

# CHƯƠNG 1

## LÝ THUYẾT MA SÁT VÀ HAO MÒN

### 1.1. LÝ THUYẾT CHUNG VỀ MA SÁT VÀ HAO MÒN

#### 1.1.1. Khái niệm về ma sát

##### 1.1.1.1. Quan điểm cổ điển

Lực ma sát  $F_{ms}$  tỷ lệ thuận với tải trọng pháp tuyến  $N$ :

$$\vec{F}_{ms} = \mu \cdot \vec{N}$$

$N$ - tải trọng pháp tuyến.

$\mu$ -hệ số ma sát,  $\mu = \text{const}$ .

Công thức trên chỉ có phạm vi sử dụng nhất định.

##### 1.1.1.2. Quan điểm hiện đại

Ma sát là kết quả của nhiều dạng tương tác phức tạp khác nhau, khi có sự tiếp xúc và dịch chuyển hoặc có xu hướng dịch chuyển giữa hai vật thể, trong đó diễn ra các quá trình cơ, lý, hoá, điện...quan hệ của các quá trình đó rất phức tạp phụ thuộc vào đặc tính tải, vận tốc trượt, vật liệu và môi trường.

$$\vec{F}_{ms} = \mu \cdot \vec{N}$$

$\mu$ - hệ số ma sát,  $\mu = f(p, v, C)$

$N$ -tải trọng pháp tuyến

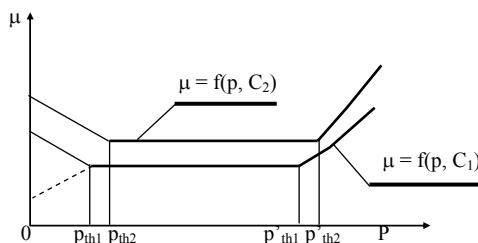
$C$ -điều kiện ma sát (vật liệu, độ cứng, độ bóng, chế độ gia công, môi trường)

Công ma sát  $A$  chuyển hoá thành nhiệt năng  $Q$  và năng lượng hấp phụ giữa 2 bề mặt  $\Delta E$ .

$$A = Q + \Delta E.$$

#### 1.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số ma sát

##### 1.1.2.1. Ảnh hưởng của tải trọng.



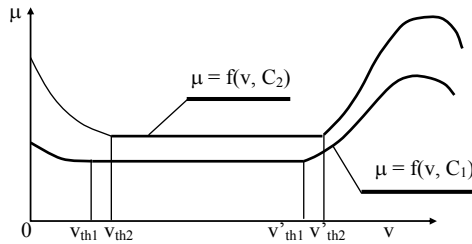
Khi thay đổi  $p$  thì  $\mu$  thay đổi theo. Nhưng tồn tại một khoảng  $p_{th1} < p < p_{th2}$  mà trong đó  $\mu$  ổn định và nhỏ nhất. Khi  $\mu$  vượt ra ngoài khoảng đó thì xảy ra hư hỏng và  $\mu$  tăng cao.

Hình 1.1. Ảnh hưởng của tải trọng đến  $\mu$

#### Nhận xét:

Khi thay đổi điều kiện ma sát  $C$  thì dạng đường cong không thay đổi mà chỉ thay đổi các giá trị  $\mu$ ,  $p_{th1}$ ,  $p_{th2}$ .

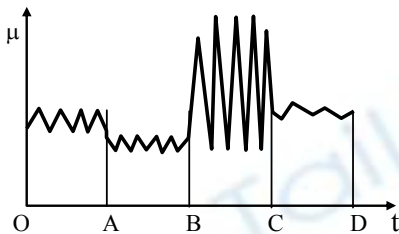
### 1.1.2.2. Ảnh hưởng của vận tốc. Hình 1.2



Hình 1.2. Ảnh hưởng của vận tốc đến  $\mu$

Đường cong  $\mu = f(v, C)$  cũng có qui luật tương tự đường cong  $\mu = f(p, C)$ .

### 1.1.2.3. Ảnh hưởng của điều kiện ma sát. Hình 1.3



Hình 1.3. Ảnh hưởng của điều kiện ma sát đến  $\mu$

**Thí nghiệm 1:** cho cặp ma sát Fe-Fe làm việc với tải trọng  $p = \text{const}$ , vận tốc  $v = \text{const}$ , có cho và không cho bột mài vào giữa hai bề mặt ma sát.

OA: không có bột mài.

AB:  $\mu$  giảm do tác dụng rà trơn của bột mài

BC:  $\mu$  tăng cao và không ổn định do sự phá hoại của bột mài.

CD: không có bột mài -->  $\mu$  ổn định và giảm.

**Nhận xét:**  $\mu \neq \text{const}$  khi điều kiện ma sát thay đổi

**Thí nghiệm 2:** Cho ba cặp ma sát Fe-Fe, Al-Al, Cu-Cu làm việc với  $p = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ , thay đổi chế độ gia công để đạt độ bóng bề mặt khác nhau. Kết quả,  $\mu$  thay đổi như bảng 1.1

**Bảng 1.1.** Ảnh hưởng của độ bóng bề mặt đến  $\mu$

Độ bóng	Phương pháp gia công	$\mu$		
		Fe-Fe	Al-Al	Cu-Cu
▽7	Đánh bóng bằng điện giải	2,08	4,05	1,7
▽14	Đánh bóng bằng điện giải	1,32	3,00	1,08
▽14	Đánh bóng bằng điện giải có lớp màng ô xít dày $300\text{Å}$	0,8	1,08	0,37
▽14	Giữa hai bề mặt có màng dầu bôi trơn	0,06	0,05	0,07

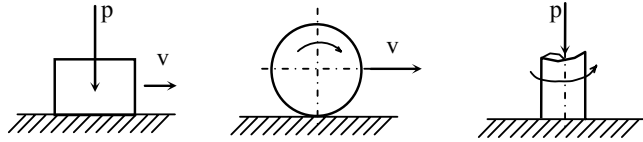
**Kết luận:** hệ số ma sát phụ thuộc vào nhiều yếu tố.  $\mu = f(p, v, C)$

- $\mu \neq \text{const}$ .
- Tồn tại khoảng có  $\mu = \text{const}$  và nhỏ nhất.
- Cho ta phương hướng chỉ đạo thực tiễn thay đổi điều kiện ma sát C sao cho mở rộng được phạm vi sử dụng mà  $\mu = \text{const}$  và nhỏ nhất.

### 1.1.3. Phân loại ma sát

- Dựa vào động học chuyển động:

- + Ma sát trượt.
- + Ma sát lăn.
- + Ma sát xoay.
- Dựa vào sự tham gia của



Hình 1.4. Các dạng ma sát

chất bôi trơn:

- + Ma sát ướt.
- + Ma sát khô.
- + Ma sát tới hạn.
- Dựa vào động lực học:
- + Ma sát tĩnh.
- + Ma sát động
- Dựa vào đặc tính quá trình ma sát:

+ Ma sát bình thường là quá trình ma sát trong đó chỉ xảy ra hao mòn tất yếu và cho phép (xảy ra từ từ, chỉ trên lớp cấu trúc thứ cấp, không xảy ra sự phá hoại kim loại gốc), trong phạm vi giới hạn của tải trọng, vận tốc trượt và điều kiện ma sát bình thường.

+ Ma sát không bình thường là quá trình ma sát trong đó p,v,C vượt ra ngoài phạm vi giới hạn, xảy ra hư hỏng: tróc loại 1, loại 2, mài mòn...

Người ta tìm các biện pháp thiết kế, công nghệ, sử dụng để mở rộng phạm vi cho phép của p, v, C theo hướng tăng hoặc giảm  $\mu$ .

