. Tính mòn khớp ma sát theo điều kiện biến dạng tiếp xúc

4.3.1. Tiếp xúc bề mặt ma sát của các khớp bị mòn

Các phương pháp nghiên cứu ở trên cho phép xác định biểu đồ ứng suất tác dụng lên vùng tiếp xúc ma sát và hình dạng của bề mặt mòn (các khớp thuộc nhóm 1 và 2) trên cơ sở sử dụng các điều kiện tiếp xúc khi chúng bị mòn.

Tuy nhiên, biến dạng của lớp bề mặt, nơi xác định các đặc điểm của biểu đồ áp lực đối với khớp tĩnh và khớp động trong thời kỳ bắt đầu hoạt động của chúng là không thể xác định chính xác.

Trong cùng thời điểm, điều kiện tiếp xúc bề mặt sẽ dẫn đến phương trình bổ sung để tính mòn, nó có thể áp dụng cho trường hợp tiếp xúc giữa hai bề mặt tĩnh với việc thừa nhận rằng tiếp xúc xảy ra trên toàn bề mặt diện tích danh nghĩa và biến dạng của bề mặt nhấp nhô trong vùng tiếp xúc sẽ diễn ra trên chi tiết chính. Trên thực tế tiếp xúc hoàn toàn của các chi tiết đối tiếp ma sát được thừa nhận có thể xảy ra với bất kỳ dạng biến dạng nào, do đó điều kiện các công thức (4.3) và (4.4) sẽ được áp dụng khi lượng mòn tuyến tính U được thay thế bởi biến dạng tiếp xúc tuyến tính δ ở tại cùng một điểm trên bề mặt. Biến dạng tiếp xúc và mòn khớp ma sát có thể được liên hệ theo điều kiện tiếp xúc như trong các phương trình dưới đây.

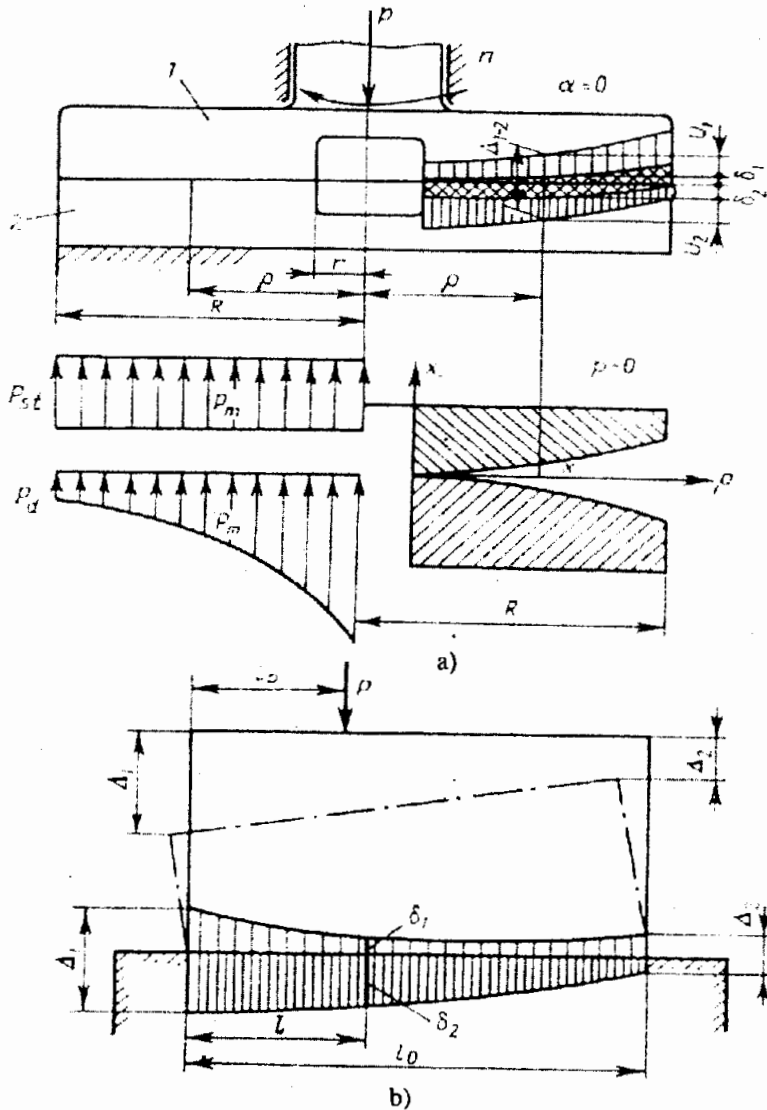
Ở đây hướng có thể xảy ra dịch gần của các chi tiết đối tiếp ma sát đã được định trước (hình 4.7a):

