

# **LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC**

Tên đề tài :  
**NGHIÊN CỨU VỀ MA SÁT VÀ MÀI MÒN CỦA  
SÉC MĂNG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY**

**Chuyên ngành :**  
**Khai thác , vận hành máy tàu thủy**

**Mã số : 2-03-05**

Người thực hiện : KS Bùi Xuân Lâm  
Người hướng dẫn : PGS-PTS Nguyễn Văn Thêm

Thành phố Hồ Chí Minh năm 1997

## MỤC LỤC

Mục	Trang
Lời nói đầu	3
Lời cảm tạ	5
Tóm tắt bằng tiếng Anh	6
<b>Phần 1 : <i>Tổng quan về ma sát và mài mòn của séc măng động cơ diesel tàu thủy</i></b>	7
Chương 1 :Ma sát của séc măng và sơ mi xi lanh trong động cơ diesel tàu thủy	8
1.Điều kiện làm việc của secmăng	8
1.1.Điều kiện làm việc	8
1.2.Hệ lực tác động lên secmăng	9
2.Những đánh giá về cặp ma sát secmăng-xilanh trong động cơ diesel tàu thủy	11
2.1.Đặc điểm	11
2.2.Chế độ ma sát	12
2.3.Hệ số ma sát	12
Chương 2 :Mòn của séc măng động cơ diesel tàu thủy	18
1.Tổng quan một số công trình nghiên cứu về mòn và tuổi thọ secmăng động cơ diesel	18
2.Biểu đồ áp suất secmăng - quan hệ độ mòn	31
2.1.Quan hệ giữa biểu đồ áp suất và mòn của secmăng	31
2.2.Một phương pháp xác định biểu đồ áp suất của secmăng	32
2.3.Kết quả biểu đồ áp suất của một loại secmăng	36
3.Quan hệ mòn và vận tốc trượt	36
4.Quan hệ mòn với vật liệu chế tạo , công nghệ chế tạo	37
4.1.Vật liệu chế tạo , công nghệ chế tạo	37
4.2.Khảo sát tính chống mòn của vật liệu secmăng	40
5.Quan hệ mòn - bôi trơn	40
5.1.Bôi trơn xilanh động cơ có patanh bàn trượt	41
5.2.Bôi trơn động cơ không có patanh bàn trượt	42
5.3.Thay thế và lựa chọn dầu nhờn	43
5.3.1. Thay thế	43
5.3.2.lựa chọn	44
6.Một số kết luận	46
<b>Phần 2 : <i>Mòn và tuổi thọ séc măng động cơ diesel tàu thủy</i></b>	47
Chương 3 : Phương pháp đo mòn nhanh nhờ chuẩn nhân tạo	48
1.Giới thiệu phương pháp khoét vết lõm	48
2.Đánh giá độ chính xác của phương pháp khoét vết lõm	51

3.Xác định độ mòn tại từng điểm của secmãng	70
Chương 4 : Dự báo tuổi thọ séc măng động cơ diesel tàu thủy	72
1.Tính tuổi thọ theo cường độ mòn tuyến tính không thứ nguyên	72
1.1.Cơ sở tính toán	72
1.2.Ứng dụng	73
2.Tính tuổi thọ secmãng theo xác suất không hỏng do mòn	75
2.1.Đặt vấn đề	75
2.2.Phân tích xác suất quá trình mòn	75
2.3.Tính tuổi thọ theo xác suất không hỏng do mòn	76
2.4.Ứng dụng với secmãng động cơ diesel tàu thủy	77
Kết luận	80
Tài liệu tham khảo	81
Tóm tắt lý lịch	84
Phụ lục	85

## LỜI NÓI ĐẦU

Hiện tượng ma sát đã được nghiên cứu từ rất lâu, các lý thuyết về ma sát ngày càng được hoàn thiện. Việc nghiên cứu về ma sát và mài mòn đem lại những lợi ích rất lớn từ việc tìm ra những giải pháp tối ưu cho việc nâng cao tuổi thọ của các thiết bị. Trong những năm gần đây, nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng Tribology-Khoa học về ma sát vào từng lĩnh vực cụ thể đã đạt được những thành công về cả lý thuyết lẫn thực tiễn.

Trong ngành hàng hải cũng như trong nhiều ngành công nghiệp khác, động cơ diesel đóng vai trò quan trọng không thể thiếu được. Việc nghiên cứu về mòn cũng như nắm được bản chất và qui luật của quá trình mòn sẽ giúp nâng cao được tuổi thọ của các chi tiết làm việc trong động cơ diesel. Secmăng là một trong những chi tiết quan trọng trong động cơ, nhưng cũng là một trong những chi tiết mau mòn, chóng hỏng nhất. Chất lượng làm việc và tuổi thọ của secmăng ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của động cơ.

Sau thời gian học tập, nghiên cứu, được sự đồng ý của khoa sau đại học trường Đại học Hàng hải, được sự định hướng, hướng dẫn của PGS-PTS NGUYỄN VĂN THÊM, tôi đã chọn đề tài tốt nghiệp cho mình là: "Nghiên cứu về ma sát và mài mòn của secmăng động cơ diesel tàu thủy".

Nội dung đề tài gồm 2 phần chính:

\*Phần 1: "Tổng quan về ma sát và mài mòn của secmăng động cơ diesel tàu thủy".

Phần này gồm có 2 chương:

-Chương 1: Ma sát của cặp ma sát secmăng-xilanh động cơ diesel.

Trong chương này, người viết đã nêu tóm tắt về đặc điểm, chế độ ma sát và hệ số ma sát của cặp ma sát secmăng-xilanh, nêu bật tính chất khắc nghiệt về chế độ ma sát của cặp ma sát này.

-Chương 2: Mòn của secmăng động cơ diesel tàu thủy.

Trong chương này, người viết nêu tổng quan một số công trình nghiên cứu về mòn của secmăng động cơ diesel, những yếu tố ảnh hưởng đến mòn của secmăng. Cũng trong phần này, người viết nêu ra một phương pháp xác định biểu đồ áp suất của secmăng thuận tiện trong điều kiện nước ta đó là phương pháp dùng vòng mềm.

\*Phần 2: "Mòn và tuổi thọ của secmăng động cơ diesel tàu thủy".

Phần này gồm có 2 chương:

-Chương 3: Phương pháp đo mòn nhanh nhờ chuẩn nhân tạo.

Trong chương này, người viết nêu một phương pháp đo mòn nhanh chóng, chính xác bằng cách khoét các vết lõm trên bề mặt ma sát (tạo chuẩn nhân tạo). Nêu lên những sai số có thể mắc phải của phương pháp, từ đó có thể đánh giá độ chính xác của phương pháp. Cũng trong chương này, nêu ứng dụng của phương pháp khoét vết lõm vào việc đo mòn secmăng động cơ diesel. Người viết đã thiết kế một dụng cụ cắt chuyên dùng, dùng để khoét vết lõm trên mặt lưng của secmăng phục vụ cho việc đo mòn secmăng.

-Chương 4: Dự báo tuổi thọ của secmăng động cơ diesel tàu thủy.

Trong chương này ,người viết nêu ra hai phương pháp tính tuổi thọ của secmăng. Phương pháp thứ nhất là dự báo tuổi thọ của secmăng theo cường độ mòn tuyến tính . Phương pháp thứ hai là dự báo tuổi thọ của secmăng theo xác suất không hỏng do mòn . Cũng trong chương này người viết đã nêu lên được những ưu điểm của việc áp dụng lý thuyết xác suất vào tính tuổi thọ của secmăng (phương pháp thứ hai ) so với phương pháp thứ nhất .

Để phục vụ tính toán , tác giả đã lập trình cho máy vi tính (ngôn ngữ PASCAL ) để tính tuổi thọ theo cả hai phương pháp trên , đã tạo tập tin dữ liệu LAPLATCE.DAT lưu giữ các giá trị hàm LAPLATCE phục vụ cho tính toán trong chương trình chính . Chương trình được trình bày ở phần phụ lục có tên là TUOITHO và đã được biên dịch ra ngôn ngữ máy để chạy trực tiếp từ DOS .

Sau thời gian gần 4 tháng , với sự hướng dẫn nhiệt tình của PGS-PTS NGUYỄN VĂN THÊM , luận án đã hoàn thành . Tuy vậy , chắc chắn không thể tránh khỏi những thiếu sót , tác giả rất mong nhận được sự chỉ giáo , hướng dẫn thêm của các thầy và các bạn đồng nghiệp .

8/1997

Tác giả

BÙI XUÂN LÂM

## LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình theo học ở bậc Cao học và thực hiện Luận án tốt nghiệp chúng tôi xin trân trọng cảm ơn các đơn vị và cá nhân đã tận tình giúp đỡ :

-Ban giám hiệu , khoa đào tạo sau đại học trường Đại học Hàng hải Việt Nam

-Ban giám đốc , phòng đào tạo phân hiệu ĐH hàng hải TP Hồ Chí Minh.

-Phân khoa máy tàu thủy , phân hiệu ĐH hàng hải TP Hồ Chí Minh .

-PGS-PTS Nguyễn Văn Thêm , trường ĐH Sư phạm kỹ thuật -TP Hồ Chí Minh.

-PGS-PTS Hoàng Đình Tín , trường ĐH Kỹ thuật - TP Hồ Chí Minh .

-PTS Trịnh Thị Minh Liên , phân hiệu ĐH hàng hải -TP Hồ Chí Minh .

-KS-Máy trưởng Nguyễn Văn Sơn , phân khoa máy , phân hiệu ĐH hàng hải .

-Cô Nguyễn Minh Thư , phân khoa cơ sở cơ bản , phân hiệu ĐH hàng hải .

- Gia đình , các bạn đã giúp đỡ cả về vật chất lẫn tinh thần .

Cùng toàn thể các thầy , cô đã giảng dạy lớp cao học ngành khai thác , vận hành máy tàu thủy tại trường ĐH hàng hải .

Tác giả

Bùi Xuân Lâm

## Summary in English .

The thesis has performed main problems :

- Generally introducing about researches of friction and wear of piston ring .
  - Introducing a method to define easily the pressure figure of piston ring by using a flexible ring .
  - Introducing a method to define accurately the wear of piston ring : making artificial scratches on the surface of detail . Via defining the change of the length of scratches , can define accurately the wear of detail . We have designed an equipment for making scratches on the surface of piston ring .
  - Applying theory of chances for predicting the working duration of piston ring
- The base of this method is : wear is a random process . We have made a computing program for solving problem . The program is named TUOITHO in the appendix of this thesis .

## **PHẦN 1**

# **TỔNG QUAN VỀ MA SÁT VÀ MÀI MÒN CỦA SECMĂNG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY**

# CHƯƠNG 1

## MA SÁT CỦA SÉCMĂNG VÀ SƠ MI XILANH TRONG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

### 1. Điều kiện làm việc của sécmăng :

#### 1.1. Điều kiện làm việc :

Trong động cơ diesel thường có hai loại sécmăng là sécmăng khí và sécmăng dầu lắp trong các rãnh của piston.

Sécmăng khí lắp ở phía trên gần với buồng đốt, chủ yếu để bao kín, ngăn cách buồng đốt với cacte.

Sécmăng dầu lắp ở phía dưới dùng để ngăn không cho dầu nhờn lên buồng cháy, gạt dầu bám trên thành xilanh trở về cacte, tạo ra lớp màng dầu bôi trơn trên thành xilanh. Trong quá trình hoạt động của động cơ, sécmăng phải làm việc trong điều kiện :

- Nhiệt độ cao : Nhiệt độ có thể đạt đến  $220^{\circ}\text{C} \div 280^{\circ}\text{C}$  với sécmăng trên cùng và  $180^{\circ}\text{C} \div 240^{\circ}\text{C}$  đối với các sécmăng khí thứ 2 và thứ 3,  $110^{\circ}\text{C} \div 150^{\circ}\text{C}$  với các sécmăng còn lại. Việc làm mát sécmăng rất bị hạn chế vì chỉ có thể tản nhiệt qua vách xilanh ở nhiệt độ  $100^{\circ}\text{C} \div 160^{\circ}\text{C}$  và một phần nhỏ (khoảng 5%) qua dầu bôi trơn.

- Chịu áp suất và va đập lớn : Áp suất cháy cực đại Pz trong quá trình cháy có thể đạt đến  $60 \div 70 \text{ kG/cm}^2$  qua khe hở giữa piston với xilanh và khe hở giữa rãnh piston với sécmăng, tác động vào các sécmăng. Tần số dao động của áp suất có thể đạt tới  $25 \div 30 \text{ Hz}$  và phụ thuộc vào tốc độ quay của trục khuỷu. Theo hướng trục sécmăng chuyển động tịnh tiến đi lại cùng với piston cũng với tần số đó, vì vậy ở sécmăng có cả dao động hướng kính lẫn hướng trục.