**Ví dụ:** Cần tăng  $\mu$ : má phanh, bề mặt ma sát của đĩa ly hợp ma sát.

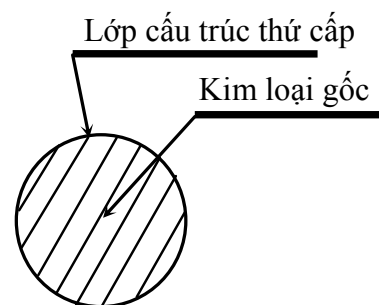
Cần giảm  $\mu$ : ổ trượt, ổ lăn...

## 1.2. KHÁI NIỆM VỀ HAO MÒN, HƯ HỎNG

### 1.2.1. Khái niệm chung

**Hao mòn:** Là sự phá hoại dần dần bề mặt ma sát, thể hiện ở sự thay đổi kích thước dần dần theo thời gian. Trong quá trình hao mòn không xảy ra sự phá hoại kim loại gốc mà chỉ xảy ra sự phá hoại trên lớp bề mặt chi tiết (gọi là lớp cấu trúc thứ cấp).

**Chỉ tiêu đánh giá hao mòn:** Để đánh giá hao mòn người ta dùng tỉ số giữa lượng hao mòn tuyệt đối với chiều dài của quãng đường xe chạy gọi là cường độ mòn.



Hình 1.5. Hao mòn lớp cấu trúc thứ cấp

- **Cường độ mòn I:**

$$I = \frac{|l_1 - l_2|}{L} \quad (\mu\text{m}/1000\text{km}) \quad \text{hoặc} \quad I = \frac{V_1 - V_2}{L} \quad (\text{m}^3/1000\text{km}) \quad \text{hoặc} \quad I = \frac{G_1 - G_2}{L} \quad (\text{g}/1000\text{km}).$$

$l_1, l_2$ -kích thước chi tiết đo theo phương pháp tuyến với bề mặt ma sát trước ma sát và khi đo, ( $\mu m$ ).

$V_1, V_2$ -thể tích chi tiết trước và sau khi đo.

$G_1, G_2$ -khối lượng chi tiết trước và sau khi đo.

L-chiều dài quãng đường xe chạy, (1000km).

**- Tốc độ mòn V:**

$$V = \frac{|l_1 - l_2|}{t} (\mu m/\text{giờ}) \text{ hoặc } V = \frac{V_1 - V_2}{t} (m^3/\text{giờ}) \text{ hoặc } I = \frac{G_1 - G_2}{L} (g/\text{giờ})$$

t-thời gian ma sát (giờ)

**Hư hỏng:** là sự phá hoại bề mặt chi tiết xảy ra không có qui luật và ở mức độ vĩ mô. Có thể quan sát được bằng mắt thường và có sự phá hoại kim loại gốc như: tróc, rỗ, biến dạng bề mặt, cong, vênh, cào, xước, nứt bề mặt (phương pháp tuyến), dập, lún, xâm thực.

## 1.2.2. Phân loại hao mòn, hư hỏng

### 1.2.2.1. Phân loại hao mòn

**Hao mòn ôxy hoá loại 1:** là hao mòn mà lớp cấu trúc thứ cấp là lớp màng dung dịch rắn (có xô lệch mạng).

**Hao mòn ôxy hoá loại 2:** là hao mòn mà lớp cấu trúc thứ cấp là lớp ôxít. Ví dụ: FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### 1.2.2.2. Phân loại hư hỏng

**Tróc loại 1:** là dạng phá hoại bề mặt, thể hiện sự dính cục bộ giữa hai bề mặt do biến dạng dẻo gây ra vì lực lớn quá giới hạn đàn hồi.

**Tróc loại 2:** là dạng phá hoại bề mặt, thể hiện sự dính cục bộ giữa hai bề mặt do nhiệt gây ra.

**Mài mòn:** do tồn tại hạt mài giữa hai bề mặt ma sát, do cát bụi hoặc do tróc

**Tróc ôxi hoá động:** là sự cường hoá quá trình hao mòn.

**Ăn mòn điện hoá, xâm thực...**

**Mỏi:** xảy ra khi tải trọng thay đổi tuần hoàn, xuất hiện và phát triển các vết nứt tế vi, dẫn đến gãy đột ngột.

## 1.2.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến hao mòn, hư hỏng

Bất kỳ cặp chi tiết nào làm việc với nhau đều sinh ra ma sát trong điều kiện có trượt tương đối, chịu lực, điều kiện môi trường làm việc, chất bôi trơn, chất lượng chi tiết (thành phần vật liệu, tính chất cơ lý hoá bề mặt ...) là dẫn đến hao mòn.

### 1.2.3.1. Ảnh hưởng của tải trọng $p$

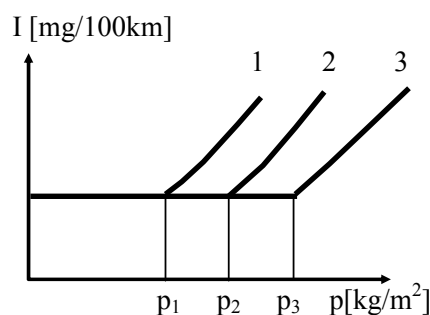
**Thí nghiệm:** Cho cặp ma sát thép Y10A có nhiệt luyện làm việc với nhau khi tăng dần  $P$ , đo  $I$ , hình 1.6:

Đường 1: ứng với  $v = 3,11$  m/s

Đường 2: ứng với  $v = 2,59$  m/s

Đường 3: ứng với  $v = 1,78$  m/s

Kết luận: Ở vận tốc trong giới hạn nào đó, cường độ hao mòn là ổn định và nhỏ nhất khi  $p \leq [p]$ . Nếu  $p > [p]$  thì hao mòn xảy ra mãnh liệt.



Hình 1.6. Ảnh hưởng của tải trọng đến hao mòn, hư hỏng.

### 1.2.3.2. Ảnh hưởng của vận tốc trượt $v$

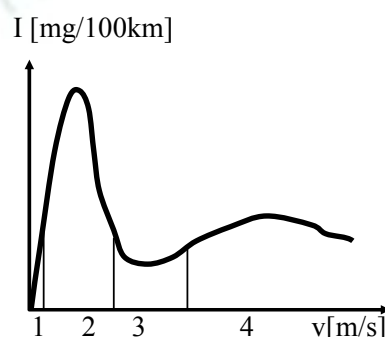
Vận tốc trượt cho phép mở rộng khả năng chịu tải nhưng chưa rõ mà phải nghiên cứu ảnh hưởng riêng của từng chi tiết như thế nào:

**Thí nghiệm:** cho cặp ma sát thép C10 làm việc với nhau, thay đổi  $v$ , đo cường độ hao mòn  $I$ , hình 1.7.:

Vùng 1 và 3: có hao mòn nhỏ và ổn định (ứng với hao mòn ô xy hoá)

Vùng 2: hao mòn lớn nhất (tróc loại 1)

Vùng 4: tróc loại 2



Hình 1.7. Ảnh hưởng của vận tốc đến hao mòn, hư hỏng

### 1.2.3.3. Ảnh hưởng của điều kiện ma sát

#### Ảnh hưởng của tính chất vật liệu

Từ hai thí nghiệm đối với thép Y10A và thép C10 ta thấy:

- Thép Y10A không có dạng phá hoại do tróc, còn thép C10 có phá hoại do tróc. Để chống tróc loại 1 phải dùng vật liệu khác nhau cho hai chi tiết ma sát với nhau. Vì nếu giống nhau thì chúng có mạng tinh thể giống nhau nên dễ khuếch tán với nhau.

- Độ cứng càng cao thì độ mòn càng thấp.

#### Ảnh hưởng của chất bôi trơn

- Tác dụng của chất bôi trơn: giảm ma sát làm giảm hao mòn, làm mát chi tiết, bao kín bề mặt, bảo vệ bề mặt khỏi bị ôxy hoá, làm sạch bề mặt.

- Yêu cầu đối với chất bôi trơn:

+ Phải bảo đảm khả năng làm việc trong phạm vi  $P, v$ ,

+ Phải điền đầy các hõm và lỗ tế vi, bám toàn bộ vào bề mặt chi tiết tạo thành màng dầu bôi trơn.