$$\Delta_{1-2} = \frac{(U_1 + U_2) + (\delta_1 + \delta_2)}{\cos \alpha}$$

Bề mặt ma sát thuộc dạng tự phân bố mòn (hình 4.7b):

$$(U_1 + U_2) + (\delta_1 + \delta_2) = \Delta_1 \left(1 - \frac{l}{l_0} \right) + \Delta_2 \frac{l}{l_0}$$

các chi tiết khi biến dạng và mòn bề mặt.



Hình 4.7. Điều kiện tiếp xúc của bề mặt tiếp xúc cứng

a) hướng dịch gần được dự báo trước; b) tự phân bố mòn.

Để giải các bài toán về tiếp xúc cần phải áp dụng các định luật về biến dạng của lớp bề mặt, cũng như các định luật mòn vật liệu. Quan hệ giữa đại lượng dịch chuyển tiếp xúc δ và áp suất p tác dụng trên bề mặt thường được biểu diễn bằng hàm số mũ:

$$\delta = \lambda \cdot p^n \quad (4.20)$$

Trong đó λ ; n - các hằng số phụ thuộc vào đặc trưng hình học bề mặt và cơ tính của vật liệu.

Biểu đồ áp suất được xác định theo điều kiện tiếp xúc cứng được thừa nhận như là quá trình tĩnh, còn biểu đồ phụ thuộc vào quy luật mòn được thừa nhận như là quá trình động. Khớp tĩnh được biểu diễn trên hình 4.6. Mọi kết luận có thể rút ra từ mòn của khớp ma sát cũng có thể được áp dụng cho biến dạng tiếp xúc. Vì vậy phương trình (4.19) cho thấy biểu đồ áp lực sẽ là đồng dạng nếu số mũ n của quy luật biến dạng ở (4.20) là 1. Để đánh giá quy luật dịch gần tương đối trong biến dạng tiếp xúc của các bề mặt, công thức (4.18) có thể được sử dụng khi thay thế λ cho $(k_1 + k_2) \cdot v$ và lượng dịch gần Δ cho $\gamma_{1,2}$. Ở đây biểu đồ áp suất tĩnh và động là đồng dạng, không xảy ra quá trình phân bố lại nội lực trong khớp. Các trường hợp trên sẽ phù hợp khi tốc độ trượt tương đối tại các điểm khác nhau của vùng tiếp xúc là hằng số hoặc sự khác nhau về tốc độ trung bình bị bỏ qua, nó không làm thay đổi biểu đồ áp suất tiếp xúc trong quá trình mòn.

Vì vậy quan hệ biến dạng của hai bề mặt ma sát và mòn khi dịch chuyển nhỏ ở hình 4.6 có thể được sử dụng cho các tính toán về hệ thống phanh gồm mayơ và má phanh theo mặt cắt dọc trục quay, vì tốc độ dài (theo chu vi) trên bề mặt ma sát là không phụ thuộc vào toạ độ l ($v = 2\pi \cdot n \cdot R = \text{const}$) và không ảnh hưởng đến hình dạng mòn của bề mặt.

4.3.2. Chuyển từ biểu đồ áp suất tĩnh sang biểu đồ động

Xem xét mô hình tiếp xúc bề mặt đĩa ma sát (hình 4.8), rõ ràng biểu đồ áp suất đối với khớp tĩnh hoàn toàn khác với khớp chuyển động. Các đĩa có thể được tính toán theo các công thức áp dụng cho bề mặt côn với góc $\alpha = 0$ và $y = \rho$.