- Tốc độ trượt giữa sécmăng với xilanh biến thiên theo chu kỳ, nó dao động từ giá trị 0 đến giá trị cực đại, người ta có thể tính trị số trung bình của tốc độ trượt bằng công thức  $C_m = \frac{1n}{30} \left( \frac{m}{s} \right)$  ( l : hành trình piston (m) , n vòng quay của trục cơ (v/ph ) )

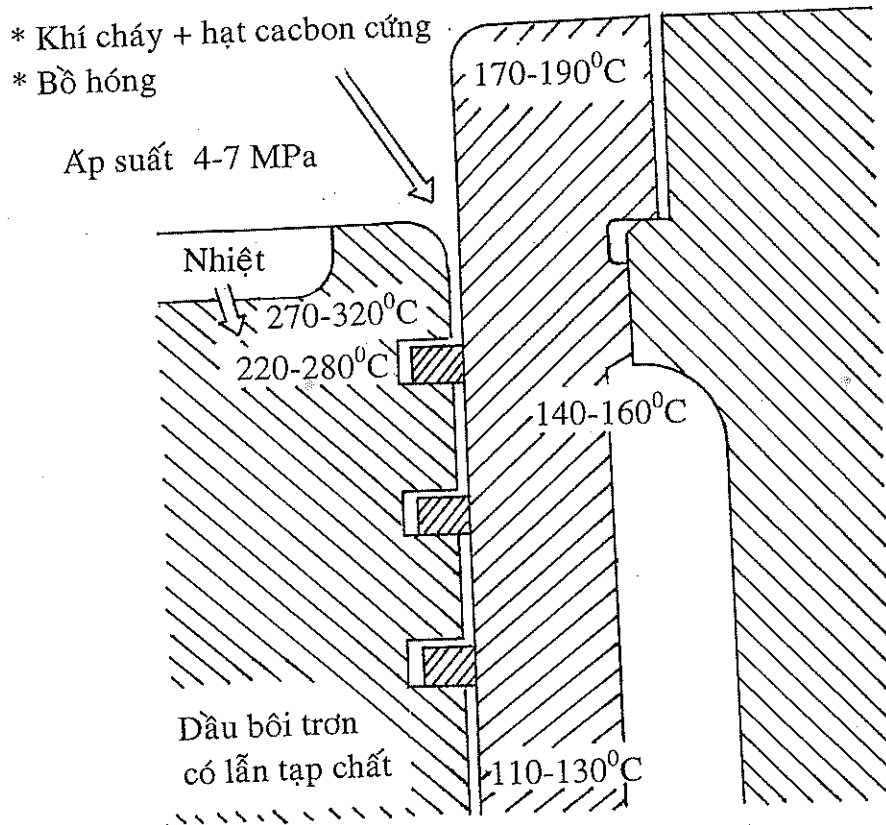
- Chịu tác dụng ma sát và mài mòn do hạt mài. Trong quá trình làm việc, ở vùng tiếp xúc giữa sécmăng và xilanh, giữa sécmăng và rãnh piston luôn có các hạt mài ở nhiều nguồn khác nhau như : bụi ở đường nạp không khí, các sản phẩm cháy (bồ hóng, hạt cacbon cứng), các tạp chất cứng có trong nhiên liệu và dầu nhờn, các mảnh vật liệu mòn tách ra trên bề mặt ma sát ... các hạt mài này gây cào xước bề mặt làm việc của sécmăng cũng như của mặt gương xilanh.

- Chịu ăn mòn hóa học bởi các sản phẩm của khí cháy, một số chất gây ăn mòn trong không khí nạp, trong dầu nhờn và nhiên liệu.

- Tình trạng bôi trơn hạn chế, đặc biệt là đối với secmăng khí trên cùng, tại khu vực gần với điểm chết trên, lớp màng dầu bôi trơn gần như không hình thành được vì vậy chế độ ma sát giữa lưng secmăng và mặt gương xilanh ở khu vực này là chế độ ma sát giới hạn và luôn có nguy cơ trở thành ma sát không bôi trơn (ma sát khô).

- Secmăng luôn luôn chịu uốn với ứng suất uốn khá lớn.

Hình vẽ mô tả điều kiện làm việc của secmăng :



Hình 1.1

## 1.2. Hệ lực tác động lên secmăng :

Trong quá trình làm việc hệ lực tác dụng lên secmăng bao gồm :

### 1.2.1. Lực hướng trục :

\* **Áp suất khí** : trên hai mặt đầu của secmăng có áp suất khí tác động, áp suất này thay đổi theo chu kỳ làm việc của động cơ. Ở mặt đầu trên của secmăng áp suất khí tác dụng là Pt nén secmăng áp sát vào mặt dưới hay mặt trên của rãnh piston tùy vào hành trình.

\* **Lực ma sát** : Theo hướng chuyển động của piston, lực ma sát giữa lưng secmăng và xilanh cũng luôn đổi chiều.

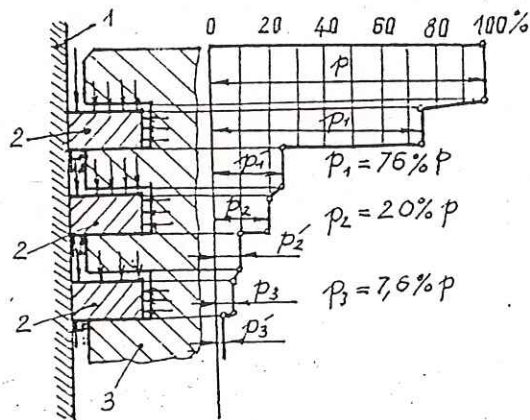
\* **Lực quán tính** : Tốc độ chuyển động tịnh tiến của secmăng luôn luôn thay đổi, vì vậy có lực quán tính tác động vào nó. Đặc biệt lực quán tính sẽ đạt giá trị cực đại tại các vị trí ĐCT và ĐCD vì tại các vị trí đó secmăng đổi chiều chuyển động.

\* **Áp suất dầu bôi trơn  $P_b$**  : Trong quá trình động cơ làm việc piston và secmăng chuyển động trong xilanh tạo ra hiệu ứng “bơm” dầu, chính vì hiệu ứng này mà phần lực hướng trục phải kể đến áp suất dầu bôi trơn tác động lên secmăng. Áp suất  $P_b$  lớn nhất khi secmăng ép lên mặt dưới của rãnh piston có lớp màng dầu trên đó.

### 1.2.2. Lực hướng kính :

\* **Lực đàn hồi của xecmăng  $P_E$**  : Khi lắp secmăng vào xilanh, secmăng bị uốn và sinh ra lực đàn hồi tác dụng qua mặt trụ ngoài của secmăng (lưng secmăng). Áp suất sinh ra do lực đàn hồi này gọi là áp suất riêng của secmăng.

\* **Áp suất khí** : áp suất khí không chỉ tác động vào secmăng theo hướng trục mà còn tác động theo hướng kính (Hình 1.1). Tùy theo mức độ kín khít của secmăng với xilanh và vị trí của từng secmăng trên piston mà áp suất khí có trị số khác nhau. Trên hình 1.2 mô tả mối quan hệ giữa áp suất khí lên secmăng tương ứng với vị trí của nó.



1.Vách xilanh ,2.Séc măng ,3.Piston

Hình 1.2

\* **Lực ma sát trên mặt đầu của secmăng** : Do chuyển động tương đối của secmăng trong rãnh piston nên có lực ma sát động xuất hiện giữa các mặt đầu của secmăng và rãnh piston.

## **2. Những đánh giá về cặp ma sát secmăng - xilanh trong động cơ diesel tàu thủy :**

Từ việc tìm hiểu về điều kiện làm việc của secmăng , nghiên cứu hệ lực tác dụng lên secmăng , ta có thể thấy rằng secmăng của động cơ diesel làm việc trong điều kiện rất khắc nghiệt, chịu tác động của nhiều yếu tố (cơ, nhiệt, hóa học...), giới hạn ở cặp ma sát lưng secmăng - xilanh , người viết xin nêu những đánh giá về cặp ma sát này :

### **2.1. Đặc điểm :**

\* Cặp ma sát secmăng - xilanh là cặp ma sát tịnh tiến - đảo chiều do tính chất chuyển động chu kỳ của piston trong xilanh. Đây là điều kiện bất lợi thứ nhất của secmăng trong khi làm việc. Sự thay đổi phương chuyển động sẽ làm giảm độ bền mòn của cặp ma sát ( Theo kết quả nghiên cứu của V . Đ - Epđôkimov)[1]. Trong trường hợp đảo chiều, sự biến cứng lớp bề mặt sẽ lớn hơn so với ma sát một chiều ở giai đoạn đầu. Sự biến dạng đối dấu làm suy giảm cấu trúc vi mô và tăng cường các quá trình mỏi.

\* Cặp ma sát secmăng - xilanh làm việc trong môi trường khắc liệt và hết sức khó khăn:

- Nhiệt độ cao tại các bề mặt ma sát, đặc biệt là đối với secmăng khí trên cùng nhiệt độ có thể đạt đến  $280^{\circ}\text{C}$ , nhiệt độ cao là một bất lợi lớn đối với sự làm việc của các cặp ma sát, nhiệt độ cao sẽ làm thay đổi các tính chất dầu bôi trơn, làm thay đổi tính chất lớp vật liệu bề mặt của các cặp ma sát theo chiều hướng có hại.

- Nhiều nguy cơ xuất hiện hạt mài : Các hạt mài cứng sẽ gây nên những tác hại rất lớn cho bề mặt ma sát, nó làm tăng cường độ mài mòn của các cặp ma sát. Các hạt mài xâm nhập vào cặp ma sát secmăng - xilanh từ nhiều đường khác nhau. Không khí được hút vào sẽ mang theo một lượng bụi vào buồng đốt , tuy vậy yếu tố này ít ảnh hưởng đến động cơ diesel tàu thủy do đặc điểm động cơ làm việc trong môi trường gần như không có bụi lẫn trong không khí. Dầu bôi trơn xilanh bản thân cũng có những tạp chất rắn, các tạp chất rắn này sẽ theo dầu đến các bề mặt ma sát và phá hoại chúng. Đối với những động cơ dùng dầu bôi trơn xilanh cùng với dầu hệ thống thì có nguy cơ những mảnh vật liệu bị bong tróc khỏi bề mặt ma sát trở thành những hạt mài nguy hiểm. Nhiên liệu dùng cho động cơ diesel, đặc biệt là nhiên liệu nặng dùng cho các diesel thấp tốc , công suất lớn , có hàm lượng tạp chất rắn cao , bao gồm những mẫu cốc nhỏ, hạt bụi ,mẫu kim loại và gỉ sắt ,đó là chưa nói đến thành phần các tạp chất vô cơ (các muối, ôxit kim loại...) ở thể rắn. Sự cháy của nhiên liệu cũng có thể sinh ra các tạp chất rắn, tiêu biểu là cốc, cốc là hàm lượng bụi

bám trên các bề mặt buồng đốt được hình thành do quá trình phân hủy của nhiên liệu ở nhiệt độ cao, hầu hết các loại nhiên liệu nặng có hàm lượng cốc rất lớn, có thể đạt đến 20 (theo Konradson) [3]. Cốc không những là một dạng hạt mài nguy hiểm cho cặp ma sát secmăng xilanh mà còn hình thành nên lớp keo muối bám trên bề mặt secmăng, piston, sơ mi xilanh và trong các rãnh secmăng, lớp keo muối này không giữ được các màng dầu bôi trơn dẫn đến phá hoại các chế độ bôi trơn.

**2.2. Chế độ ma sát :** Do đặc điểm làm việc của bề mặt ma sát và điều kiện làm việc khốc liệt nên chế độ ma sát của cặp secmăng - xilanh khó đạt đến chế độ ma sát ướt mà thường ở chế độ ma sát giới hạn, đặc biệt là đối với secmăng khí trên cùng tại khu vực gần với điểm chết trên có nguy cơ mất màng dầu và trở thành ma sát không bôi trơn (ma sát khô).

### **2.3. Hệ số ma sát :**

#### **2.3.1. Theo qui luật chung :**

Sự phát triển của khoa học ma sát cho phép tổng quát hóa về mối quan hệ giữa hệ số ma sát với điều kiện ma sát và những nhân tố khác.

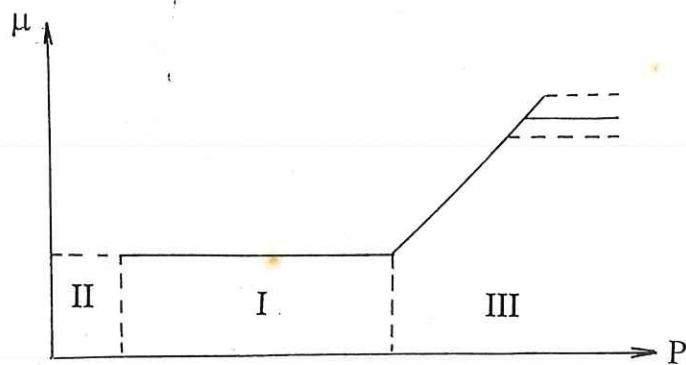
Theo qui luật chung : Hệ số ma sát  $\mu$  là hàm của các yếu tố : áp suất pháp tuyến ( $p$ ), vận tốc trượt ( $v$ ) và những thông số ma sát khác  $\bar{C}$  (vật liệu và công nghệ chế tạo, các kích thước lắp ghép, kiểu và tính chất của bôi trơn...). Tác dụng tổng hợp của các thông số ấy sẽ làm thay đổi các hàm số chủ yếu  $\mu = f(p)$  và  $\mu = f(v)$ . Ảnh hưởng này được xác định bởi tập hợp các giá trị của thông số vectơ  $\bar{C}$ . Trong trường hợp tổng quát, hệ số ma sát được biểu diễn bằng toán tử :  $\mu = A \{ p ; v ; \bar{C} \}$

Chỉ trong chế độ bình thường hệ số ma sát mới có thể được biểu diễn dưới dạng hàm số của áp suất hay của tốc độ trượt.

#### **2.3.2. Áp dụng cụ thể :**

##### **2.3.2.1. Quan hệ giữa hệ số ma sát và áp suất pháp :**

Quan hệ giữa  $\mu$  và  $p$  có 3 vùng đặc trưng :



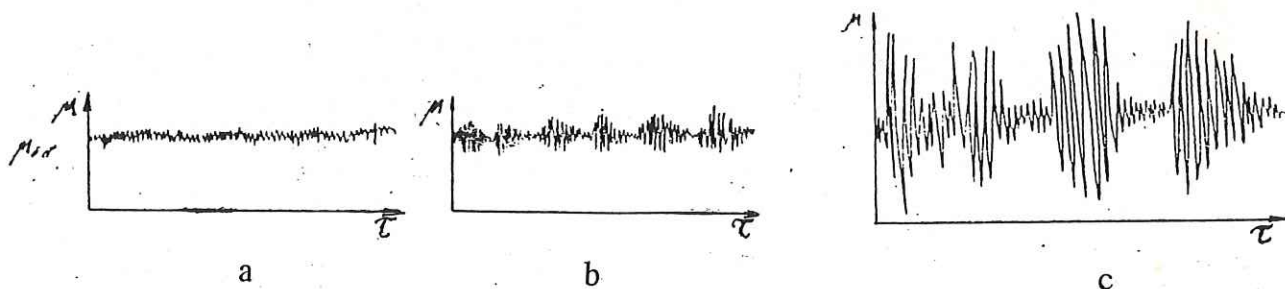
Hình 1.3

I : Vùng ổn định ứng với chế độ làm việc bình thường của bề mặt ma sát (hao mòn oxy hóa)

II : Vùng chuyển tiếp

III : Vùng hư hỏng, trên đó có nảy sinh những quá trình không bình thường như tróc, cây xước...