+ Tạo khả năng cản trượt lớn theo phương vuông góc với bề mặt ma sát và nhỏ theo phương tiếp tuyến với bề mặt ma sát.

+ Không gây hại đến chi tiết (ăn mòn).

+ Không tạo cặn, sinh bọt nhũ...

- Cơ chế bôi trơn:

+ Ma sát ướt (bôi trơn thuỷ động). Khi trục bắt đầu quay, do dầu có độ nhớt, nên trong khe hở giữa trục và bạc tạo thành nêm dầu có áp suất, áp suất càng tăng khi tốc độ quay của trục tăng lên. Đến khi ứng với tốc độ nào đó, tổng áp lực của dầu đủ sức nâng trục lên, không có sự tiếp xúc trực tiếp giữa trục và bạc, dẫn đến không hao mòn. Thực tế khi khởi động, tắt máy hoặc thay đổi tốc độ thì trục và bạc có tiếp xúc nên có hao mòn.

Trong bôi trơn thuỷ động hệ số ma sát  $\mu$  phụ thuộc vào  $\frac{n.\eta}{p}$  như ở đồ thị. Trong đó:

n-số vòng quay/phút

$\eta$ -độ nhớt

p-áp suất

1-vùng ma sát khô

2-vùng ma sát tới hạn

3-vùng ma sát ướt, vùng này vẫn có  $\mu$  là do nội ma sát trong dầu.

+ Ma sát tới hạn: xảy ra khi lớp màng dầu có chiều dày rất nhỏ  $\delta < 0,1\mu\text{m}$ . Ở bề dày này, các phân tử dầu sắp xếp đúng hướng. Do đó, cácchi tiết như trượt trên một đệm đàn hồi,  $\mu$  giảm. Tuy nhiên, đây là một quá trình kém bền vững dễ chuyển thành ma sát khô hoặc ướt.

- Cải thiện tính chất dầu bôi trơn: người ta pha vào dầu bôi trơn các chất phụ gia hoạt tính hoá học hoặc hoạt tính bề mặt.

+ Chất phụ gia hoạt tính hoá học, có gốc là axit vô cơ, làm tăng khả năng chịu tải của màng dầu bôi trơn, cải thiện độ bền lớp cấu trúc thứ cấp, mở rộng phạm vi làm việc, giảm hao mòn.

+ Chất phụ gia hoạt tính bề mặt, có gốc là các axit hữu cơ, gốc rượu, xà phòng, có tác dụng làm mềm lớp rất mỏng trên bề mặt chi tiết, làm tăng khả năng rà khít nhanh, giảm áp suất riêng, giảm lực ma sát, công ma sát.

### **Ảnh hưởng của chất lượng bề mặt ma sát**

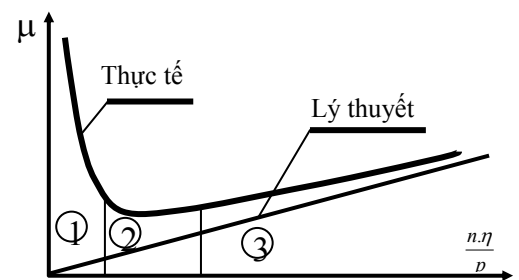
Chất lượng bề mặt ma sát được thể hiện qua các yếu tố:

- Hình học bề mặt: vĩ mô, vi mô và siêu vi mô:

+ Vĩ mô: phản ánh trên toàn bộ, phạm vi lớn: độ côn, độ ô van, dung sai chế tạo, những sai số này do dao động của hệ máy-dao-chi tiết trong quá trình gia công gây nên.

+ Vi mô: phản ánh tình trạng bề mặt ở phạm vi kích thước tương đối bé

+ Siêu vi mô: là sai khác hình học trong phạm vi rất nhỏ do cấu trúc kim loại gây ra.



**Hình 1.8.** Ảnh hưởng của  $n, \eta, p$  đến hệ số ma sát.

- Trạng thái ứng suất bề mặt: do tác dụng lực biến dạng dẻo nên trên bề mặt chi tiết luôn luôn có ứng suất dư (trong quá trình công nghệ và trong quá trình sử dụng). Trạng thái ứng suất thay đổi dễ gây ra nứt tế vi, hỏng do mỏi.

- Tính chất cơ lý hoá bề mặt:

+ Sau khi gia công chế tạo ở bước cuối cùng, người ta tiến hành tôi, thấm C,N, phun bi...Do thao tác như vậy, nên bề mặt chi tiết có khả năng hấp thụ lớn, tính chất bề mặt khác với tính chất kim loại gốc. Mặt khác, do thay đổi trạng thái kim loại bề mặt nên nó có năng lượng tự do lớn, dễ hấp phụ các nguyên tử môi trường tạo thành lớp ô xít hoặc lớp dung dịch rắn.

+ Trong quá trình làm việc: do biến dạng dẻo, lực, vận tốc trượt lớp kim loại bề mặt bị biến dạng dẻo nhiều lần, đồng thời bản thân chúng có hoạt tính lớn nên dễ hình thành lớp màng dung dịch rắn hoặc ô xít. Như vậy, bề mặt chi tiết khác xa kim loại gốc, có tác dụng bảo vệ chi tiết, quá trình hao mòn chỉ xảy ra trên bề mặt này.

Trong thực tế luôn luôn tồn tại quá trình chuyển hoá từ bề mặt chi tiết sau gia công đến bề mặt chi tiết làm việc ổn định. Đó là quá trình chạy rà tất yếu, vì vậy để nhanh chóng rà khí, giảm hao mòn trong quá trình này người ta phải:

+ Gia công bề mặt chi tiết có độ bóng gần bằng độ bóng chi tiết khi làm việc ổn định.

+ Giới hạn chế độ tải vận tốc trong quá trình chạy rà và lúc mới sử dụng.

## 1.2.4. Một số dạng hao mòn, hư hỏng chủ yếu

### 1.2.4.1. Hao mòn ô xy hoá

**Khái niệm:** là dạng phá hoại dần dần bề mặt chi tiết ma sát, thể hiện ở sự hình thành và bong tách các lớp màng cấu trúc thứ cấp, do tương tác giữa bề mặt kim loại bị biến dạng dẻo với ô xy và các phân tử môi trường.

+ Hao mòn ô xy hoá loại 1: lớp màng cấu trúc thứ cấp là dung dịch rắn giữa kim loại gốc và các nguyên tố khác.

+ Hao mòn ô xy hoá loại 2: lớp màng cấu trúc thứ cấp là ô xít kim loại.

**Điều kiện hình thành:**

- Tốc độ hao mòn ô xy hoá phải lớn nhất so với các quá trình khác.

- Để quá trình hao mòn là ổn định thì:

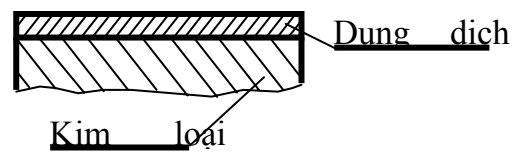
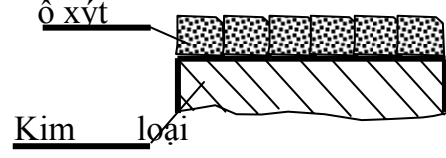
$$V_{\text{ô xy hoá}} \geq V_{\text{hao mòn}}$$

Quá trình cân bằng động. sự hình thành lớp màng cấu trúc thứ cấp phải nhanh hơn sự phá hoại xảy ra trên nó. Nghĩa là, chi tiết luôn luôn có lớp bảo vệ.

- Xảy ra trong môi trường có ô xy, trong phạm vi cho phép của tải trọng và vận tốc.

- Xảy ra ở ma sát khô, ma sát tới hạn. Vì ma sát ướt đã có màng dầu.