Biểu đồ áp suất trong quá trình mòn có dạng hyperbolic, phương trình (4.8) ngược lại đối với khớp tĩnh nó có dạng hình chữ nhật ($p = \text{const}$, hình 4.7a) do đặc tính biến dạng của lớp bề mặt. Đặc điểm hyperbolic của biểu đồ áp suất p trên bề mặt mòn cho thấy rằng lớp bề mặt ở vùng có bán kính ρ lớn sẽ có biến dạng nhỏ hơn. Vì vậy sau khi

đĩa ngừng chuyển động, tải cũng bị thay đổi. Dạng của bề mặt mòn sẽ khác với mặt phẳng. Dạng này cũng giống như biểu đồ áp suất biểu diễn theo phương trình (4.8) với tải tĩnh. Thừa nhận rằng biến dạng tiếp xúc tuân theo quan hệ (4.20), thì phương trình biến dạng của bề mặt theo mặt cắt ngang sẽ là :

$$x = \lambda \left[\frac{P}{2\pi(R-r)} \right]^n \left(\frac{1}{R^n} - \frac{1}{\rho^n} \right)$$

Phương trình (4.20) có thể dùng để đánh giá đặc trưng của biểu đồ áp suất động bằng cách đo dạng của bề mặt ma sát khi bắt đầu chuyển động và sau khi bỏ tải. Như vậy biểu đồ áp suất tĩnh sẽ dần chuyển sang biểu đồ động giống như mòn bề mặt. Quá trình này được khảo sát với bề mặt dạng đĩa có luật mòn tuyến tính ($m = n = 1$).

Áp dụng điều kiện tiếp xúc cho biến dạng tiếp xúc và mòn đồng thời, mòn và biến dạng của các bề mặt phải trùng khớp với bề mặt đối tiếp. Vì vậy điểm bất kỳ của bề mặt ma sát sẽ có:

$$(U_1 + U_2) + (\delta_1 + \delta_2) = \Delta = \text{const}$$

Căn cứ vào quy luật biến dạng và mòn, có phương trình:

$$(\lambda_1 + \lambda_2)p + (k_1 + k_2)2\pi.n.\rho.t.p = \text{const}$$

Lấy vi phân theo ρ và coi rằng $p = f(\rho)$, có phương trình:

$$(\lambda_1 + \lambda_2) \frac{dp}{d\rho} + 2\pi.n.t(k_1 + k_2) \left(\rho \cdot \frac{dp}{d\rho} + p \right) = 0 \quad (4.21)$$

Đặt:
$$B = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2\pi.n.(k_1 + k_2).t}$$

Tích phân phương trình (4.21), sẽ nhận được công thức tính biểu đồ áp suất như sau:

$$p = \frac{c}{B + \rho} \quad (4.22)$$

Trong đó: c được xác định từ phương trình tĩnh $P = 2\pi \int_r^R p.\rho.d\rho$.

Thay thế vào phương trình này giá trị của p từ công thức (4.22) và tích phân, sẽ có:

$$c = \frac{P}{2\pi \left(R - r - B \cdot \ln \frac{B+R}{B+r} \right)} \quad (4.23)$$

Cuối cùng từ công thức (4.22) và (4.23) có:

$$p = \frac{P}{2\pi \left(R - r - B \cdot \ln \frac{B+R}{B+r} \right)} \cdot \frac{1}{B+\rho}$$

Công thức này đưa đến các kết luận dưới đây:

1. Khi $B = 0$ ($t = \infty$) - sẽ đưa đến công thức (4.8) với $\alpha = 0$, $y = \rho$, nghĩa là biểu đồ áp suất tĩnh chuyển sang biểu đồ động tương ứng với thời gian vô cùng.

2. Khi $B = \infty$ ($t = 0$) thừa số thứ hai hướng tới 0, nghĩa là p không phụ thuộc vào ρ và biểu đồ áp suất tĩnh được thiết lập (hình chữ nhật).