Chế độ bình thường được xác định bằng hệ số ma sát ổn định bền (h1.4) và hao mòn nhỏ nhất diễn ra do hình thành các cấu trúc thứ cấp.



Hình 1.4

Bảng ghi dao động biến thiên hệ số ma sát theo thời gian, thu được với những áp suất pháp tuyến phù hợp với các vùng khác nhau của quan hệ  $\mu = f(p)$

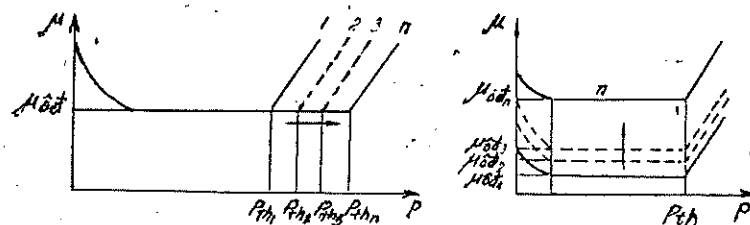
a- Vùng ổn định

b- Vùng chuyển tiếp

c- Vùng hư hỏng

trên bề mặt ma sát của các kim loại. Đoạn chuyển tiếp ứng với khả năng thích ứng của bề mặt, trong đó hàm  $\mu = f(p)$  có thể có tính chất khác nhau (biểu diễn bằng nét đứt trong vùng II hình 1.3). Giới hạn của chế độ làm việc bình thường được xác định bởi trị số áp suất pháp tuyến tới hạn, nếu vượt quá áp suất tới hạn sẽ dẫn đến hiện

tượng trúc, dập cào xước cũng như những quá trình không bình thường khác với cường độ khác nhau (Các đường nét đứt trong h1.3 ở vùng thứ III) .



Hình 1.5

Khoảng của chế độ bình thường được xác định bởi giá trị áp suất và hệ số ma sát. Khoảng này có thể thay đổi tùy điều kiện ma sát (h1.5). Thay đổi thông số (điều kiện) ma sát sẽ làm cho đường cong trên đường ổn định bị chuyển dịch theo phương nằm ngang hay phương thẳng đứng.

Đối với cặp ma sát secmăng-xilanh , áp lực pháp tuyến gồm 2 thành phần : thành phần thứ nhất là do lực đàn hồi của secmăng và thành phần thứ hai là do áp suất khí tác dụng vào mặt trụ trong của secmăng.

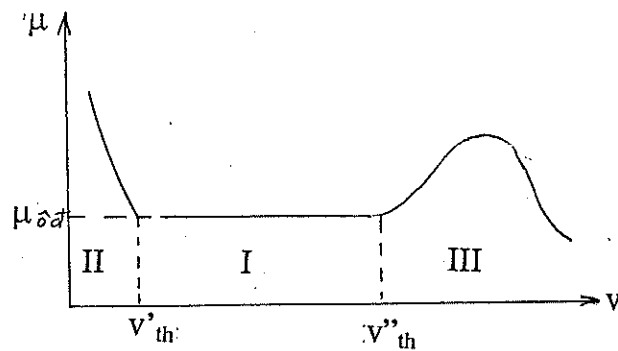
Thành phần thứ nhất gọi là áp suất riêng , phân bố áp suất này trên mặt lưng của secmăng gọi là biểu đồ áp suất của secmăng. Nhờ có áp suất riêng này tạo ra được sự tiếp xúc liên tục của secmăng với thành xilanh và giảm nhẹ ảnh hưởng của dao động của secmăng trong quá trình động cơ làm việc. Áp suất này phải đủ lớn để đạt được các mục tiêu trên nhưng nếu quá lớn (tổng của áp suất này và áp suất do khí cháy vượt quá  $P_{th}$ ) sẽ gây ra hiện tượng  $\mu$  tăng cao (cặp ma sát nằm ngoài vùng ổn định) làm giảm công suất của động cơ cũng như tăng quá trình mòn của cặp ma sát, giảm tuổi thọ của chúng. Thành phần áp suất này không thay đổi trong chu kỳ làm việc của động cơ.

Thành phần thứ hai phân bố đều trên bề mặt secmăng và thay đổi theo chu kỳ làm việc của động cơ. Độ lớn của thành phần này phụ thuộc vào vị trí của secmăng.

Từ trên ta thấy biểu đồ áp suất của secmăng là rất quan trọng bởi nó quyết định đến khả năng làm kín của secmăng khí , từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến công suất của động cơ. Sau một thời gian làm việc, do mòn nên áp suất riêng sẽ phân bố lại, nghiên cứu biểu đồ áp suất có thể dự báo được mài mòn và đánh giá tuổi thọ thực tế của secmăng. Phần biểu đồ áp suất secmăng sẽ trình bày cụ thể ở chương 2.

### 2.3.2.2. Quan hệ giữa hệ số ma sát và tốc độ trượt :

Quan hệ chủ yếu của sự biến thiên hệ số ma sát phụ thuộc vào tốc độ trượt  $v$  có 3 vùng :



Hình 1.6

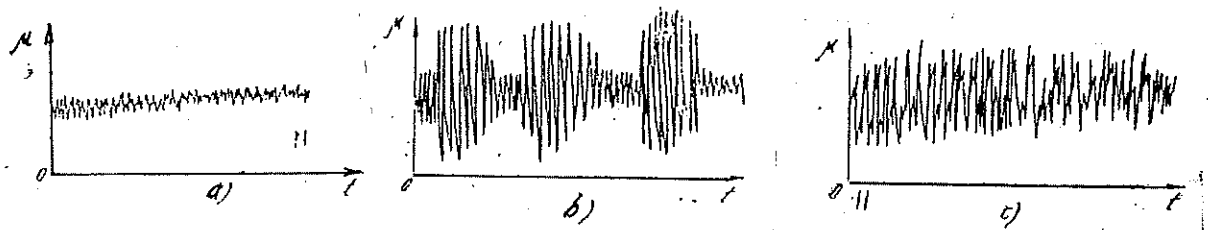
Sơ đồ nguyên tắc biến thiên hệ số ma sát phụ thuộc tốc độ trượt  $\mu = f(v)$

Từ h1.6 ta có 3 vùng khảo sát :

Vùng I : Chế độ bình thường ứng với ma sát oxy hóa ổn định tức là tương ứng với vận tốc trượt  $v'_{th} < v < v''_{th}$ .

Vùng II : Các quá trình không bình thường, phát triển khi tróc loại I ( $0 < v < v'_{th}$ ).

Vùng III : Các quá trình không bình thường, phát triển khi tróc loại II ( $v > v''_{th}$ )

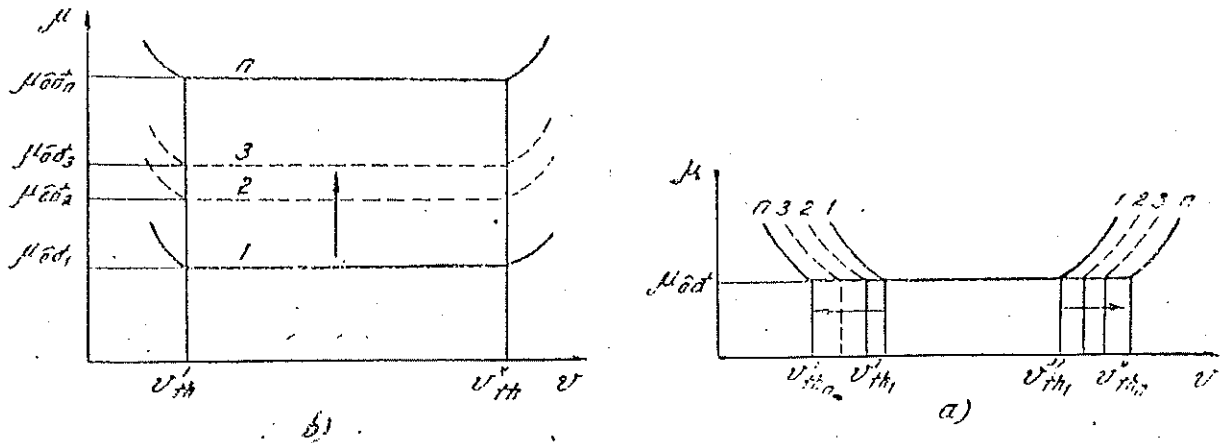


Hình 1.7

Băng ghi dao động biến thiên hệ số ma sát theo thời gian thu được với các vùng khác nhau của quan hệ  $\mu = f(v)$

- a- Vùng ổn định (hao mòn oxy hóa)
- b- Tróc loại I
- c- Tróc loại II

Vùng chế độ làm việc bình thường nằm giữa các tốc độ  $v'_{th}$  và  $v''_{th}$  được đặc trưng bởi giá trị ổn định của hệ số ma sát (h1.7) và hao mòn cho phép, được quyết định bởi sự tối thiểu hóa chiều dày của lớp biến dạng dẻo và sự hình thành các cấu trúc thứ cấp. Tùy theo sự thay đổi của các thông số ma sát, đồ thị  $\mu = f(v)$  có thể sẽ dịch chuyển theo phương nằm ngang hay theo phương thẳng đứng.



Hình 1.8

### Dịch chuyển ngang và đứng của quan hệ $\mu = f(v)$

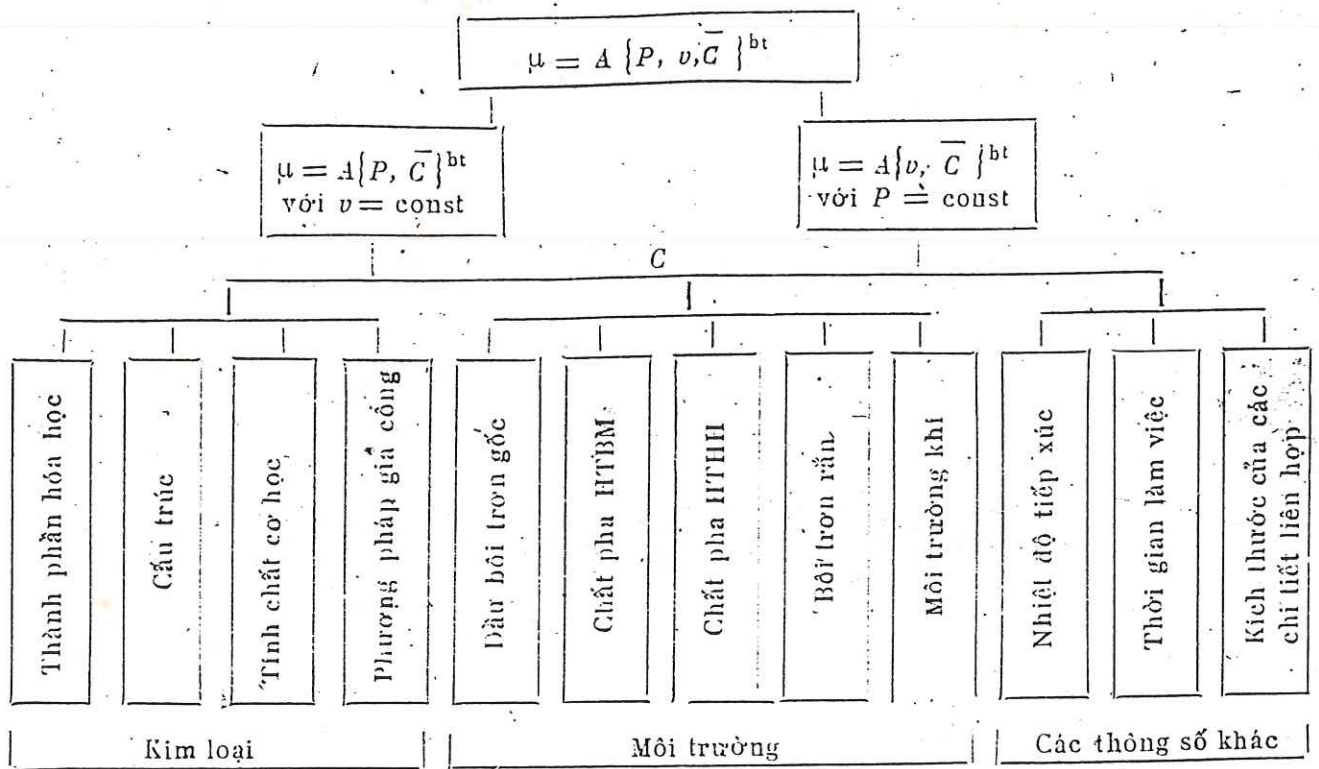
1, 2, ..., n là các đường cong ứng với các điều kiện ma sát khác nhau.

Đối với cặp ma sát secmăng-xilanh thì tốc độ trượt được xét là vận tốc trượt giữa secmăng và xilanh hay có thể hiểu đó là tốc độ tịnh tiến của piston trong xilanh. Vận tốc tới hạn như phân tích ở trên phụ thuộc vào nhiều yếu tố như bôi trơn, làm mát... Vị trí của secmăng đóng vai trò quan trọng vì các secmăng ở vị trí trên thường được bôi trơn và làm mát kém cũng như phải chịu chế độ phụ tải nhiệt cao.

### 2.3.2.3. Quan hệ giữa hệ số ma sát với các thông số ma sát

Khi cặp ma sát làm việc bình thường, hệ số ma sát được quyết định bởi các thông số ma sát: vật liệu và công nghệ gia công chế tạo chúng, các kích thước của cặp lắp ghép, kiểu và tính chất bôi trơn... Tác dụng tổng hợp của các thông số ấy sẽ làm thay đổi các hàm số chủ yếu  $\mu = f(p)$  và  $\mu = f(v)$ . Ảnh hưởng này được xác định bởi tập hợp các thông số (vectơ  $\bar{C}$ ). Trong trường hợp tổng quát quan hệ của lực ma sát (hay hệ số ma sát) được biểu diễn bằng toán tử  $\mu = A \{ p, v, \bar{C} \}$

Chỉ trong chế độ bình thường hệ số ma sát mới có thể được biểu diễn dưới dạng hàm số của áp suất hay của tốc độ trượt. Hàm này chỉ có nghĩa đối với một tổ hợp nhất định các thông số.



Các yếu tố ảnh hưởng này sẽ được xem xét kỹ trong chương 2 : Mòn của secmăng động cơ diesel tàu thủy.