**Bảng 1.2.** Đặc tính bề mặt khi hao mòn ô xy hóa

Hao mòn ô xy hoá loại 1	Hao mòn ô xy hoá loại 2
	
+ Độ bóng: $\nabla 10 \div 14$	$\nabla 9 \div 13$
+ Nhiệt độ bề mặt: $< 100^{\circ}\text{C}$	$< 200^{\circ}\text{C}$
+ Chiều sâu phá hoại: $\delta = 100 \div 300\text{A}^0$	$\delta = 1000\text{A}^0$
+ Tốc độ phá hoại: $0,01\mu\text{m/h}$	$0,05\mu\text{m/h}$

#### 1.2.4.2. Tróc loại 1

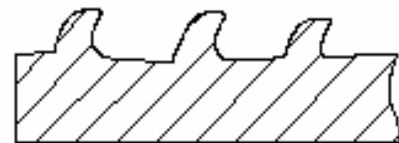
**Khái niệm:** là một dạng hư hỏng bề mặt, thể hiện ở sự hình thành và bong tách các mối liên kết cục bộ giữa hai bề mặt ma sát do biến dạng dẻo vì lực (không nhiệt).

**Nguyên nhân:** do ảnh hưởng của tải trọng lớn (áp suất tiếp xúc cục bộ cao) mà hai bề mặt bị biến dạng dẻo mạnh, bề mặt dính sát nhau ở khoảng cách ô tinh thể, nguyên tử bề mặt này khuếch tán sang bề mặt khác và hình thành liên kết.

- \*  $F_1 < F_{lk} < F_2 \rightarrow$  tróc và đắp vào
- \*  $F_{lk} > F_1, F_2 \rightarrow$  tróc rời tạo thành hạt mài
- \*  $F_{lk} < F_1, F_2 \rightarrow$  không tróc

#### **Điều kiện hình thành:**

- Tốc độ tróc là lớn nhất.
- Ma sát khô và giữa hai bề mặt không có lớp trung gian ngăn cách.
- Vận tốc trượt nhỏ ( $v < 0,1\text{m/s}$ ) kịp cho các nguyên tử khuếch tán.



**Hình1.9.** Đặc tính bề mặt tróc loại 1

- Áp suất tiếp xúc  $p > [p]$ , ứng với giới hạn chảy của vật liệu.

Tróc loại 1 rất nhạy cảm với hai bề mặt có cùng loại vật liệu. Tróc loại 1 chịu ảnh hưởng lớn của độ cứng bề mặt, độ cứng bề mặt tăng sẽ giảm tróc loại 1.

#### **Đặc tính bề mặt:** hình 1.9

- + Chiều sâu phá hoại:  $\delta = 0,5\text{mm}$ .
- + Nhiệt độ bề mặt:  $< 50^{\circ}\text{C}$
- + Độ bóng bề mặt:  $\nabla 3 \div \nabla 4$
- + Tốc độ phá hoại:  $10 \div 15\mu\text{m/h}$ .

#### 1.2.4.3. Tróc loại 2

**Khái niệm:** là dạng phá hoại do biến dạng vì nhiệt, làm mềm nhũn bề mặt khi nhiệt độ tăng do vận tốc trượt tăng.



**Nguyên nhân:** do ảnh hưởng vận tốc trượt làm cho nhiệt độ các bề mặt tăng cao, xảy ra sự dính kết giữa hai chi tiết ma sát và sự phá huỷ bề mặt hoặc bề mặt bị biến dạng như lún, nứt...

**Điều kiện hình thành:**

- Vận tốc trượt lớn. 25 ÷ 30m/s.
- Nếu vận tốc trượt lớn, tải lớn thì tróc loại 2 càng mãnh liệt.
- Nhạy cảm với chi tiết có nhiệt độ nóng chảy thấp.

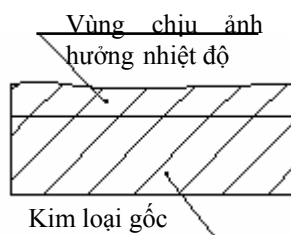
**Biện pháp chống tróc loại 2:**

- Phủ lên bề mặt ma sát 1 lớp kim loại Bo, vanadi, có khả năng chịu nhiệt độ.

- Dùng vật liệu chịu nhiệt.

Đặc tính bề mặt:

- Chiều sâu phá hoại: < 0,1mm.
- Nhiệt độ tiếp xúc: 1500<sup>0</sup>C.
- Tốc độ phá hoại: 1 ÷ 5µm/h.



Hình 1.10. Đặc tính bề mặt tróc loại 2

**1.2.4.4. Mài mòn**

**Khái niệm:** là dạng phá hoại bề mặt chi tiết do tồn tại các hạt cứng giữa hai bề mặt ma sát từ ngoài vào hoặc từ chi tiết tróc ra. Dạng phá hoại: cào xước, cắt phoi tế vi.

Có hai dạng mài mòn: mài mòn cơ học hoặc mài mòn cơ hoá.

**Điều kiện hình thành:**

Vận tốc mài là lớn nhất so với các quá trình khác. Tuy nhiên, điều kiện này không chặt chẽ trong trường hợp có cả tróc.

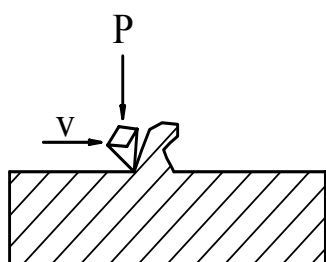
$\frac{H_m}{H_{KL}} = \frac{A_m}{A_{KL}} < 0,6$ : mài mòn cơ hoá (biến dạng dẻo tăng, không cắt phoi)

$\geq 0,6$ : mài mòn cơ học (cắt phoi tế vi)

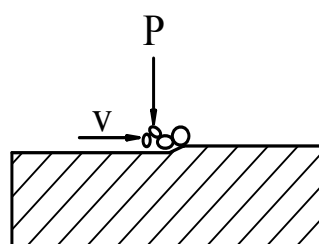
Nếu bề mặt chi tiết tiếp xúc với khối lượng lớn hạt mài thì xảy ra mài mòn cơ hoá, vì khi đó các hạt mài trượt lên nhau và trượt đi mà không có lực cắt.

**Bảng 1.3.** Đặc tính bề mặt khi mài mòn.

Mài mòn cơ học



Mài mòn cơ hoá



+ Độ bóng:	$\nabla 5\div 10$	$\nabla 7\div 12$
+ Nhiệt độ bề mặt:	$50^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C}$
+ Chiều sâu phá hoại:	$\delta = 0,2\text{mm}$	$2000\text{A}^0$
+ Tốc độ phá hoại:	$0,5\div 50\mu\text{m/h}$	$[ 0,5 \mu\text{m/h}$

#### 1.2.4.5. Mỏi

Do thay đổi tải trọng tuần hoàn trên các chi tiết, sinh ra các vết nứt tế vi. Các vết nứt này được phát triển từ bề mặt chi tiết vào kim loại gốc dẫn đến gãy do mỏi. Chi tiết điển hình là trục khuỷu.

Ví dụ: trục khuỷu động cơ D6-3D12 gãy  $40 \div 50\%$ . Kết cấu trùng điệp bằng nhôm.

Nguyên nhân: trong quá trình sửa chữa không chú ý đến kết cấu tránh ứng suất tập trung: góc lượn, hoặc trong lắp ghép do sai lệch tâm các ổ trục, tạo tải trọng làm hỏng trục bạc.

Biện pháp chống mỏi: tăng chất lượng bề mặt, mài hết các vết nứt, tránh tập trung ứng suất, bảo đảm đồng tâm lắp ráp, chống tải phụ, hạn chế tải trọng lớn đột ngột.

#### 1.2.4.6. Xâm thực

Hiện tượng rỗ, hà, sâu, sắc cạnh ở phương pháp tuyến, thường phát triển ở vùng bề mặt sạch do tác dụng của dòng chảy tại khu vực áp suất nhỏ hơn áp suất bay hơi bão hòa. Các vị trí thường gặp: trên bề mặt cánh bơm và vỏ bơm tại cửa ra, bề mặt ngoài của lót xi lanh...