Tốc độ dịch chuyển biểu đồ phụ thuộc vào tỷ số bán kính của đĩa (chiều rộng đĩa lớn hơn, dịch chuyển nhỏ hơn) và vào cơ tính của vật liệu. Đối với nhiều vật liệu có tính chống mòn lớn và độ cứng tiếp xúc nhỏ, dịch chuyển của biểu đồ áp lực là rất thấp. Trong mọi trường hợp giai đoạn khởi động khi bắt đầu làm việc sẽ được đặc trưng bởi sự dịch chuyển lớn của biểu đồ áp suất p .

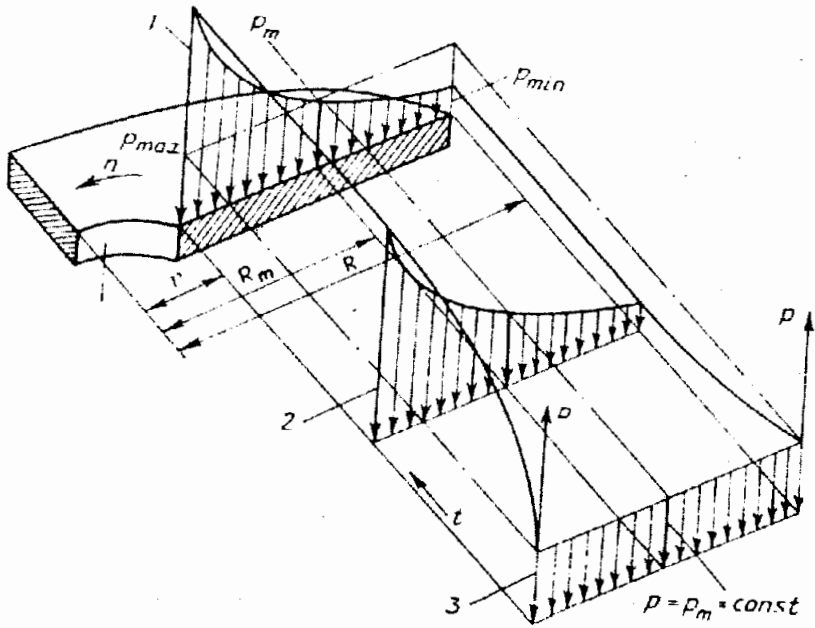
4.3.3. Khớp ma sát liên kết cứng vững

Các cơ cấu máy móc nói chung thường có rất nhiều khớp ma sát, mà mòn của chúng diễn ra rất khác nhau. Nếu mòn của mỗi khớp không ảnh hưởng đến mòn của các phần tử mòn khác, thì khớp ma sát có thể được phân tích và tính toán hoàn toàn độc lập, sau đó tổng hợp ảnh hưởng của mòn trong tất cả khớp đến các thông số chức năng của cơ cấu có thể xác định được.

Tuy nhiên phần lớn các cơ cấu và các bộ phận hợp thành, mòn của các bề mặt khớp ma sát thành phần có quan hệ với nhau và không thể xem xét riêng biệt. Dạng cơ cấu này thường là các hệ siêu tĩnh có

mòn bề mặt đỡ.

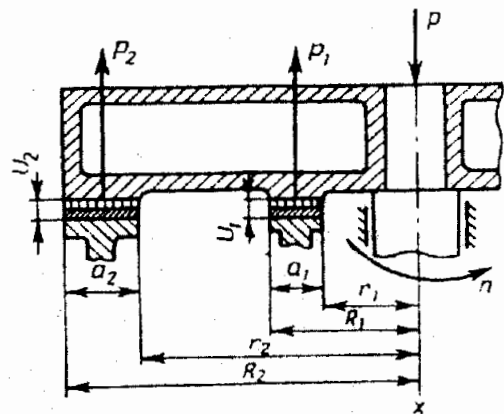
Khi các khâu có độ cứng cao, điều kiện mòn sẽ được đánh giá ngay trên chi tiết chính và hoạt động của mỗi thành phần của khớp ma sát cần phải được xem xét là có liên quan tới tổng mòn của nó. Những khớp này sẽ được xem như các khâu liên kết cứng.



Hình 4.8. Chuyển dịch biểu đồ tĩnh sang động của bề mặt tiếp xúc dạng đĩa
1- biểu đồ động, 2- biểu đồ quá độ, 3- biểu đồ tĩnh.