## CHƯƠNG 2

# MÒN CỦA SECMĂNG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

### 1. Tổng quan về một số công trình nghiên cứu về mòn và tuổi thọ secmăng động cơ diesel:

Secmăng là một trong những chi tiết mau hỏng nhất của động cơ diesel, hiện nay, nhiều hướng nghiên cứu để nâng cao tuổi thọ cũng như các biện pháp bôi trơn thích hợp để kéo dài tuổi thọ đang được tiến hành. Các nghiên cứu về vấn đề mòn và tuổi thọ của secmăng theo quan điểm của Tribology đã đạt được nhiều thành công. Các công trình nghiên cứu tập trung vào các vấn đề về vật liệu chế tạo, về cơ chế ma sát và hao mòn. Kết quả các công trình này nhằm vào mục tiêu điều khiển quá trình ma sát, giảm mòn, nâng cao tuổi thọ của secmăng.

Về vật liệu chế tạo secmăng, các công trình nghiên cứu chú ý đến tính chất chống mòn của vật liệu trong đó đặc biệt quan tâm đến tổ chức tế vi của vật liệu, hệ số ma sát và các vấn đề có liên quan đến tính chống mòn của vật liệu.

Tổ chức tế vi của kim loại để chế tạo secmăng có vai trò quan trọng trong việc giảm mòn của cặp ma sát secmăng-xilanh khi bôi trơn kém hoặc có lẫn hạt mài. Theo tác giả Garkunop [14], vật liệu làm secmăng phổ biến trên thế giới là gang xám graphit tấm. Theo các nghiên cứu của D.Scott, A.I.Smith, J.Tait, G.R.Tremain [23] chỉ ra rằng tổ chức tế vi của gang xám graphit tấm phải có đủ 3 thành phần: graphit tấm dạng A cỡ  $30 \div 120 \mu\text{m}$  (cấp 7-5 AFS), nền kim loại peclit và có photphit cùng tinh ở dạng lưới đứt đoạn. Những kết luận trên là phù hợp với quan điểm của Tribology. Thành phần graphit tấm này có trong gang, trong quá trình cặp ma sát làm việc sẽ bị bong ra và là chất bôi trơn rắn, chịu nhiệt độ cao, chống hàn tróc tốt. Mặt khác chỗ bong ra lại thành lỗ chứa dầu bôi trơn giúp duy trì màng dầu liên tục. Thành phần peclit tấm mịn của nền kim loại được tạo ra bởi pha xementit và ferit, vì vậy có khả năng chống mòn cao nhưng vẫn đảm bảo được khả năng chống biến dạng dẻo và nứt vỡ. Lưới photphit cùng tinh ở dạng lưới đứt đoạn là bộ xương cứng của nền gang giúp tăng khả năng chống mài mòn và chống hiện tượng tróc trên bề mặt của secmăng.

Tác giả Kragenxki [17], trong công trình nghiên cứu về hệ số ma sát khô đã khẳng định đây là một tiêu chuẩn để đánh giá tính chất chống ma sát của vật liệu secmăng và nằm trong khoảng  $0.18 \div 0.25$ . Để nghiên cứu tính chất của vật liệu khi mô hình hóa trong điều kiện phòng thí nghiệm phải đảm bảo:

- Tốc độ trượt thực tế của cặp ma sát
- Áp suất riêng thực tế của các cặp ma sát
- Tỷ lệ diện tích tiếp xúc với diện tích bề mặt ma sát.

- Giảm nhiệt trên lớp bề mặt.
- Môi trường xung quanh của cặp ma sát thực.

\* Về cơ chế mòn của secmăng theo nghiên cứu của các tác giả F.Wilson, D.Scott, A.I.Smith, J.Tait, G.R Tremain đã tập trung nghiên cứu tại vùng tiếp xúc với xilanh và piston. Các kết quả nghiên cứu cho thấy điều kiện bôi trơn và ma sát trong động cơ rất phức tạp và phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố. Lớp màng dầu bôi trơn hình thành giữa thành xilanh và secmăng chỉ có ở một vùng hạn chế của hành trình piston. Ở vùng gần điểm chết do tốc độ trượt rất nhỏ, lớp màng dầu không thể hình thành được, chế độ bôi trơn chuyển từ giới hạn sang khô. Đặc biệt đối với secmăng trên cùng, điều kiện bôi trơn kém hơn nhiều do thiếu dầu và bị ảnh hưởng của nhiệt độ cao. Ngoài ra, do sự có mặt của các sản phẩm cháy và các phần tử mòn (hạt kim loại) bị tách ra khỏi bề mặt ma sát đã hình thành quá trình mài mòn có hạt mài.

Mặt khác, khi màng dầu bôi trơn không còn, bề mặt kim loại của secmăng cọ xát trực tiếp với thành xilanh làm cho nhiệt độ cục bộ ở bề mặt chi tiết có thể đạt đến 750<sup>0</sup>C hay hơn nữa, lúc này có 2 hiện tượng quan trọng xảy ra ở lớp kim loại mỏng (cỡ 10÷20 μm) trên bề mặt làm việc.

- Biến dạng dẻo gây nên biến cứng một lớp mỏng. Lớp này nếu đem tẩm thực sẽ hóa trắng, độ rắn đạt 700÷1200 HV, có tính chống mòn tốt, tuy nhiên do giòn lớp này lâu dần bị nứt vỡ tạo nên những mảnh mòn có hại.

- Nung nóng nhanh do ma sát rồi nguội nhanh do kim loại dẫn nhiệt tốt kèm theo hiện tượng này có hàng loạt hiệu ứng:

- \* Kim loại của xilanh và secmăng chảy ra và hàn dính trong khoảnh khắc rồi lại bị cắt đứt ngay do 2 chi tiết đang chuyển động tương đối gọi là hiệu ứng hàn tróc (tróc nhiệt)

- \* Tôi làm tăng cơ tính của kim loại

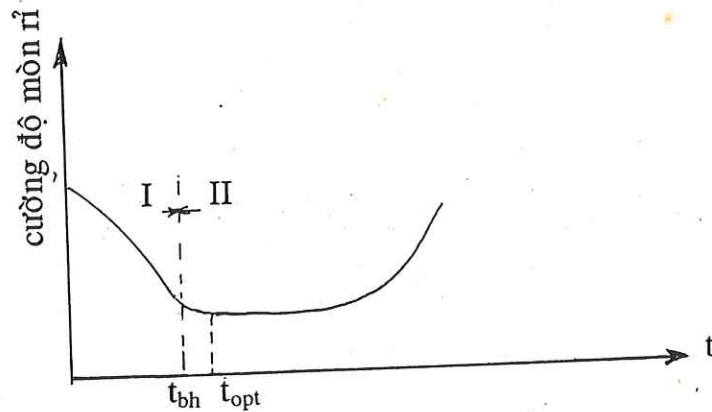
- \* Oxy hóa tạo được lớp oxýt bảo vệ có tác dụng chống hàn dính. Nhưng theo thời gian, lớp oxýt tích tụ dần dần và dày lên đến một lúc nào đó lớp này sẽ bong ra tạo thành các hạt mài.

- \* Thẩm cacbon làm tăng bền bề mặt.

Những hiện tượng cơ, hóa, nhiệt trên được lặp đi lặp lại nhiều lần và kết hợp với nhau làm cho tổ chức kim loại thay đổi. Sự thay đổi này nhiều hay ít là tùy thuộc vào chế độ khai thác động cơ và chất lượng của secmăng. Ví dụ hiện tượng biến dạng dẻo và nhiệt luyện làm tăng cơ tính, tạo lớp trắng chống mòn sẽ tốt lúc ban đầu nhưng nếu với tốc độ hay tải trọng quá lớn hay qua một thời gian dài không thay secmăng thì lớp trắng sẽ dày lên, nứt vỡ thành các hạt rắn gây thêm hiện tượng mài mòn hạt mài làm tăng nhanh tốc độ mài mòn secmăng.

Các tác giả Velitrkin, Nixnhevich, Giubietova [15] đã nghiên cứu các dạng mòn ở secmăng của động cơ diesel trong quá trình làm việc do ma sát bị hao mòn và hư hỏng. Các dạng mài mòn thường gặp ở secmăng là mòn rỉ, mòn tiếp xúc và mài mòn hạt mài:

- Mòn rỉ secmăng có 2 loại : mòn rỉ khí và mòn rỉ điện hóa , tương ứng với màng chất điện phân hình thành trên bề mặt secmăng ở dạng khô hay ướt. Trên hình 1.9 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ mòn rỉ với nhiệt độ của secmăng.



Hình 1.9

Quan hệ giữa cường độ mòn rỉ với nhiệt độ bề mặt

I : Vùng mòn rỉ điện hóa

II : Vùng mòn rỉ khí

Từ đồ thị , ta thấy rằng cường độ mòn rỉ sẽ đạt giá trị cực tiểu khi nhiệt độ đạt đến nhiệt độ tối ưu  $t = t_{opt}$  . Nhiệt độ này nằm trong giới hạn giữa vùng mòn rỉ điện hóa và mòn rỉ khí. Khi tăng nhiệt độ từ  $t_{opt}$  đến khoảng  $300^{\circ}\text{C}$ , cường độ mòn rỉ tăng lên không đáng kể. Tăng nhiệt độ lên nữa thì mòn rỉ sẽ tăng dần. Nhiệt độ tăng quá  $500^{\circ}\text{C}$  thì tốc độ ăn mòn khí sẽ tăng vọt ngay cả khi lượng  $\text{SO}_2$  ít trong sản phẩm cháy. Tuy nhiên việc để cho secmăng làm việc với nhiệt độ cao (trên  $350^{\circ}\text{C}$ ) thường ít xảy ra trừ khi động cơ phải làm việc ở chế độ quá tải lâu dài, mất nước làm mát hay dầu bôi trơn do đó ảnh hưởng của mòn rỉ khí ít được chú ý khi nghiên cứu mòn secmăng.

Khi giảm nhiệt độ bề mặt secmăng thấp hơn  $t_{opt}$  thì tạo điều kiện thuận lợi cho việc ngưng tụ hơi nước (hơi nước có từ nhiều nguồn như trong nhiên liệu, trong không khí nạp, trong sản phẩm cháy...) và từ đó dẫn đến việc lắng đọng các phân tử hơi nước dạng hạt nhỏ bám trên bề mặt của secmăng. Trên bề mặt của secmăng hình thành màng nước và mòn rỉ điện hóa bắt đầu xảy ra. Tốc độ mòn rỉ tăng lên

cùng với việc tăng hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu (với động cơ diesel thấp tốc, công suất lớn sử dụng dầu nặng là thành phần chưng cất có nhiều S) do tạo ra nhiều  $SO_2$ ,  $SO_3$ , và việc giảm nhiệt độ secmăng quá thấp.

Nhiều khảo sát các động cơ diesel D22, D28 (Liên Xô), Petter AVB của Pháp, Volvo TD120A của Thụy Điển cho thấy  $t_{bh} = 110^{\circ}C \div 140^{\circ}C$  và  $t_{opt} = 130^{\circ}C \div 160^{\circ}C$ .

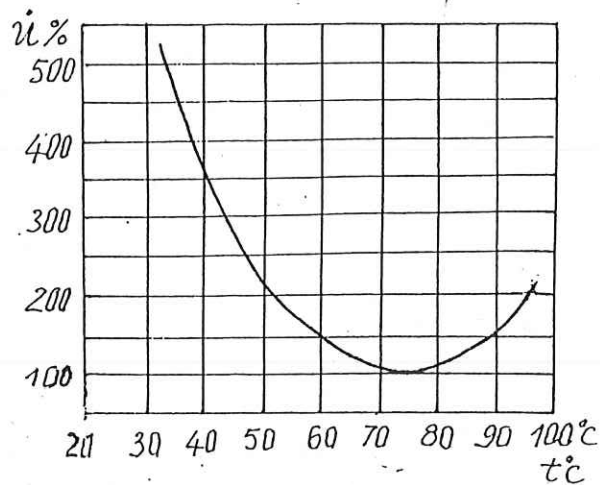
Mặt khác, bề mặt xilanh do trực tiếp tiếp xúc với khí cháy nên hiệu ứng mòn rĩ càng mạnh hơn. Secmăng dịch chuyển trên thành xilanh tiếp xúc với bề mặt bị rĩ nên sẽ mài mòn các điểm nhấp nhô của xilanh lẫn secmăng, bóc đi lớp màng oxyt càng làm cho mòn rĩ tăng thêm.

Như vậy hiệu ứng mòn rĩ của secmăng (và cả xilanh) gắn liền với nhiệt độ của bề mặt ma sát, có nghĩa là liên quan đến hệ thống làm mát. Cũng trong các công trình nghiên cứu trên thì để đạt được  $t = t_{opt}$ , nhiệt độ nước làm mát phải trong khoảng từ  $75 \div 85^{\circ}C$ .

- Mòn tiếp xúc của cặp ma sát secmăng-xilanh xảy ra khi thiếu dầu giữa hai bề mặt ma sát, đặc biệt là ở quanh vùng điểm chết trên. Khi đó các đỉnh nhấp nhô của cặp ma sát va chạm lẫn nhau dẫn đến biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo của các nhấp nhô, hàn dính tại các vị trí tiếp xúc, bẻ gãy các nhấp nhô hoặc rút đứt các phần tử kim loại ra khỏi bề mặt ma sát.

Việc thiếu dầu bôi trơn trên bề mặt ma sát gây ra hiện tượng mòn tiếp xúc phụ thuộc vào kết cấu động cơ, điều kiện làm việc của cặp chi tiết secmăng-xilanh, đặc tính dầu bôi trơn và hàng loạt các yếu tố khác, việc tăng nhanh mòn của xecmăng trong thời gian rà trơn và trong thời gian khởi động của động cơ sau khi dừng máy khá dài là kết quả của mòn tiếp xúc. Ngoài ra mòn tiếp xúc cũng xảy ra khi động cơ làm việc ở chế độ nhiệt cao và thường xuất hiện ở vùng phía trên của xilanh nơi nhiệt độ của thành xilanh cao hơn và màng dầu cũng mỏng hơn. Màng dầu này có thể bị mất đi do bị bay hơi hoặc bị xé rách do chuyển động của secmăng khí phía trên.