Biện pháp chống xâm thực: mạ lớp kim loại cứng trên bề mặt.

### 1.2.5. Luận đề cơ bản của lý thuyết hao mòn

#### 1.2.5.1. Luận đề 1

**Cơ sở:** hao mòn do nhiều quá trình khác nhau gây ra, ký hiệu là  $P_{1,2,\dots}$ , tương ứng tốc độ quá trình  $v_{1,2,\dots}$ ,

Trong bất kỳ điều kiện ma sát nào cũng diễn ra quá trình với tốc độ lớn nhất  $v_p$ .

**Phát biểu luận đề:** “*Dạng hao mòn được quyết định bởi quá trình P, diễn ra trên bề mặt ma sát với tốc độ lớn nhất  $v_p$* ”.

**Hệ quả:** khi sự hao mòn là ổn định, tốc độ phá hoại các bề mặt làm việc (tốc độ hao mòn) không thể lớn hơn tốc độ của quá trình quyết định dạng hao mòn. Tức là:

$$v_{ph} < v_p$$

**Ý nghĩa:**

- Cơ sở xác định dạng hao mòn.
- Cơ sở để điều khiển quá trình hao mòn.
- Tránh hư hỏng, điều khiển chỉ tồn tại hao mòn ô xi hoá (dạng hao mòn có tốc độ nhỏ nhất)

**Điều kiện:**  $v_{ox} > v_{ph}$  ( $v_{ox} = v_p$ )

### 1.2.5.2. Luận đề 2

**Cơ sở:** những điều kiện của luận đề 1 mới chỉ giải quyết các vấn đề điều khiển quá trình hao mòn, nhưng không cho phép khắc phục hao mòn hư hỏng, vì vẫn còn tồn tại hao mòn ô xi hoá. Vấn đề là làm sao giảm hao mòn ô xi hoá.

**Nội dung luận đề:** "Tính chống mòn khi hao mòn ô xi hoá được quyết định bởi cường độ hình thành và tính chất các cấu trúc thứ cấp xuất hiện trong quá trình ma sát." Ở đây có thể hiểu: cấu trúc thứ cấp không chỉ là các lớp màng hình thành do kết quả tương tác giữa kim loại với ô xi mà còn là các lớp màng bảo vệ có thành phần, cấu trúc và tính chất khác nhau bề mặt kim loại tiếp xúc với ô xi.

**Ý nghĩa:** làm cơ sở để phân tích đánh giá, nghiên cứu tính chất lớp cấu trúc thứ cấp → quyết định mức độ hao mòn ô xi hoá.

**Điều kiện:**  $v_{ox} \rightarrow \min$

### 1.2.6. Biện pháp khắc phục hao mòn hư hỏng

#### 1.2.6.1. Biện pháp thiết kế:

##### Chọn loại ma sát lăn hoặc trượt:

+ Ma sát lăn: chịu tải có giới hạn, khó đảm bảo đồng tâm, dễ rơ, nhưng vận tốc trượt nhỏ, hệ số  $\mu$  nhỏ, trục ngắn.

+ Ma sát trượt:  $\mu$  lớn, trục dài, nhưng đồng tâm tốt, khó rơ, vận tốc trượt lớn.

##### Chọn hình dạng và kích thước của chi tiết:

Hình dạng và kích thước của chi tiết có ảnh hưởng đến áp lực riêng, độ bền vững, độ chịu mòn, chịu mỏi... Bởi vậy, khi thiết kế phải tăng cường hoàn thiện kết cấu, kích thước, hình dáng hình học của chi tiết, khe hở ban đầu, (piston hình ô van, séc măng không đẳng áp...).

Để đảm bảo chống hao mòn thì phải dựa vào điều kiện: áp suất bề mặt tiếp xúc nhỏ hơn giới hạn cho phép.

$$p = \frac{P}{S_{tx}} < [p]$$

p- áp suất bề mặt tiếp xúc.

P-tải trọng pháp tuyến trên bề mặt tiếp xúc

$S_{tx}$ -diện tích bề mặt tiếp xúc

Đối với trục khuỷu động cơ, xu hướng là tăng đường kính trục d để trục ngắn lại, tránh uốn, võng, động cơ gọn.

Giảm tỷ số S/D để tăng số vòng quay trục khuỷu mà không tăng vận tốc trượt của piston,

Giảm chiều cao tăng chiều dày để tăng lực bung cho séc măng.

##### Thiết kế kết cấu, phương án làm mát tốt:

+ Phân bố trường nhiệt độ hợp lý (piston).

+ Phân bố đường nước làm mát hợp lý đến từng xi lanh.

Đối lưu tự nhiên có kết: dùng cánh ngăn gió tạo chênh lệch nhiệt độ (có quạt, không có bơm).

Cường bức hờ  $50^{\circ}\text{C}$ : tổn hao nhiệt tăng, chất ăn mòn, tạp chất dễ ngưng tụ, dẫn đến hao mòn nhiều.

Cường bức kín: ổn định nhiệt.

Làm mát bằng gió:

+ Làm sạch bề mặt tản nhiệt. (xe máy)

+ Làm kín quạt gió để tăng lượng gió.

**Chọn kết cấu lọc:**

+ Không khí: lọc khô, ướt.

+ Bôi trơn: thô, tinh, ly tâm.

+ Nhiên liệu:

Động cơ Diesel yêu cầu lọc rất khắt khe để đảm bảo làm việc cho bộ đôi.

Đối với động cơ xăng: hao mòn ziclor do bảo dưỡng không đúng kỹ thuật. Lọc nhiên liệu không cho phép có van an toàn.

**Chọn phương án bôi trơn hợp lý.**

**Sử dụng lựa chọn vật liệu hợp lý.**

#### **1.2.6.2. Biện pháp công nghệ:**

Chất lượng gia công chi tiết ảnh hưởng rất lớn đến hao mòn hư hỏng của chi tiết, mạ hoặc tôi cứng bề mặt làm việc của chi tiết kết hợp với ổ đỡ phù hợp để chống mòn:

**Tăng bền bề mặt:**

+ Biến cứng nguội: phun bi, lăn, ép...

+ Nhiệt luyện: tôi, ram, nhiệt hoá, thấm C, N, kim loại

+ Mạ phủ (không dùng với chi tiết chịu tải trọng động)

**Bảo vệ bề mặt:**

Mạ phủ bề mặt để tránh ô xy hoá, tráng thiếc, chất dẻo.

**Nâng cao chất lượng gia công:**

+ Độ bóng gia công gần bằng độ bóng làm việc.

+ Độ chính xác côn, ô van.

+ Làm cùn các cạnh sắc (trừ một số trường hợp như bộ đôi bơm cao áp).

#### **1.2.6.3. Chế độ sử dụng:**

- Chế độ làm việc: phải căn cứ vào điều kiện đảm bảo ma sát bình thường:  $p < p_{th}$ ,  $v < v_{th}$ . (tránh quá tải và vượt tốc).

- Trình độ và thói quen của người điều khiển xe.

- Chăm sóc bảo dưỡng kỹ thuật kịp thời: hằng ngày định kỳ đúng lúc. Nếu dùng quá thời hạn qui định sẽ gây phá hoại, hư hỏng mãnh liệt. Không cho phép chạy cố khi chi tiết đã đạt đến kích thước giới hạn.

- Sử dụng nguyên vật liệu.

+ Động cơ xăng yêu cầu dùng xăng đúng chủng loại.

+ Dầu bôi trơn phải đảm bảo chất lượng.

+ Sử dụng dung dịch làm mát thích hợp. (xe TOYOTA dùng dung dịch làm mát màu đỏ, chống đóng cặn, chống đông).