Điển hình là cơ cấu ma sát của bàn máy có tải đặt chính tâm và được dẫn hướng bởi hai đường vành khăn tiếp xúc có bán kính khác nhau, hình 4.9.

Mòn của các bề mặt không thể xem xét một cách riêng biệt dưới tác dụng của phản lực trên đường dẫn



Hình 4.9. Sơ đồ mòn đường dẫn hướng vành khăn của bàn quay.

hướng, nó có thể được dự đoán trước. Quan hệ về mòn sẽ được thiết lập nếu mòn của mỗi khớp theo hướng x-x là như nhau, đó là:

$$U_1 = U_2$$

Điều kiện này xác định độ lớn của phản lực P_1 và P_2 trên đường dẫn hướng, và nó đặc trưng cho mòn của toàn cơ cấu. Nó sẽ thay thế phương trình biến dạng bổ sung và được sử dụng để tính toán hệ siêu tĩnh. Do đó nếu định luật mòn tuyến tính được áp dụng thì mòn của khớp ma sát dạng đĩa được tính toán bằng công thức cho trong bảng 4.3. Áp dụng mối quan hệ (4.9) sẽ có:

$$\frac{(k_1 + k_2)P_1 \cdot n}{R_1 - r_2} = \frac{(k_3 + k_4)P_2 \cdot n}{R_2 - r_1}$$

Ở đây :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{k_3 + k_4}{k_1 + k_2} \cdot \frac{a_1}{a_2}$$

Trong đó a_1 và a_2 là chiều rộng của đường dẫn hướng.

k là hệ số mòn đặc trưng tổ hợp của vật liệu và điều kiện mòn.

Nếu $k_1 + k_2 = k_3 + k_4$ là điều kiện mòn và vật liệu của mỗi cặp ma sát như nhau thì giá trị của phản lực chỉ phụ thuộc vào chiều rộng của đường dẫn hướng và vị trí của nó.

Với phương trình tĩnh $P = P_1 + P_2$ suy ra tốc độ mòn theo hướng x - x của bàn quay với hai đường dẫn hướng vành khăn sẽ là:

$$\gamma = \frac{P \cdot n \cdot (k_1 + k_2)}{a_1 + a_2} \quad (4.24)$$

Do đó, dẫn tới quy luật mòn: tốc độ mòn theo thời gian γ phụ thuộc vào chiều rộng của đường dẫn hướng hơn là phụ thuộc vào bán kính của nó. Lập luận này đã cho thấy rằng, tính toán đường dẫn hướng theo áp suất cho phép thường được sử dụng phổ biến trong thực tế (như khi thiết kế máy công cụ) có thể dẫn đến các kết quả không chính xác. Phù hợp với phương pháp này chính là phương hướng sắp xếp đường dẫn hướng ở bán kính lớn để giảm áp suất thông qua việc tăng diện tích của bề mặt ma sát. Công thức (4.24) cũng cho thấy tính

chống mòn có thể không được cải thiện trong trường hợp này vì tốc độ trượt tương đối sẽ tăng lên theo diện tích của đường dẫn hướng khi tăng bán kính.

4.4. Tính mòn giới hạn U_{\max}

4.4.1. Lượng mòn cho phép

Để tính tuổi thọ dự kiến của máy móc, cần phải xác định được giá trị lượng mòn giới hạn, U_{\max} , của từng chi tiết máy và khớp ma sát.

Có ba nhóm tiêu chuẩn được sử dụng để xác định mòn giới hạn:

1. Do hậu quả của quá trình mòn mà máy, thiết bị dùng đột ngột (nứt vỡ, kẹt hoặc xảy ra hư hỏng cơ khí trong các cơ cấu).
2. Do mòn, máy móc thiết bị hoạt động trong điều kiện: chúng sẽ bị hư hỏng trong một thời gian ngắn nếu tiếp tục sử dụng (xuất hiện va đập, xuất hiện rung động, bề mặt ma sát bắt đầu mòn nhanh, nhiệt độ trong các bộ phận máy tăng lên).
3. Do mòn các tính năng cơ bản của máy vượt quá giới hạn đặc trưng cho phép (chất lượng sản phẩm xấu đi, mất năng suất, hiệu suất giảm và tiếng ồn tăng).