Dưới đây là đồ thị quan hệ mòn secmăng động cơ diesel và nhiệt độ nước làm mát :



Hình 1.10

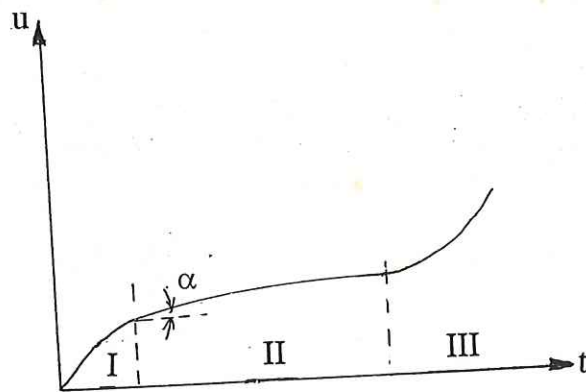
- Mài mòn hạt mài xảy ra do trong lớp dầu bôi trơn giữa hai bề mặt ma sát của secmăng và xilanh có các hạt mài, các nguồn cung cấp hạt mài đã được trình bày ở chương 1. Tùy thuộc vào số lượng và độ cứng của hạt mài, tùy thuộc vào khe hở làm việc và độ cứng của vật liệu secmăng-xilanh mà các hạt mài sẽ phá hủy hay cắm vào vật liệu cũng như tuần hoàn trong dầu. Các hạt mài làm biến dạng lớp bề mặt tế vi tạo nên các vết xước, vết vạch hướng dọc theo chuyển động của secmăng. Hiện tượng mài mòn hạt mài không những chỉ xảy ra ở cặp ma sát secmăng-xilanh mà còn xảy ra ở hầu hết các cặp ma sát trong động cơ. Nếu như mòn rỉ và mòn tiếp xúc chỉ gây tác hại trên secmăng thì chủ yếu ở gần điểm chết trên thì mài mòn hạt mài xảy ra tại mọi vị trí do dầu bôi trơn mang các hạt mài tới. Quá trình mài mòn hạt mài xảy ra liên tục và bắt đầu do bụi trong không khí đưa vào động cơ động một phần lên thành xilanh. Ở phần trên của xilanh, bụi tập hợp nhiều hơn, phần giữa có ít bụi còn phần dưới nói chung thì không có bụi. Các sản phẩm tạo ra do mòn rỉ và mòn tiếp xúc cũng chỉ có chủ yếu ở vùng làm việc phía trên của xilanh.

Khi piston chuyển động lên trên, ban đầu là secmăng khí đầu tiên, sau đó là secmăng dầu kế tiếp tiếp xúc với lớp dầu và bụi bám trên thành xilanh hoặc các sản phẩm của mòn rỉ và mòn tiếp xúc. Secmăng và xilanh khi đó bị mòn, còn các hạt mài (bụi, các sản phẩm mòn...) bị nghiền nhỏ và chà đi. Cường độ của quá trình này phụ thuộc vào độ cứng, tính chất của hạt mài cũng như tính chất vật liệu của secmăng và xilanh. Các secmăng dầu không chỉ nghiền các hạt mài mà còn đẩy chúng cùng với dầu vào kết tuần hoàn (hay cacte) của động cơ. Trong quá trình làm việc của động cơ, khi hút và nén, bụi từ không khí bám vào thành xilanh của động cơ, khi đó secmăng bị mài mòn và đẩy bụi xuống cacte, trong các hành trình giãn nở và thải, bụi lẫn trong hỗn hợp cháy và khí xả lại đọng trên thành xilanh và một phần bị đẩy xuống cacte.

Bên cạnh việc mài mòn hạt mài do bụi từ không khí nạp, các phần tử tạo ra do hậu quả của mòn rỉ, mòn tiếp xúc, mài mòn cùng với các sản phẩm cháy và tạp chất

trong nhiên liệu, dầu bôi trơn, đặc biệt là các phần tử cồng rắn tạo ra do quá trình cháy... cũng là các hạt mài tham gia vào quá trình mài mòn secmăng và xilanh. Các hạt mài càng cứng thì càng ít bị chà nhỏ khi đi qua các chi tiết của nhóm piston-xilanh, vì vậy tác dụng phá hoại của chúng rất lớn, không những chỉ đối với những chi tiết thuộc nhóm piston-xilanh mà đối với hầu hết các chi tiết khác như nhóm ở đỡ trục khuỷu...

Cũng theo các tác giả Velitrkin, Nixnhevich, Giubietova thì với cặp ma sát secmăng-xilanh, cũng như một số các cặp ma sát khác, quá trình mòn xảy ra theo 3 giai đoạn: rà trơn, mòn ổn định và mòn khốc liệt.



Hình 1.11

Sơ đồ về mòn của cặp ma sát

- I - Giai đoạn rà trơn
- II - Giai đoạn mòn ổn định
- III - Giai đoạn mòn khốc liệt

**- Giai đoạn rà trơn:** Trên bề mặt tiếp xúc của secmăng, xilanh, rãnh piston có các nhấp nhô tế vi và sai lệch hình dáng hình học nên không tạo được tiếp giáp khít trên bề mặt ma sát. Tại các đỉnh nhấp nhô tế vi hoặc các phần nhô của bề mặt ma sát mới có tiếp xúc, tải trọng riêng ở đây rất lớn dẫn đến chọc thủng các lớp bôi trơn gây nên sự tiếp xúc trực tiếp giữa các bề mặt kim loại với nhau gây hiện tượng mòn tiếp xúc mãnh liệt tại các điểm đó. Nếu chế độ rà trơn không đúng, khi tải trọng hoặc tốc độ vượt quá giới hạn, các đỉnh nhấp nhô sẽ cào vào nhau, bề gãy lẫn nhau tạo thành các nhấp nhô lớn hơn dẫn đến xây xát và kẹt.

Với secmăng cũng như hầu hết các chi tiết khác của động cơ giai đoạn rà trơn xảy ra theo 2 bước:

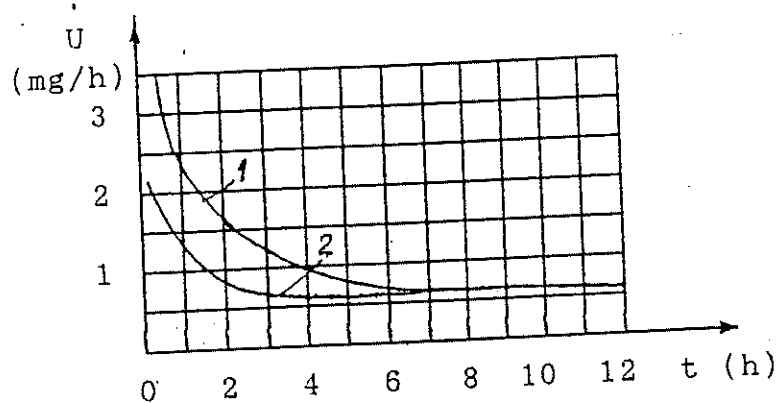
- Ở bước thứ nhất đỉnh các nhấp nhô tế vi của secmăng bị mòn nhanh do độ nhám bề mặt sau gia công cơ chỉ đạt  $R_a = 2,5$  ở mặt trụ ngoài và  $R_a = 0,63$  ở hai mặt

đầu. Thường thì giai đoạn này dao động trong khoảng từ 20 phút tới 120 phút và xảy ra tại nhà máy sản xuất. Sau bước này thì chi tiết động cơ có thể đưa vào sử dụng với tải trọng hạn chế.

- Ở bước thứ hai các sai lệch hình dáng hình học được rà trơn trong điều kiện sử dụng nhờ tăng dần tải trọng. Bước này diễn ra trong khoảng 2÷10h đối với secmăng còn đối với piston và xilanh thì lên tới 20÷30h. Độ dài thời gian bước này tùy thuộc vào chất lượng chế tạo và lắp ráp secmăng với các chi tiết khác trong cụm.

Nhờ có quá trình rà trơn, các nhấp nhô tế vi và thô đại trên bề mặt ma sát giảm đi, các chi tiết secmăng-xilanh, secmăng-piston tiếp giáp khít hoàn toàn các bề mặt làm việc, tải trọng riêng trở thành tải trọng danh nghĩa và động cơ có thể hoạt động toàn tải.

Quá trình rà trơn chi tiết đã nêu là quá trình rà trơn ban đầu. Quá trình rà trơn còn xảy ra sau khi tháo và lắp lại secmăng hoặc các chi tiết có liên quan đến secmăng. Hình 1.12 cho thấy ảnh hưởng việc tháo lắp động cơ đến việc rà trơn lại secmăng. Tác giả Nixnevich đã nghiên cứu trên động cơ diesel 1 xilanh có đường kính xilanh là 108mm. Secmăng được phủ Fe phóng xạ ( $Fe^{59}$ ), đo độ mòn thông qua lượng dầu nhiễm xạ trong cacte.



Hình 1.12

Ảnh hưởng của việc tháo lắp động cơ đến tốc độ mòn của xecmăng

1- Quá trình rà trơn xecmăng ở động cơ mới

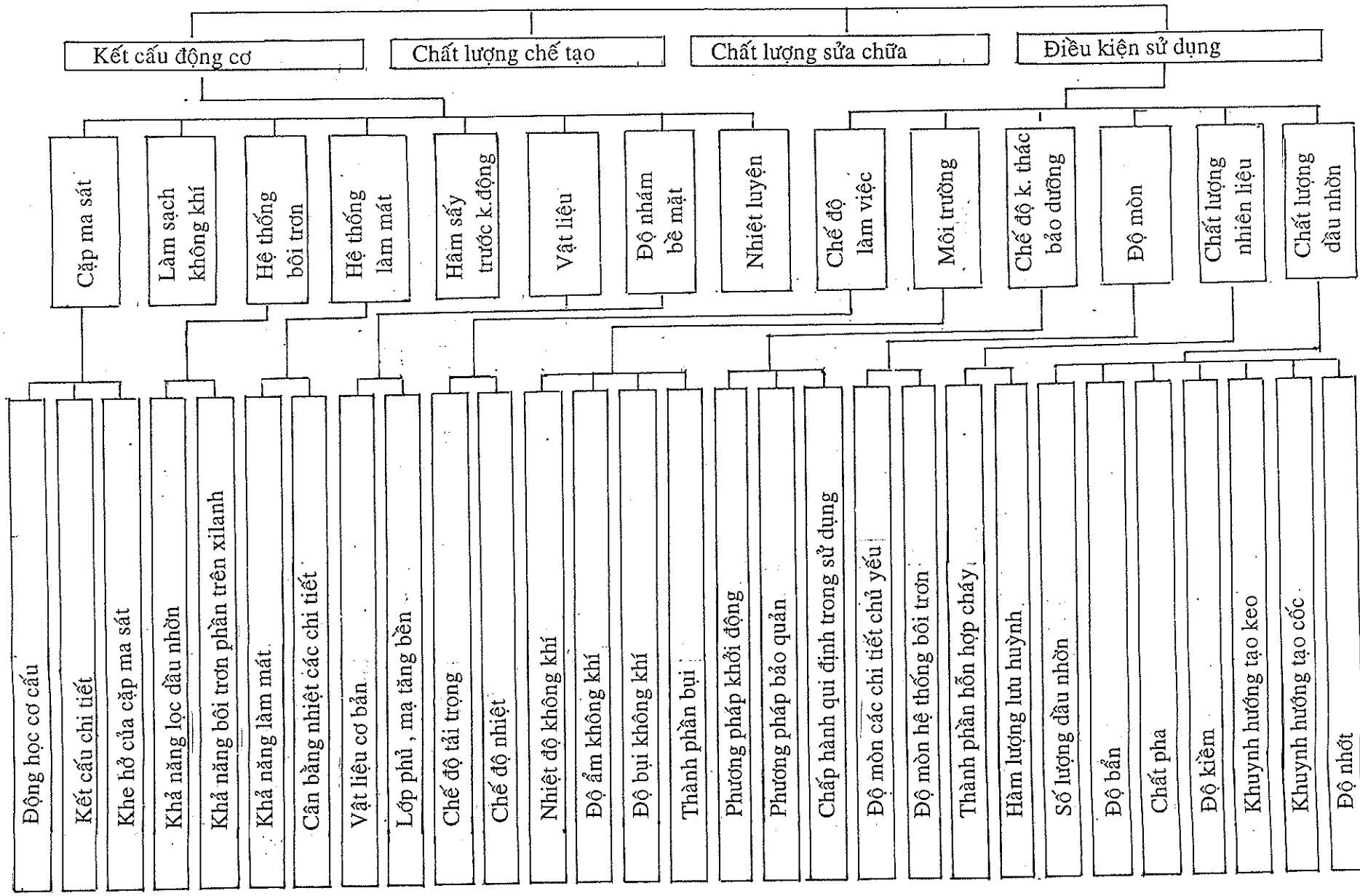
2- Tốc độ mòn của xecmăng sau khi tháo lắp

Các kết quả thí nghiệm đã cho thấy rằng : ở động cơ mới, việc rà trơn secmăng hoàn toàn kết thúc sau 6h làm việc, tuy nhiên chu kỳ rà trơn này thực tế còn phụ thuộc vào kết cấu, vật liệu, chất lượng chế tạo và lắp ráp secmăng, chế độ chạy rà... Ở quá trình làm việc tiếp theo, tốc độ mòn gần như ổn định. Sau chu kỳ thử nghiệm đầu tiên kéo dài 12h động cơ được tháo ra và lại lắp lại mà không thay thế bất cứ một chi tiết nào. Quá trình thử nghiệm tiếp theo (đường cong 2) chứng tỏ

rằng việc tháo lắp động cơ đã gây ra rà trơn lại secmăng kéo dài trong 2h. Độ mòn tuyệt đối của secmăng sau chu kỳ rà trơn lặp lại như vậy có giảm hơn.

Quá trình rà trơn còn xảy ra sau khi dừng rồi lại khởi động động cơ (sau 1 thời gian dài ngừng máy) hoặc động cơ làm việc với chế độ thay đổi liên tục. Nhiều công trình nghiên cứu và khảo sát đã chỉ ra rằng với các động cơ làm việc với chế độ làm việc thay đổi liên tục cho dù có tải nhẹ hơn thì tốc độ mòn cũng tăng từ 1,35÷1,8 lần. Còn khi dừng và khởi động lại thì tốc độ mòn còn lớn hơn nữa do chế độ nhiệt và bôi trơn không đảm bảo, thông thường dầu bôi trơn chỉ tới được vị trí làm việc phía trên của xilanh sau 3÷12 phút kể từ khi bắt đầu cho động cơ làm việc. Hiệu ứng mòn lúc này của secmăng là mòn rỉ và mòn tiếp xúc.