### 1.3. HAO MÒN, HƯ HỎNG MỘT SỐ CHI TIẾT ĐIỆN HÌNH

#### 1.3.1. Hao mòn xy lanh

##### 1.3.1.1. Điều kiện làm việc

- Chịu nhiệt độ cao và biến thiên không đều:

Động cơ xăng:  $T_{max} = 2800 \text{ }^{\circ}\text{K}$

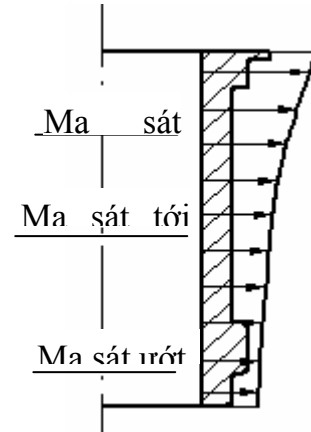
Động cơ Diesel:  $T_{max} = 2200 \text{ }^{\circ}\text{K}$

Vùng trên chịu nhiệt độ cao hơn vùng dưới và thay đổi trong một chu kỳ.

- Chịu ma sát lớn, đặc biệt đối với động cơ cao tốc. Ở khu vực sát buồng cháy thường phải chịu ma sát khô và tới hạn, vùng dưới ma sát tới hạn và ma sát ướt.

- Môi trường: sản vật cháy chứa các chất ăn mòn như:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ...kết hợp với nước tạo thành các axit.

- Chịu tải trọng lớn và thay đổi theo chu kỳ.



Hình 1.11. Qui luật phân bố áp suất khí thể trên xi lanh

Ma sát giữa séc măng và xi lanh phụ thuộc vào lực ép của séc măng lên xi lanh:

$$P_{xi} = P_x + k_i P_{kt}$$

$P_{xi}$ -lực của séc măng thứ i tác dụng lên xi lanh

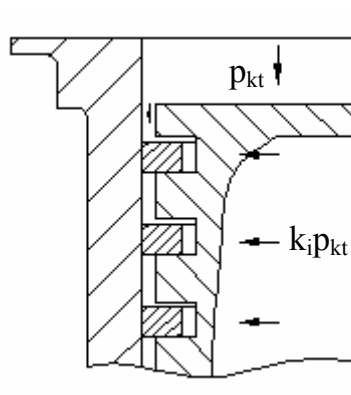
$P_x$ -lực bung hướng kính của séc măng

$P_{kt}$ -lực khí thể

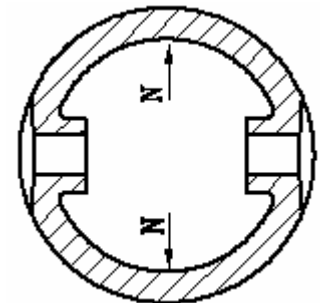
$$k_1 = 0,7 \text{ } 4 \text{ } 0,8$$

$$k_2 = 0,1 \text{ } 4 \text{ } 0,15$$

$$k_3 = 0,05 \text{ } 4 \text{ } 0,08$$

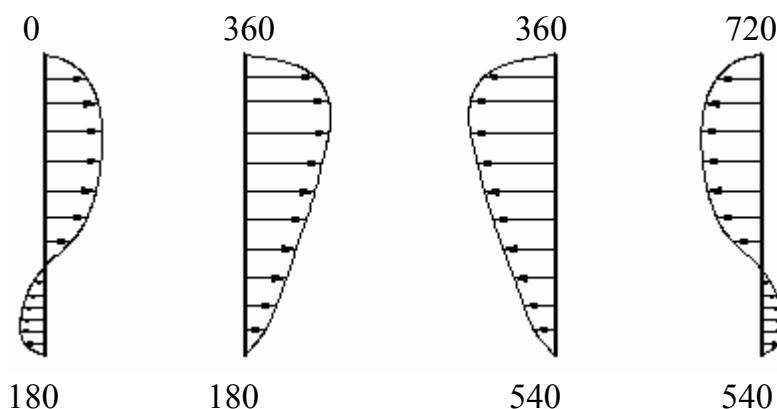


Hình 1.12. Áp lực séc măng tác dụng lên xi lanh



Hình 1.13. Phương của lực ngang tác dụng lên xi lanh

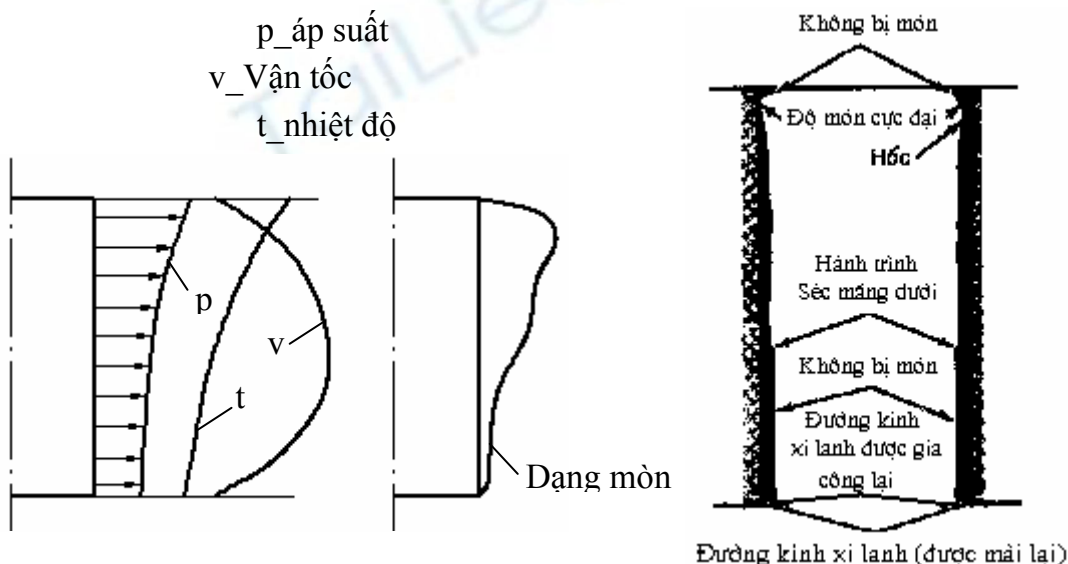
Piston ép lên xi lanh theo phương vuông góc bề mặt về 2 phía do lực ngang N. Sự biến thiên của lực ngang N theo chiều cao của xi lanh và theo góc quay của trục khuỷu được biểu diễn như hình 1.14.



Hình 1.14. Áp suất (do N) tác dụng lên thành xi lanh theo các

Vận tốc trượt do tiếp xúc giữa séc măng và thân piston thay đổi lớn. Hao mòn của xi lanh tỷ lệ thuận với lực, vận tốc trượt, nhiệt độ. Đó là hao mòn có qui luật.

### 1.3.1.2. Hao mòn xy lanh theo phương dọc trục



Hình 1.15. Dạng mòn hướng trục của xi lanh

### 1.3.1.3. Hao mòn theo phương hướng kính

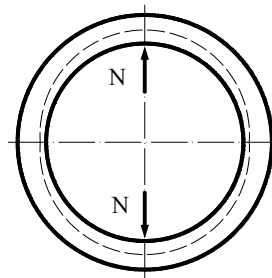
Theo phương lực ngang N xi lanh bị mòn nhiều nhất dọc theo chiều trục.

### 1.3.1.4. Hao mòn không theo qui luật

Trong vùng nhiều bụi, khoảng giữa xi lanh mòn nhiều do bụi (hạt mài tỷ lệ với vận tốc trượt). Bụi càng nhiều qui luật mòn càng tăng về phía dưới.

- Mòn nhiều theo phương vuông góc lực ngang N thì lý do là piston bị nghiêng.

- Đối với động cơ xăng: vùng đối diện xupáp nạp thường mòn nhiều, lý do là khí nạp rửa sạch màng dầu bôi trơn hoặc do ngưng tụ sản phẩm gây mòn.



Hình 1.16. Dạng hao mòn hướng kính của xi lanh

## 1.3.2. Hao mòn trục khuỷu

### 1.3.2.1. Điều kiện làm việc

- Trục khuỷu làm việc trong điều kiện bôi trơn ma sát ướt, nhưng có khi ma sát khô hoặc tới hạn (lúc khởi động hoặc tắt máy, tăng giảm đột ngột vận tốc góc, khi khe hở trục bạc lớn).