Tiêu chuẩn của lượng mòn giới hạn U_{\max} có thể được xác định theo sự hoạt động của các khớp hoặc chi tiết, trong một số trường hợp khác nó có thể được xác định theo sự hoạt động của nhiều chi tiết, của một số cơ cấu hoặc cả máy.

Đối với chi tiết máy được phục hồi trong chu kỳ sửa chữa định kỳ thì lượng mòn cho phép U_{al} sẽ nhỏ hơn hoặc bằng lượng mòn giới hạn U_{\max} đảm bảo chi tiết không bị hỏng giữa chu kỳ sửa chữa. Nếu độ dài của chu kỳ sửa chữa là thời gian giữa hai lần sửa chữa định kỳ là T_1 thì mòn của chi tiết máy trong khoảng thời gian này sẽ tăng $\gamma \cdot T_1$. Vì vậy lượng mòn cho phép U_{al} , bắt đầu từ điểm mà chi tiết đã được phục hồi trong chu kỳ sửa chữa đó là:

$$U_{al} = U_{\max} - \gamma \cdot T_1$$

Cũng giả thiết rằng $\gamma = \frac{U_{al}}{T}$

Trong đó T là thời gian hoạt động của chi tiết trước chu kỳ sửa chữa.

Ta có:
$$U_{al} = U_{max} - \frac{U_{al} \cdot T_1}{T}$$

do đó:
$$U_{al} = \frac{U_{max} \cdot T_1}{1 + \frac{T_1}{T}} = U_{max} \frac{k}{k+1} \quad (4.25)$$

Trong đó k là số lần sửa chữa định kỳ tại thời điểm sửa chữa sau cùng do vậy tổng thời gian hoạt động của chi tiết $T = k \cdot T_1$.

Các bộ phận hợp thành khớp ma sát trong các thiết bị hiện đại thường thuộc vào nhóm thứ ba có liên quan tới việc xác định lượng mòn giới hạn U_{max} . Điều kiện giới hạn thường được rút ra từ sự suy giảm các tính năng của máy hơn là sự ngừng máy đột ngột hoặc xảy ra hư hỏng.

Với máy có độ chính xác cao như máy công cụ, thì điều kiện giới hạn chính là sự suy giảm tính năng của nó (độ chính xác chi tiết gia công). Các mối quan hệ ảnh hưởng đến U_{max} có thể xác định thông qua quan hệ giữa suy giảm về tính năng của máy và các thông số quyết định kích thước và hình dạng của bề mặt mòn. Điều kiện mòn giới hạn được xác định theo dạng mòn bề mặt, mòn khớp và ảnh hưởng của nó tới đặc tính của khớp ma sát.

4.4.2. Xác định mòn giới hạn cho cơ cấu nhiều khâu.

Rất nhiều cơ cấu là tập hợp của một số lượng lớn các cặp động học, khi đó điều kiện mòn giới hạn được xác định với giả thiết vị trí của khâu cuối cùng là giới hạn của dải dung sai danh nghĩa Δ . Mòn của các khâu thành phần xác định sự lệch hướng của khâu cuối so với vị trí danh nghĩa của nó. Phụ thuộc vào kết cấu và động học của cơ cấu, tác dụng của mòn bề mặt ma sát đến vị trí của khâu cuối có thể xác định bằng tỷ số truyền dẫn i_k . Do đó với một cơ cấu có n khâu có thể mòn thì phương trình sau có thể áp dụng:

$$\sum_1^n U_k \cdot i_k = \Delta + e \quad (4.26)$$

Trong đó e là số điều chỉnh mòn.

Giới hạn mòn U_{max} cần phải được thiết lập cho một chi tiết hoặc nhiều chi tiết trên điều kiện $\Delta \leq \Delta_{al}$. Nếu một trong các khớp ma sát mòn với tốc độ γ_x thì mối quan hệ giữa lượng mòn của nó U_x và dung sai Δ phải được xác lập.