- **Giai đoạn mòn ổn định** : bắt đầu từ khi kết thúc giai đoạn rà trơn ban đầu. Trong giai đoạn này, tốc độ mòn của secmăng và độ dài thời gian làm việc phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố. Trên sơ đồ dưới đây thể hiện các yếu tố ảnh hưởng đến độ mòn của secmăng trong động cơ diesel.

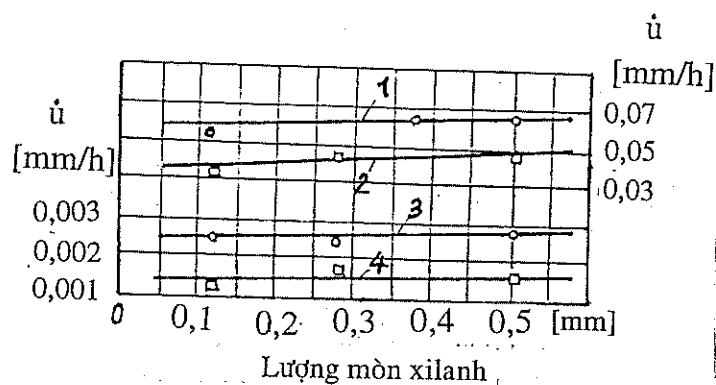


Giai đoạn mòn ổn định của secmăng là giai đoạn dài nhất trong quá trình làm việc. Tốc độ mòn của secmăng trong giai đoạn này chủ yếu phụ thuộc vào tính chống mòn của vật liệu chế tạo secmăng nhưng bên cạnh đó một loạt các yếu tố khác cũng không kém phần quan trọng như kết cấu động cơ, chất lượng chế tạo và lắp ráp, chế độ bảo dưỡng, sửa chữa, kiểu bôi trơn, chất lượng dầu bôi trơn.

Để giảm tốc độ mòn, nâng cao tuổi thọ của secmăng cần đi sâu nghiên cứu bản chất hao mòn của secmăng trong quá trình làm việc. Trên cơ sở xét tập hợp các hiện tượng cơ học, vật lý, hóa học xảy ra trong vùng tiếp xúc của secmăng, xây dựng mô hình vật lý của quá trình hao mòn secmăng. Việc nghiên cứu này cho phép tổng quát hóa các biện pháp hiện có và đề ra những kiến nghị về chế tạo, thiết kế, bảo dưỡng, khai thác nhằm điều khiển quá trình ma sát, chống hao mòn của secmăng.

- **Giai đoạn mòn khốc liệt:** xảy ra khi độ mòn của secmăng và các chi tiết có liên quan đạt đến giới hạn hỏng làm tăng khe hở giữa các cặp ma sát, phát sinh va đập, phá hủy màng dầu bôi trơn và tốc độ mài mòn tăng lên mãnh liệt. Các giá trị khe hở cho phép đối với secmăng được đề cập đến là : khe hở miệng cho phép  $[\Delta s]$  và khe hở giữa rãnh piston và secmăng  $[\Delta h]$ .

Các nghiên cứu của Velitrkin, Nixnhevich, Giubietova [15] cũng chỉ ra rằng sự thay đổi tốc độ mòn hướng kính của secmăng và tốc độ tăng khe hở giữa secmăng khí thứ nhất với rãnh piston lại phụ thuộc vào lượng mòn của xilanh ở vùng làm việc phía trên (thể hiện trên hình 1.13).



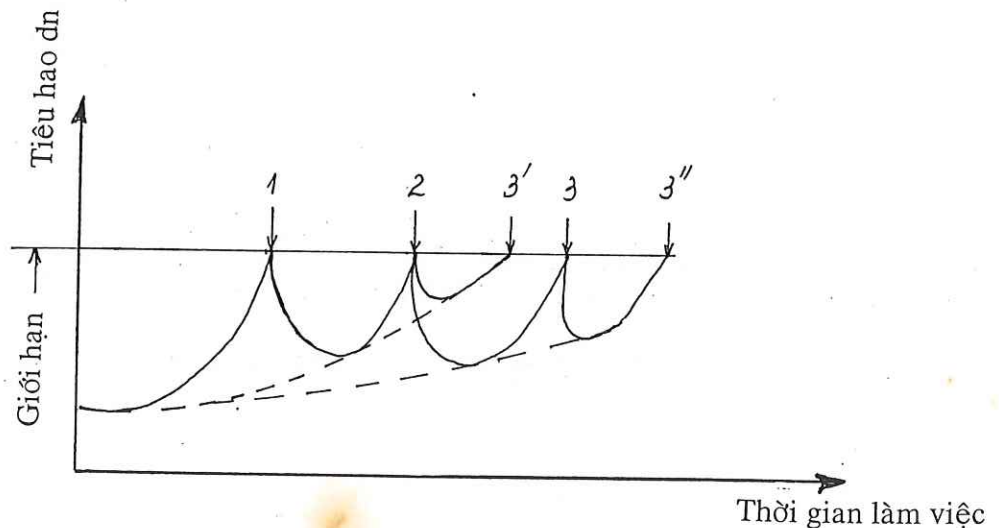
Hình 1.13

Quan hệ giữa tốc độ mòn của secmăng và lượng mòn của xilanh động cơ D54A

- 1- Tốc độ tăng khe hở miệng secmăng thứ nhất
- 2- Tốc độ tăng khe hở miệng secmăng đầu
- 3- Tốc độ mòn rãnh piston
- 4- Tốc độ mòn của xilanh

Lượng giới hạn mòn cho phép của các cặp ma sát không hoàn toàn căn cứ vào sự gia tăng của tốc độ mòn mà còn phải kể đến các thông số phản ánh trạng thái kỹ thuật của động cơ. Trong số các thông số như : công suất, suất tiêu hao nhiên liệu, hiệu suất có ích, tiêu hao dầu bôi trơn... thì mức độ tiêu hao dầu bôi trơn thể hiện rõ hơn cả độ mòn của các chi tiết thuộc nhóm piston-xilanh.

Hình 1.14 thể hiện mối quan hệ giữa lượng tiêu hao dầu bôi trơn và độ mòn của các chi tiết nhóm piston-xilanh.



Hình 1.14

Sơ đồ mối quan hệ giữa lượng tiêu hao dầu bôi trơn và mòn nhóm xilanh.

- Đầu tiên, khi xilanh, piston, secmăng khí mòn ít, mức tiêu hao dầu bôi trơn phụ thuộc chủ yếu vào độ mòn của secmăng dầu.

Ở điểm 1, sau khi thay xecmăng dầu có làm giảm đáng kể lượng tiêu hao dầu nhờn nhưng không đưa trở lại trạng thái ban đầu được vì các chi tiết khác đã có độ mòn nhất định.

Ở điểm 2 sau khi vẫn tiếp tục chỉ thay secmăng dầu trong khi vẫn giữ những chi tiết khác, lượng tiêu hao dầu bôi trơn nhanh chóng đạt giới hạn mặc dù secmăng dầu mòn ít (điểm 3'). Nguyên nhân chính là do khe hở giữa secmăng khí trên và rãnh piston đã khá lớn. Khe hở này càng lớn, lượng dầu nhờn đi vào buồng cháy càng nhiều và dẫn đến hiện tượng "ăn dầu". Cũng ở điểm 2, trong điều kiện thí nghiệm tương tự, thay toàn bộ các xecmăng và piston, chỉ giữ lại xilanh, lượng tiêu hao dầu nhờn trở lại bình thường, tuy nhiên thời gian làm việc vẫn bị rút ngắn do độ mòn của xilanh ngày càng lớn. Đến điểm 3, nếu vẫn tiếp tục chỉ thay secmăng và piston, lượng tiêu hao dầu nhờn vẫn khá lớn và nhanh chóng đạt đến giới hạn.

Trên đồ thị, nếu nối các điểm cực tiểu của mức tiêu hao dầu nhờn liên quan đến việc thay secmăng dầu thì thấy được ảnh hưởng của việc tăng khe hở giữa rãnh

piston và secmăng trên đến lượng tiêu hao dầu nhờn. Còn việc nối các cực tiểu ứng với khi thay piston và secmăng sẽ thấy được ảnh hưởng của độ mòn xilanh đến lượng tiêu hao dầu nhờn.

Trong các công trình nghiên cứu của mình, các tác giả Boborxkaia, Golixun [16] đã khảo sát mòn secmăng theo chu vi và khẳng định lực đàn hồi của secmăng thể hiện qua dạng biểu đồ áp suất quan hệ rất chặt chẽ với độ mòn hướng kính của secmăng. Sau 10h thí nghiệm trên bộ thử mòn mô phỏng chuyển động của secmăng trong xilanh phủ kim cương, các kết quả cho thấy tỉ lệ lượng mòn lớn nhất và nhỏ nhất của secmăng loại I (áp suất tương đối cao ở vùng miệng) là 2,107, của loại II (áp suất cao ở vùng miệng) là 1,27. Lượng mòn hướng kính ở vị trí lớn nhất của secmăng loại I là 0,591mm còn loại II là 0,472mm. Các kết quả này cho thấy biểu đồ áp suất là một tiêu chuẩn cần chú ý khi đánh giá về mòn và tuổi thọ của secmăng.

Trong công trình [5], các tác giả Nguyễn Tất Tiến và Hồ Xuân Năng khi nghiên cứu mòn của secmăng động cơ D50, nghiên cứu quan hệ giữa áp suất vùng miệng và lượng mòn của secmăng thông qua biểu đồ áp suất, các tác giả đã đo lượng mòn của secmăng theo chiều dày hướng kính và chiều cao của secmăng tại 15 điểm trên chu vi tương ứng với các điểm đo áp suất hướng kính và đã rút ra những kết luận:

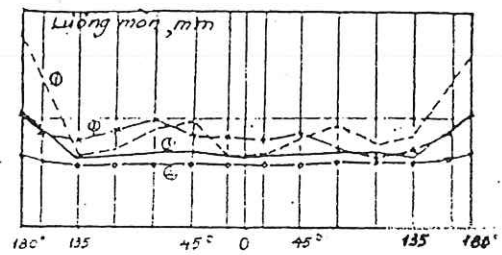
- \* Lượng mòn ở vùng miệng của secmăng lớn hơn so với các vùng khác. Vùng có lượng mòn lớn tiếp theo nằm trong khoảng  $90^{\circ} \div 120^{\circ}$  tính từ miệng secmăng. Vùng  $30^{\circ} \div 60^{\circ}$  có lượng mòn nhỏ nhất.

- \* Độ không đồng đều của lượng mòn theo chu vi càng lớn nếu secmăng bị mòn càng nhiều (tương đương với thời gian làm việc càng dài).

- \* Giữa các xilanh khác nhau, lượng mòn của secmăng không giống nhau nhưng qui luật mòn của từng secmăng đều tương tự như trên.

- \* Trong cùng một bộ secmăng, secmăng trên cùng được mạ crôm xốp, do đó lượng mòn trung bình không khác nhau nhiều so với các secmăng khí phía dưới, tuy điều kiện làm việc khắc nghiệt hơn nhiều: nhiệt độ cao, áp suất lớn, bôi trơn, làm mát kém... Song secmăng trên cùng luôn có tỉ số lượng mòn vùng miệng và lượng mòn trung bình lớn hơn so với các secmăng phía dưới. Trên hình 1.15 trình bày đường cong mài mòn của 4 secmăng có mức độ mài mòn khác nhau trong đó secmăng số 1 và số 4 được mạ crôm xốp, còn hai secmăng còn lại thì không mạ.

- 1- - - - lượng mòn trung bình 0,28 mm
- 2- -x- - lượng mòn trung bình 0,28 mm
- 3- - - - lượng mòn trung bình 0,209 mm
- 4- -o- - lượng mòn trung bình 0,186 mm



Hình 1.15

Các tác giả giải thích sở dĩ vùng miệng secmăng mòn nhiều hơn những vùng khác là do 2 nguyên nhân :

Thứ nhất là áp suất ban đầu ở vùng miệng của secmăng cao hơn những vùng khác.

Thứ hai là quá trình mòn làm giảm áp suất vùng miệng. Tại vùng này dễ xảy ra dao động hướng kính và dọc trục cũng như va đập mạnh. Lực từ vùng miệng giảm sẽ càng tạo điều kiện cho secmăng dễ dao động khi có lực kích thích của khí cháy hoặc do quá trình chuyển động của secmăng dọc theo xilanh mòn không đều gây ra hiện tượng “co bóp” secmăng. Khi xảy ra dao động mạnh, tần số cao, cường độ mòn vùng miệng tăng lên rất nhanh. Secmăng có mức độ mòn trung bình càng lớn thì mức độ mòn vùng miệng càng nhiều chứng tỏ ảnh hưởng mạnh của dao động hướng kính và dọc trục tới hiện tượng mòn không đều của secmăng. Việc tăng áp vùng miệng (biểu đồ áp suất hiệu chỉnh) hoàn toàn có lợi trong việc ngăn ngừa dao động và do đó góp phần kéo dài tuổi thọ của secmăng.

Điều kiện khí hậu cũng ảnh hưởng đến tốc độ mòn của secmăng , đặc biệt là hàm lượng ẩm. Lượng ẩm trong không khí là một phần quan trọng trong lượng ẩm chung tiếp xúc với cặp ma sát secmăng-xilanh . Đặc điểm của điều kiện khí hậu Việt Nam là nóng ẩm nên độ ẩm không khí thường rất cao. Các ảnh hưởng của điều kiện khí hậu lên sự làm việc cũng như mài mòn các chi tiết trong nhóm piston-xilanh động cơ diesel tàu thủy đã được GS Trần Hữu Nghị và các cộng sự nghiên cứu và công bố trên nhiều ấn phẩm chuyên ngành hàng hải. Trong công trình [4], GS Nguyễn Văn Thêm khi nghiên cứu về ảnh hưởng của môi trường nhiệt ẩm đến tốc độ mòn của cặp ma sát tịnh tiến GX15 - GX21 với điều kiện độ ẩm tương đối  $85 \pm 3\%$  (tương đương độ ẩm trung bình ở miền Bắc Việt Nam ) đã kết luận trong môi trường độ ẩm cao tốc độ mòn trung bình của cặp ma sát tăng từ  $1,2 \div 1,4$  lần so với môi trường tự nhiên.