- Chịu nhiệt độ từ  $150\div 250^{\circ}\text{C}$ , do nhiệt truyền từ buồng cháy qua piston thanh truyền hoặc do bản thân ma sát giữa trục và bạc

- Chịu ma sát lớn.

- Tải trọng biến thiên, có tính chất va đập và phân bố không đều.

- Vận tốc trượt khá lớn:  $5\div 10\text{m/s}$ .

- Chịu mài mòn: do lọc dầu không sạch hoặc do các hạt mài.

### 1.3.2.2. Hao mòn trục khuỷu có qui luật

Hao mòn, hư hỏng bình thường do qui luật làm việc của trục khuỷu.

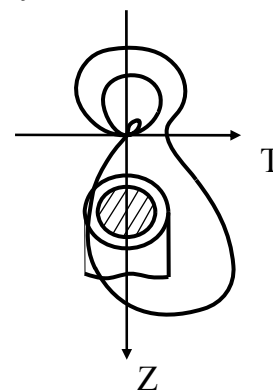
Theo đồ thị hình 1.17 vùng trên số lần tác dụng ít, vùng dưới tác dụng nhiều. Dưới tác dụng của lực ly tâm các cổ trục của trục khuỷu nhiều xi lanh chịu phụ tải không đều.

Động cơ xăng lượng hao mòn khác động cơ diesel, nhưng định tính như nhau.

Động cơ 1 xi lanh mòn cổ chính bằng  $1/2$  lượng mòn cổ biên.

Động cơ nhiều xi lanh cổ giữa thường mòn nhiều hơn.

Tiếp xúc trục bạc, nếu có hạt mài thì hạt mài đọng lại gây hao mòn ở giữa nhiều hơn.



Hình 1.17. Đồ thị lực tác dụng lên chốt khuỷu

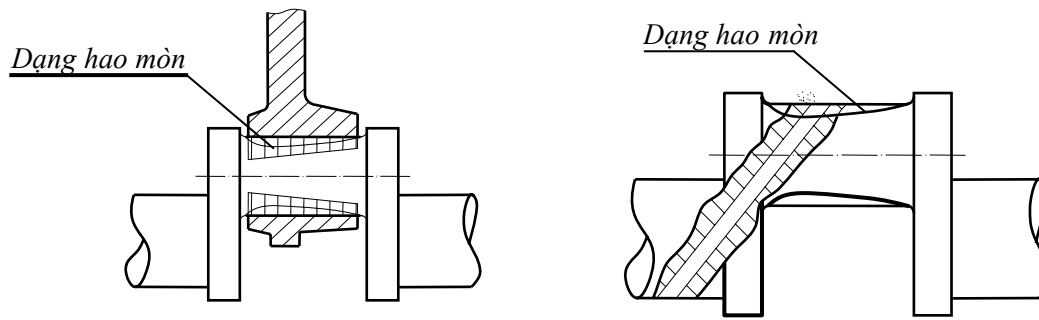
Giả sử hao mòn tỷ lệ thuận với lực tác dụng (áp lực) và thời gian (số lần) tác dụng của nó thì qui luật hao mòn của chốt khuỷu và cổ trục chính của động cơ xăng khác động cơ diesel. Sở dĩ vậy, là vì đồ thị phụ tải tác dụng lên chốt khuỷu của hai loại động cơ này là khác nhau:

- Động cơ xăng cao tốc: phần đầu to lực quán tính lớn và tác dụng nhiều lần, phần đuôi mặc dù có trị số lớn hơn, nhưng chỉ một lần tác dụng. Do đó, chốt khuỷu mòn phía dưới nhiều hơn và cổ trục chính mòn phía trên nhiều hơn.

- Động cơ diesel vận tốc góc không lớn lắm nhưng áp suất lớn, nên đồ thị lực tác dụng lên chốt khuỷu có đầu nhỏ đuôi to. Điều đó bù trừ với số lần tác dụng lực. Do đó chốt khuỷu và cổ trục chính mòn đều hơn

### 1.3.2.3. Hao mòn trục khuỷu không có qui luật

Hao mòn, hư hỏng không bình thường, do các dạng kết cấu đặc biệt của trục khuỷu.



Hình 1.18. Hao mòn trục khuỷu không qui luật

- Do thanh truyền chế tạo lệch tâm nên phân bố lực không đều (dạng hình thang). Do đó, hao mòn không đều.

- Khoan lỗ dầu không hợp lý: do quán tính ly tâm mà các cặn dầu bám vào thành và đem sang phía trái (hình 1.18). Vì vậy, ở phía trái chốt khuỷu mòn nhiều hơn ở phía phải.

#### 1.3.2.4. Hông do môi

Xuất hiện các vết nứt tế vi ở nơi tập trung ứng suất: góc lượn, cạnh sắc lỗ dầu... Dưới tác dụng của tải trọng biến thiên và đổi chiều mà các vết nứt tế vi dần phát triển lớn lên đến lúc làm gãy trục, vết gãy phẳng. Thường xảy ra đối với các trục khuỷu:

- Có kết cấu không hợp lý:  $\varepsilon = 0$  (không có độ trùng điệp). Ví dụ: động cơ D6-3D12 (gãy 40÷50%).

- Có quá trình gia công sửa chữa không đúng: không có góc lượn hoặc góc lượn không đúng, không làm cùn các cạnh sắc của lỗ dầu.

- Chế độ sử dụng không tốt: thay đổi tải đột ngột.

- Lắp ráp không tốt: các cổ trục không đồng tâm gây tải trọng phụ trong quá trình sử dụng.

#### 1.3.3. Hao mòn séc măng

##### 1.3.3.1. Điều kiện làm việc

- Chịu nhiệt độ cao: trong quá trình làm việc, séc măng trực tiếp tiếp xúc với khí cháy, do piston truyền nhiệt cho xi lanh qua séc măng và do ma sát với vách xi lanh nên séc măng có nhiệt độ cao, nhất là séc măng thứ nhất. Khi séc măng khí bị hở, không khít với xi lanh, khí cháy thổi qua chỗ bị hở làm cho nhiệt độ cục bộ vùng này tăng lên rất cao, có thể làm cháy séc măng và piston. Nhiệt độ của séc măng khí thứ nhất 623÷673K, các séc măng khí khác 473÷523K, séc măng dầu 373÷423K. Do nhiệt độ cao, sức bền cơ học bị giảm sút, séc măng dễ bị mất đàn hồi, dầu nhờn dễ bị cháy thành keo bám trên séc măng và xi lanh, làm xấu thêm điều kiện làm việc, thậm chí làm bó séc măng.

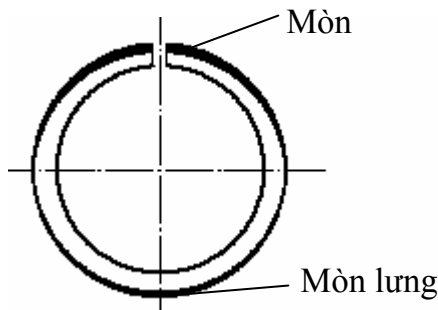
- Chịu lực va đập lớn: khi làm việc, lực khí thể và lực quán tính tác dụng lên séc măng, các lực này có giá trị rất lớn, luôn thay đổi về trị số và chiều tác dụng nên gây ra va đập mạnh giữa séc măng và rãnh séc măng.