Nhân hai vế phương trình (4.26) với $\gamma_x = \frac{U_x}{T}$ ta có:

$$U_x \frac{\sum_1^n U_k \cdot i_k}{T} = (\Delta + e) \frac{U_x}{T}$$

Từ đó:
$$U_x \sum_1^n \gamma_k \cdot i_k = (\Delta + e) \gamma_x$$

$$U_x = (\Delta + e) \frac{\gamma_x}{\sum_1^n \gamma_k \cdot i_k} = \frac{\Delta + e}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\gamma_k}{\gamma_x} \right) \cdot i_k} \quad (4.27)$$

Công thức (4.27) có thể tính mòn giới hạn cho bất kỳ cặp ma sát trượt nào, vì với $\Delta = \Delta_{al}$ sẽ có: $U_{max} = U_{x, max}$.

4.4.3. Dự báo mòn của khớp ma sát

Các phương pháp tính mòn cho các kết cấu ma sát cho phép đánh giá chất lượng của quá trình mòn và xác định mức độ ảnh hưởng của các nhân tố.

Xác định hệ số mòn k , phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, là rất khó khăn. Hệ số này được tính theo mối quan hệ bắt nguồn từ các nghiên cứu về lý học của quá trình mòn, nó chỉ là gần đúng.

Giá trị của hệ số mòn cho các vật liệu cụ thể là không có, tuy nhiên có thể sử dụng các phương pháp dưới đây trong tính mòn:

1. Thực hiện các tính toán so sánh để tăng tính chống mòn của cặp ma sát khảo sát so với các khớp cơ sở tương tự hoặc với các kết cấu tương đương.
2. Đánh giá giá trị của hệ số mòn k dựa vào các dữ liệu phục vụ

của các cặp ma sát tương tự hoặc dự báo trước sự tăng của tính chống mòn từ việc sử dụng vật liệu mới có cơ tính và cấu trúc thay đổi.

3. Cụ thể hóa quan hệ mòn tuyến tính hoặc tốc độ mòn theo thời gian bằng cách thiết lập các số liệu về tính chống mòn tại nơi sản xuất cũng như nơi thực hiện kế hoạch sửa chữa bảo trì, để sử dụng các thiết kế cặp ma sát trượt tương tự với điều kiện hoạt động tương tự sẽ đảm bảo tốc độ mòn trong khoảng giới hạn quy định.

4. Thử nghiệm các vật liệu được sử dụng trong các cặp ma sát đối tiếp và áp dụng các số liệu đó vào tính toán.

Các tính toán cho các khớp riêng lẻ cần dựa vào căn cứ dự báo tính năng của toàn cơ cấu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. I. V. Kragesky, V. V. ALISIN
Friction Wear Lubrication.
Mir Publisher, Moscow, 1981.
2. J. A. William
Engineering Tribology.
Publisher in United State by Oxford University Press Inc NewYork 1996.
3. Nguyễn Anh Tuấn - Nguyễn Văn Thèm
Kỹ thuật ma sát và kỹ thuật nâng cao tuổi thọ thiết bị.
Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 1990.
4. I. KOXTETXKI, người dịch Nguyễn Hữu Dũng
Ma sát, bôi trơn và hao mòn trong máy móc.
Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 1977.
5. И. В. КРАГЕЛСКИЙ, М. Н. ДОБЫЧИМ, В. С. КОМБАЛОВ.
ОСНОВЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ.
МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ", 1977.
6. Г. ПОЛЬЦЕР, Ф. МАНССЕР
ОСНОВЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ
МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ", 1984
7. И. В. КРАГЕЛСКИЙ В. В. АЛИСИН
ТРЕНИЕ, ИЗНАШИВАНИЕ И СМАЗКА – КНИГА 1; 2
СПРАВОЧНИК МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ", 1979
8. HORT CZICHOS - KARL - HEINZ NAVIG
TRIBOLOGIE HANBUCH
Reibung Und Verschleiss Wiesbaden: Vieweg 1992 Berlin.
9. Б. И. КОСТЕЦКИЙ
ТРЕНИЕ, СМАЗКА И ИЗНОС В МАШИНАХ
ИЗДАТЕЛЬСТВО "ТЕХНИКА". КИЕВ. 1970