Trên đây là một số công trình chung nhất về mài mòn và tuổi thọ của secmăng động cơ diesel mà người viết đã cố gắng tìm hiểu và tóm tắt. Các công trình nghiên cứu đã phần lớn tập trung vào nghiên cứu bản chất mài mòn, cơ chế mài mòn và các

nhân tố ảnh hưởng đến mài mòn của secmăng trong quá trình làm việc của động cơ. Để nghiên cứu mài mòn và tuổi thọ thì việc quan trọng bậc nhất là đo mòn và dự báo tuổi thọ bằng các phương pháp đạt độ chính xác cần thiết. Các tác giả đi trước đã áp dụng nhiều phương pháp đo mòn và dự báo tuổi thọ và đã đạt được những kết quả khá chính xác. Trong phạm vi luận án này bên cạnh việc tìm hiểu về hiện tượng ma sát và mài mòn của secmăng động cơ diesel tàu thủy, người viết xin được trình bày hai nội dung sau:

- Giới thiệu một phương pháp đo mòn nhanh áp dụng cho việc đo mòn lưng secmăng : *phương pháp khoét vết lõm ( tạo chuẩn nhân tạo)*

- Dự báo tuổi thọ của secmăng theo *xác suất không hỏng do mòn.*

Đây chính là mục tiêu chính của luận án sẽ được trình bày cụ thể ở phần 2 .

## **2- Biểu đồ áp suất secmăng - quan hệ độ mòn :**

### **2.1. Quan hệ giữa biểu đồ áp suất và mòn của secmăng :**

Với bất kỳ một cặp ma sát nào khi áp suất tăng thì số điểm tiếp xúc sẽ tăng, tương tác phân tử các bề mặt cũng tăng theo. Nếu không có chất bôi trơn hoặc ở chế độ bôi trơn giới hạn thì cường độ mài mòn cũng tăng lên một ít, nhưng nói chung không tỉ lệ với sự gia tăng của áp suất, sđ dĩ như vậy là vì diện tích tiếp xúc thực  $S_t$  cũng không tỉ lệ với áp suất.

Áp suất của secmăng tì lên thành xilanh trong quá trình làm việc gồm 2 thành phần : do lực đàn hồi của secmăng và do áp suất khí cháy tác dụng vào mặt trụ trong của secmăng.

Thành phần thứ nhất là áp suất riêng , phân bố áp suất trên mặt trụ ngoài gọi là biểu đồ áp suất của secmăng.

Thành phần thứ hai phân bố đều trên bề mặt của secmăng và thay đổi theo chu kỳ làm việc của động cơ.

Trong quá trình làm việc của động cơ, các bề mặt ma sát của secmăng, xilanh bị mòn sẽ gây ra sự phân bố lại áp suất trên bề mặt secmăng. Khi đó áp suất do lực đàn hồi của secmăng ở một vài tiết diện giảm đến mức tạo thành khe hở giữa secmăng và xilanh tại điểm đó. Do có khe hở áp suất tác dụng cả mặt trụ trong và mặt trụ ngoài của secmăng gây ra hiện tượng “thổi khí” và làm mất khả năng bao kín của secmăng. Để đánh giá secmăng trong trường hợp này, cần dùng khái niệm “tuổi thọ qui ước”.

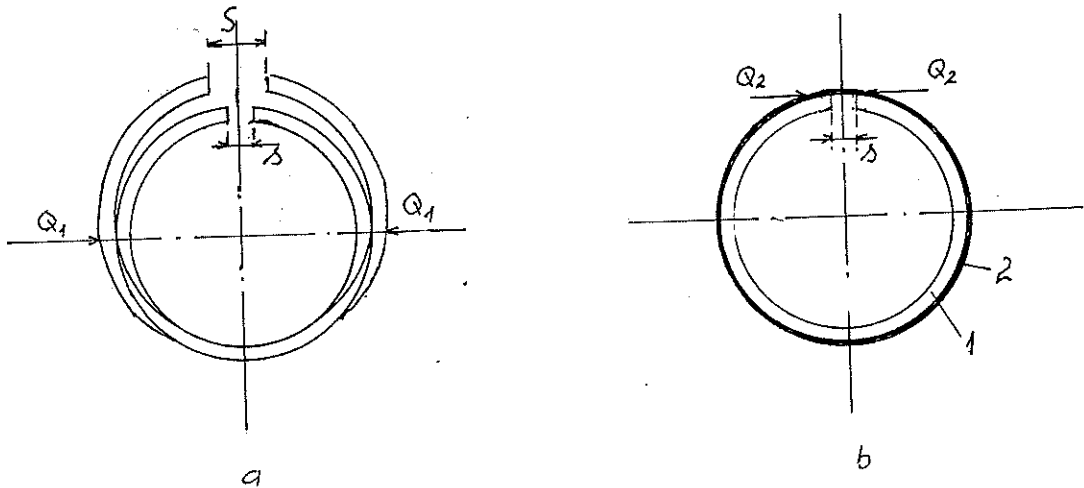
Đó là khoảng thời gian làm việc của secmăng cho đến khi áp suất riêng ở một tiết diện nào đó của secmăng giảm đến mức làm xuất hiện khe hở giữa secmăng và xilanh tại điểm ấy. Khái niệm này cho phép đánh giá tuổi thọ tương đối của các loại secmăng có biểu đồ phân bố áp suất khác nhau khi làm việc trong những điều kiện

như nhau. Tuy nhiên tuổi thọ qui ước theo khái niệm này không phải là tuổi thọ thực tế của secmăng.

## 2.2. Một phương pháp xác định biểu đồ áp suất của secmăng :

Có nhiều phương pháp xác định biểu đồ áp suất của secmăng nhưng trong điều kiện nước ta, các nhà nghiên cứu thường sử dụng phương pháp vòng mềm để xác định biểu đồ áp suất.

Sơ đồ của phương pháp xác định biểu đồ áp suất secmăng biểu diễn trên h1.16



Hình 1.16

Secmăng 1 ở trạng thái tự do có khe hở miệng là S (h1.16a), khi đặt vào trong vòng mềm 2 sẽ có khe hở miệng là s (h1.16b) như khi ở trong xilanh. Vòng mềm 2 bằng thép có chiều dày đủ nhỏ để có thể cho phép uốn tự do theo hướng kính. Đường kính lỗ của vòng mềm đúng bằng đường kính lỗ xilanh lắp secmăng. Khi đặt secmăng vào trong vòng mềm, thực chất xem như secmăng được đặt lực tiếp tuyến  $Q_2$  tại miệng và bị biến dạng theo phương hướng kính.

Biến dạng mặt ngoài của vòng mềm sẽ thể hiện tính chất của biểu đồ áp suất cần xác định.

Để có hình dạng và trị số của biểu đồ áp suất, ta cần phải giải hai bài toán.

- 1) Tìm áp suất trung bình của secmăng  $P_0$ .
- 2) Xác định các tham số của đường cong biểu diễn sự phân bố áp suất (biểu đồ áp suất)

Bài toán thứ nhất có thể giải quyết theo TCVN1721-85[7]

$$P_0 = 0,67 \frac{Q_1}{h \cdot D} \quad (MPa) \quad (1.1)$$

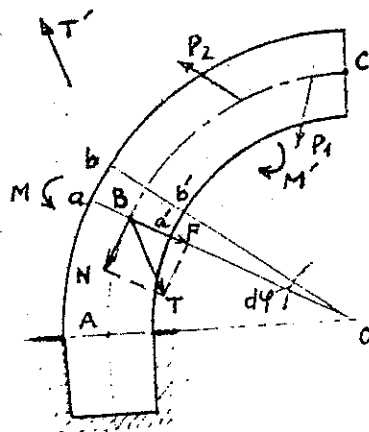
Trong đó  $Q_1$  : lực tác dụng khi thử (N)

$h$  : chiều cao secmăng (mm)

$D$  : Đường kính danh nghĩa của xilanh (mm)

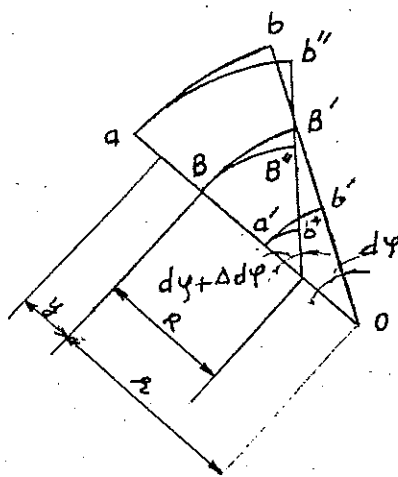
Bài toán thứ hai thực chất là bài toán ngược trong sức bền vật liệu . Secmăng là một thanh cong dưới tác dụng của ngoại lực  $Q_2$  bị chuyển vị  $u$ . Chuyển vị  $u$  xác định được bằng phương pháp đo tại từng điểm trên toàn chu vi của secmăng.

Sơ đồ giải bài toán được nêu trên hình 1.17 và 1.18



Hình 1.17

Ngoại lực tác dụng lên thanh cong



Hình 1.18

Phân tố thanh cong trước và sau khi biến dạng.

Trên cơ sở khảo sát một thanh cong  $AC$  (h 1.17) Chịu tác dụng của các ngoại lực và Momen uốn trên mặt phẳng đường tâm của thanh, xét một phân tố thanh cong trước và sau khi biến dạng (H 1.18) ta xác định độ giãn dài tương đối của trục tâm.

$$\varepsilon_0 = \frac{R(d\varphi + \Delta d\varphi) - rd\varphi}{rd\varphi} \quad (1.2)$$

Độ giãn dài tương đối của thớ cách trục tâm một đoạn y là :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{y}{r+y} \left( \frac{\Delta d\varphi}{d\varphi} - \varepsilon_0 \right) \quad (1.3)$$

Ứng suất tại thớ bất kỳ là

$$\sigma = E \left[ \varepsilon_0 + \frac{y}{r+y} \left( \frac{\Delta d\varphi}{d\varphi} - \varepsilon_0 \right) \right] \quad (1.4)$$

Trên cơ sở điều kiện cân bằng của đoạn thanh cong BC ta tìm được quan hệ giữa Momen uốn M với chuyển vị hướng kính :

$$M = -EJ \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) = \frac{EJ}{r^2} \left( u + \frac{d^2 u}{d\varphi^2} \right) \quad (1.5)$$

Mặt khác Momen uốn có quan hệ với áp suất riêng của xecmăng theo biểu thức :

$$M = r^2 \int_{\alpha} p r \sin(\alpha - \varphi) d\alpha \quad (1.6)$$

Trong đó áp suất riêng p được biểu diễn ở dạng chuỗi Fuarie.

$$\frac{p}{p_0} = 1 + a_2 \cos 2\varphi + a_3 \cos 3\varphi + \dots + a_n \cos n\varphi \quad (1.7)$$

Với  $a_2 = \frac{p_2}{p_0}$ ,  $a_3 = \frac{p_3}{p_0}$ , ...,  $a_n = \frac{p_n}{p_0}$

Từ các biểu thức (5), (6), (7) ta tìm được :

$$u = \frac{S}{3\pi} \sum_{k=2}^n \frac{a_k}{k^2 - 1} \left[ (-1)^k F + G + H \right] \quad (1.8)$$

Với

$$F = \frac{\pi u}{S} + \frac{1}{3} (1 - \varphi \sin \varphi)$$

$$G = \frac{(-1)^k + 1}{2(k^2 - 1)} \cos[(2k - 2)\varphi]$$

$$H = \frac{1 - (-1)^k}{2(n^2 - 1)} \left\{ \cos[(2k - 3)\varphi] - \cos \varphi \right\}$$

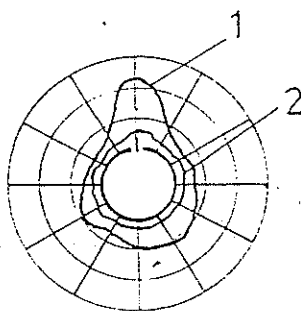
Đây là quan hệ n-1 phương trình có n-1 ẩn số. Chuyển vị u xác định được bằng cách đo ứng với các góc quay tương ứng  $\varphi$ . Giải phương trình này, ta tìm được các ẩn



Nguyên lý làm việc của thiết bị này như sau :

Secmăng 3 lắp trong vòng mềm 2 gá lên đĩa quay 1. Đầu dò của micromet tiếp xúc với vòng mềm ghi lại độ méo cần đo. Trên đĩa quay 1 có khắc độ để xác định góc  $\varphi$  tương ứng với độ méo (chuyển vị  $u$ ). Căn cứ trên độ méo này và dựa vào mối quan hệ phương trình 1.8 và 1.1, đưa số liệu vào máy vi tính ta sẽ có kết quả là hàm biểu đồ áp suất và có thể vẽ được biểu đồ áp suất của secmăng đó.

### 2.3. Kết quả biểu đồ áp suất của một loại secmăng :



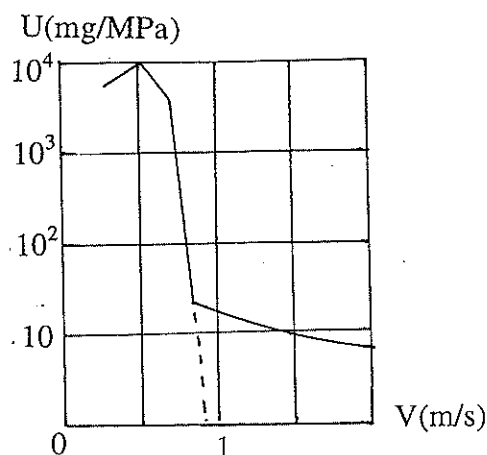
Hình 1.20

Trên hình 1.20 là biểu đồ áp suất của secmăng khí thứ nhất của động cơ diesel D12.

Từ biểu đồ áp suất ta thấy ban đầu áp suất tại vùng miệng lớn nhất (đường 1), sau một thời gian làm việc, áp suất vùng miệng giảm nhanh hơn nhiều so với những vùng khác (đường 2) và đạt trị số xấp xỉ những vùng khác trên chu vi của secmăng.