- Chịu mài mòn: khi làm việc, séc măng ma sát với vách xi lanh rất lớn. Công ma sát của séc măng chiếm đến 50÷60% toàn bộ công tổn thất cơ giới của động cơ đốt

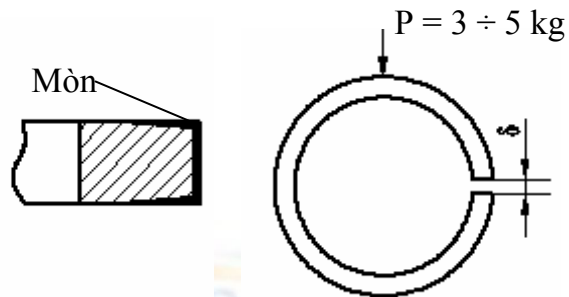


trong. Séc măng sở dĩ ma sát lớn và mài mòn nhiều (nhất là séc măng khí thứ nhất) là do áp suất tiếp xúc của séc măng tác dụng lên vách xi lanh lớn, tốc độ trượt lớn mà bôi trơn lại rất kém, bị ăn mòn hoá học và mài mòn bởi các tạp chất sinh ra trong quá trình cháy hoặc có lẫn trong khí nạp và trong dầu nhờn.

### 1.3.3.2. Hao mòn séc măng



Hình 1.19. Hao mòn séc măng



Hình 1.20. Kiểm tra lực bung của séc măng

- Séc măng hao mòn ở phần miệng và phần lưng là nhiều nhất, hình 1.19. Đối với séc măng ô tô máy kéo khi khe hở miệng  $\delta = 1,5 \div 2\text{mm}$  thì loại bỏ.

- Mòn theo chiều cao chủ yếu mòn ở các góc.

Khi mòn nhiều lực bung giảm kiểm tra như hình 1.20.

Thử bề dày séc măng: lăn trong rãnh séc măng không đảo là được.

## **CHƯƠNG 2** **KINH TẾ VẬN HÀNH Ô TÔ**

### **2.1. CÁC CHỈ TIÊU KINH TẾ VẬN HÀNH Ô TÔ**

#### **2.1.1. Định nghĩa**

Là tổ hợp các thông số đặc trưng cho khả năng hoạt động của ô tô. Những thông số này được thể hiện dưới dạng các hệ số.

Quá trình vận chuyển: gồm toàn bộ các công việc để đưa hàng hoá từ nơi này đến nơi khác như: cân đong, đo đếm, bốc dỡ, vận chuyển...

Độ dài vận chuyển: khoảng cách xe đi có hàng.

Khối lượng vận chuyển: đo bằng tích khối lượng hàng hoá hoặc hành khách với quãng đường vận chuyển (T.km hay hành khách.km).

#### **2.1.2. Các hệ số thời gian sử dụng**

##### **Hệ số ngày xe tốt $\alpha_T$ :**

Đại lượng đánh giá thời gian xe ở tình trạng tốt có thể hoạt động được so với số ngày theo lịch thời gian.

Đối với một xe:  $\alpha_T = \frac{D_t}{D_l}$ .

$D_t$ - ngày xe tốt.

$D_l$ - ngày xe theo lịch.

Đối với cả đoàn xe

$$\alpha_T = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ti}}{\sum_{i=1}^n D_{li}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ti}}{n \cdot D_l} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{Ti}}{n}$$

Những yếu tố ảnh hưởng đến  $\alpha_T$ :

- Khoảng cách vận chuyển.
- Điều kiện đường xá.
- Trình độ lái xe.
- Cấu tạo và chất lượng xe, độ tin cậy, độ bền của xe.

Đối với xe tải  $\alpha_T = 0.75 - 0.9$ , xe du lịch  $\alpha_T = 0.9 - 0.96$

##### **Hệ số ngày xe hoạt động $\alpha_{hd}$ :**

Đánh giá thực tế sử dụng xe.

Đối với một xe:  $\alpha_{hd} = \frac{D_{hd}}{D_l - D_n}$ .

$D_{hd}$ -ngày xe hoạt động.

$D_n$ -ngày xe nghỉ lễ.

Đối với một đoàn xe:

$$\alpha_{hd} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{hdi}}{\sum_{i=1}^n (D_{li} - D_{ni})} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{hdi}}{n \cdot (D_l - D_n)} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{hdi}}{n}$$

##### **Hệ số sử dụng phương tiện $\alpha_{sd}$ :**

$$\alpha_{sd} = \frac{D_{hd}}{D_1} = 0.5 - 0.9$$

**Hệ số sử dụng thời gian trong ngày  $\rho$ :**

$$T_h + T_n = 24$$

Trong đó  $T_h$ ,  $T_n$  là số giờ xe hoạt động trong ngày và số giờ xe nghỉ trong ngày (giờ).  $T_h$  bao gồm giờ xe chạy, tổ chức, bốc xếp.

$$\rho = \frac{T_h}{24}$$

Đối với đoàn xe:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n T_{hi}}{24n} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$$

**Hệ số sử dụng thời gian làm việc  $\delta$ :**

$$\delta = \frac{T_{ch}}{T_h}$$

### 2.1.3. Hệ số sử dụng quãng đường

Quãng đường xe chạy có tải:  $L_T$  (km)

Quãng đường xe chạy không tải:  $L_{KT}$  (km)

Quãng đường xe chạy sau một khoảng thời gian:  $L$  (km)

Hệ số sử dụng quãng đường:

$$\beta = \frac{L_T}{L}$$

$$\text{Đối với đoàn xe: } \beta = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Ti}}{\sum_{i=1}^n L_i} \text{ nói chung } \beta < 1 \text{ vì tùy thuộc kho bãi.}$$

**Hệ số chạy không:**

$$\omega = \frac{L_{KT}}{L}$$

$$\text{Đối với đoàn xe: } \omega = \frac{\sum_{i=1}^n L_{KTi}}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

### 2.1.4. Hệ số sử dụng tải trọng

Tỷ số giữa khối lượng vận chuyển thực tế với khối lượng vận chuyển định mức:

$$\gamma = \frac{u}{q.L_T}$$

Trong đó:  $u$  là khối lượng vận chuyển thực tế (T.km).

$q$  là tải trọng định mức (T)

$$\gamma = \frac{\sum^n u_i}{\sum^n q_i \cdot L_{Ti}}$$

Đối với xe khách tính bằng hệ số xếp đầy:

$$\gamma_K = \frac{N_K}{N_{\text{âm}}} \text{ (tỷ số giữa số khách thực tế và số khách định mức).}$$

### 2.1.5. Tốc độ vận chuyển

Tốc độ kỹ thuật:

$$v_{KT} = \frac{L}{T_{ch}} \text{ (km/h)}$$

Qui định:

Trong thành phố	19 - 22 km/h với xe không có móc Dưới 19 km/h với xe có móc
Ngoài thành phố	30 - 40 km/h với xe không có móc 25 - 35 km/h với xe có móc.

Tùy theo đặc điểm đường xá mà qui định tốc độ kỹ thuật.

Tốc độ sử dụng là tốc độ trung bình sau thời gian xe làm nhiệm vụ:

$$v_{Sd} = \frac{L}{T_h} \text{ chú ý rằng } \delta = \frac{v_{Sd}}{v_{KT}} = \frac{T_{ch}}{T_h}$$

### 2.1.6. Năng suất vận chuyển

Khối lượng hàng hoá hay hành khách vận chuyển sau một đơn vị thời gian.

$$W = \frac{u}{T_h}$$

Đối với đoàn xe:

$$W = \frac{\sum^n u}{\sum^n T_h}$$

$$\sum^n u = \gamma_T \sum^n q_i L_{Ti} = \beta \gamma_T \sum^n q_i L_i$$

Mặt khác  $\sum^n L_i = \sum^n T_{chi} v_{KTi}$

Tổng số giờ xe chạy :  $\sum^n T_{chi} = 24 \alpha_n \rho \delta \sum^n D_{li}$

Do đó:  $\sum^n L_i = 24 \alpha_{sd} \cdot \rho \cdot \delta \cdot v_{KT} \cdot \sum^n D_{li}$

Suy ra:  $\sum^n u_i = 24 \alpha_{sd} \cdot \rho \cdot \delta \cdot v_{KT} \cdot \beta \cdot \gamma_T \cdot q \sum^n D_{li}$