### 3. Quan hệ mòn và vận tốc trượt :

Để có thể rút ra kết luận chung cho cặp ma sát secmăng - xilanh theo ảnh hưởng của vận tốc, ta khảo sát đồ thị được xây dựng bởi Kragenxki và Svexova [1] cho cặp ma sát giữa sắt armcô và sắt armcô trong điều kiện ma sát không có bôi trơn trong không khí.



Hình 1.21. Biến thiên độ mòn của sắt armcô với sắt armcô phụ thuộc vào vận tốc trượt.

Cường độ mài mòn giảm đi khoảng 500 - 600 lần ở vận tốc 0,9m/s. Nhiệt độ tiếp xúc là 900<sup>0</sup>C. Đó là vận tốc tới hạn. Khi vận tốc nhỏ hơn, các lớp màng oxyt không kịp tạo thành do xâm thực sẽ xuất hiện hiện tượng bứt sâu, khi vận tốc tăng, nhiệt độ tiếp xúc cũng tăng, ở 900<sup>0</sup>C thì tốc độ oxy hóa sắt tăng một cách nhảy vọt, các màng oxyt tạo thành sẽ cô lập các bề mặt kim loại và sự xâm thực chấm dứt. Khi vận tốc tiếp tục tăng, sự mài mòn trở thành hao mòn oxy hóa.

Qua biểu đồ trên, ta thấy rằng vận tốc trượt ảnh hưởng lớn đến độ mài mòn mà thông số quan trọng là vận tốc tới hạn. Với các cặp ma sát khác nhau thì vận tốc tới hạn cũng khác nhau, mặt khác vận tốc tới hạn còn phụ thuộc vào nhiệt độ tại bề mặt ma sát mà điều này liên quan chặt chẽ tới hàng loạt thông số khác. Vận tốc tương đối giữa secmăng và mặt gương xilanh được đánh giá thông qua tốc độ của piston mà thông số này lại quan hệ đến vòng quay của trục khuỷu, mà vòng quay thì phụ thuộc vào nhiệm vụ của động cơ, chế độ làm việc của động cơ... do đó trong quan hệ độ mòn và vận tốc trượt đối với cặp ma sát secmăng - xilanh thì khó có thể đưa ra một tiêu chuẩn tối ưu để độ mòn nhỏ nhất.

#### **4. Quan hệ mòn với vật liệu chế tạo, công nghệ chế tạo :**

##### **4.1. Vật liệu chế tạo, công nghệ chế tạo :**

Với mỗi cặp ma sát bất kỳ nào thì vật liệu chế tạo của bề mặt ma sát liên quan chặt chẽ đến tốc độ mài mòn trong quá trình làm việc. Với secmăng thì vật liệu phổ biến để chế tạo hiện nay là gang xám. Sở dĩ người ta dùng gang xám làm vật liệu chế tạo secmăng vì nó thỏa mãn các yêu cầu đòi hỏi. Các yêu cầu đối với vật liệu chế tạo secmăng bao gồm :

a- Tính chống mòn cao :

Để đảm bảo được tính chống mòn, vật liệu làm secmăng phải có được các tính chất sau :

- Có hệ số ma sát với xilanh nhỏ nhất, có khả năng chịu tải trọng riêng cao ở nhiệt độ tương đối cao, điều kiện bôi trơn hạn chế và vận tốc trượt thay đổi cả về trị số và hướng.

- Có hệ số giãn nở nhiệt tương ứng, phù hợp với piston và xilanh.

- Có khả năng chống hiện tượng hàn tróc, dính.

- Có khả năng rà trơn tốt, nhanh chóng hình thành được bề mặt tiếp xúc đều với xilanh và rãnh piston.

- Có khả năng tự bôi trơn nhất định.

- Sau khi mòn vẫn có bề mặt ma sát mới ổn định, tạo điều kiện tiếp xúc đều liên tục với xilanh và rãnh piston.

- Các phần tử mòn tách ra từ bề mặt ma sát của secmăng phải đủ nhỏ để nếu có rơi vào vùng tiếp xúc của các bề mặt ma sát không làm ảnh hưởng lớn đến mòn và tuổi thọ của các cặp ma sát có liên quan.

b- Có môđun đàn hồi tương đối cao (dao động trong khoảng từ  $0,9 \cdot 10^5$  MPa đến  $1,4 \cdot 10^5$  MPa) và môđun đàn hồi này được duy trì tương đối ổn định trong suốt quá trình làm việc (trong điều kiện nhiệt độ tương đối cao).

c- Có tính chịu ăn mòn tốt trong môi trường khí cháy ở nhiệt độ cao chứa các chất gây ăn mòn như  $SO_2$ ,  $SO_3$ , hơi nước, ...

d- Có cấu trúc vật liệu bền vững khi chịu uốn ở nhiệt độ cao trong suốt quá trình sử dụng.

e- Có tỉ trọng vật liệu tương đối nhỏ để hạn chế lực quán tính khi chuyển động với vận tốc lớn trong suốt quá trình làm việc.

f- Có khả năng chế tạo đơn giản, rẻ tiền.

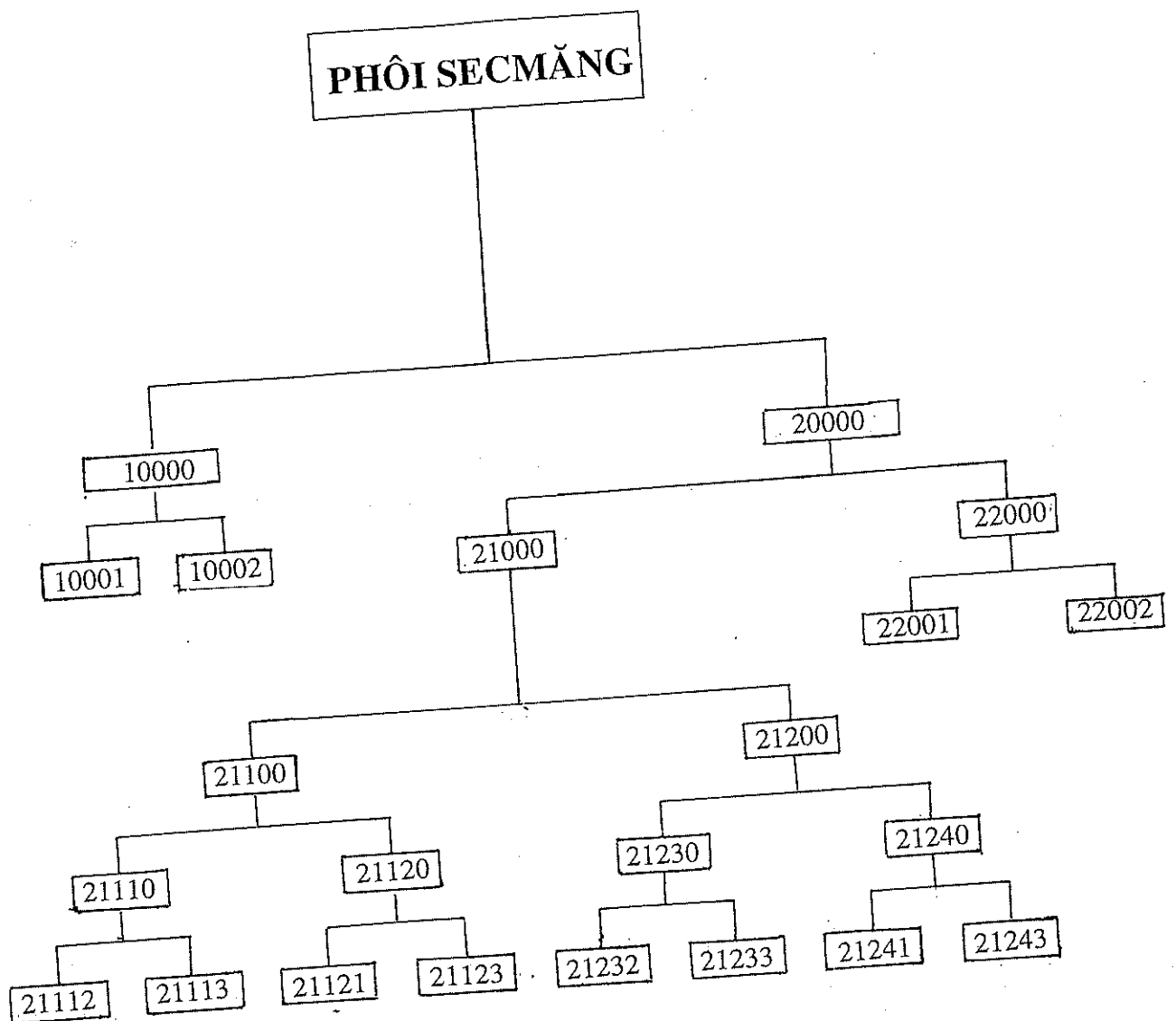
g- Có tính gia công tốt, dễ cắt gọt, dễ dàng tạo được bề mặt làm việc có độ nhẵn bóng cao, chống mòn tốt.

Như vậy có thể thấy rằng độ cứng và tính đàn hồi tốt là hai tiêu chuẩn tiên quyết của vật liệu làm secmăng, trong đó độ cứng sẽ quyết định đến sự mài mòn của secmăng, độ cứng do thành phần hóa học và cấu trúc tế vi của vật liệu qui định.

Thành phần hóa học của gang đúc secmăng phụ thuộc vào công nghệ tạo phôi và nhiệt luyện để đảm bảo tối đa các tính chất của vật liệu secmăng. Hiện nay, trên thế giới cũng như ở nước ta, secmăng bằng gang đúc được chế tạo từ 2 dạng phôi: đúc chiếc một và đúc ống. Tùy thuộc vào yêu cầu đối với cơ tính người ta thêm hoặc bớt một số nguyên tố trong gang để giúp cho quá trình kết tinh, tạo graphit, tạo lưới photphit cũng như để tạo thuận lợi cho quá trình nhiệt luyện nếu trong công nghệ chế tạo secmăng có thêm nguyên công nhiệt luyện. Các nguyên tố có mặt trong thành phần của secmăng là: C, Si, Mn, P, S, Cu. Một số loại secmăng có yêu cầu cao về cơ tính, tính chống mài mòn thì được thêm Cr, Ni, Mo, Ti.

Sơ đồ chế tạo phôi secmăng có thể được thể hiện như sau:

- Số thứ nhất chỉ đúc chiếc một (1), đúc ống (2).
- Số thứ hai chỉ dạng đúc: ly tâm (1), đúc tĩnh (2).
- Số thứ ba chỉ tính chất khuôn: Khuôn trần (1), có lớp lót (2).
- Số thứ tư chỉ đặc trưng truyền dẫn nhiệt của khuôn hoặc chất liệu lớp lót khuôn: (1) khuôn nguội dưới  $200^{\circ}C$ , (2) khuôn nóng trên  $200^{\circ}C$ , (3) khuôn có lớp áo cát cứng, (4) khuôn có lớp sơn lót.
- Số thứ năm chỉ phương pháp tạo biên dạng: (1) đúc méo và tiện méo, (2) đúc tĩnh và nhiệt luyện tạo biên dạng méo bằng gá banh miệng, (3) đúc tròn và nhiệt luyện tạo biên dạng méo bằng gá hình sao.



Ví dụ :

Động cơ diesel D12, qua khảo sát thành phần hóa học của secmăng :

\*Với loại secmăng đúc kiểu ống, ly tâm, khuôn kim loại trần, khuôn nguội dưới 200<sup>0</sup>C, đúc tròn nhiệt luyện tạo biến dạng méo bằng bánh miệng, thành phần gồm (tính theo %) :

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo	Cu	Ti
3,14	2,23	0,65	0,49	0,51	0,25	0,045	0,39	—	—

Độ cứng của mẫu đạt 98,2 HRB

\* Với loại secmăng đúc chiếc một, tiện méo thành phần gồm (%) :

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo	Cu	Ti
3,04	2,15	0,89	0,23	0,20	0,23	0,059	0,28	0,32	0,18

Độ cứng của mẫu đạt 95,1 HRB

Như vậy với các phương pháp chế tạo khác nhau, thành phần hóa học khác nhau, độ cứng của secmăng sẽ khác nhau và từ ví dụ trên ta thấy rằng loại secmăng được chế tạo theo các bước công nghệ 1 có độ cứng cao hơn loại 2 và như vậy tính chống mòn của nó sẽ tốt hơn.

Hiện nay, các nghiên cứu về vật liệu chế tạo secmăng đã chỉ ra việc mạ một lớp crôm xốp cho secmăng sẽ tăng tính chống mòn của secmăng một cách đáng kể. Trong một bộ secmăng thì những secmăng được mạ crôm xốp sẽ có lượng mòn thấp hơn đáng kể so với những secmăng không được mạ sau một thời gian làm việc. Hình 1.15 cho thấy lượng mòn trung bình của secmăng khí thứ nhất không chênh lệch nhiều so với các secmăng khác tuy điều kiện làm việc khắc nghiệt hơn. Còn secmăng số 4 được mạ crôm xốp thì lượng mòn trung bình nhỏ hơn hẳn so với các secmăng còn lại.

#### 4.2. Khảo sát tính chống mòn của vật liệu secmăng :

Để khảo sát tính chống mòn của vật liệu secmăng phải tiến hành các thí nghiệm trên mẫu secmăng về hệ số ma sát, khảo sát trong điều kiện ma sát không bôi trơn và khảo sát trong điều kiện mài mòn có hạt mài.

Các thí nghiệm được tiến hành trên những thiết bị chuyên dụng. Từ các thí nghiệm người ta giải bài toán qui hoạch các thực nghiệm này và xây dựng thành đồ thị quan hệ giữa tốc độ trượt, áp suất pháp tuyến và lượng mài mòn sau một thời gian thử, từ các đồ thị này có thể đánh giá được chất lượng của vật liệu làm secmăng.

#### 5. Quan hệ mòn - bôi trơn :

Bôi trơn có ý nghĩa tối quan trọng đối với bề mặt ma sát, ngoài công dụng hình thành lớp chêm dầu để tránh sự tiếp xúc trực tiếp của các bề mặt kim loại ma sát, dầu bôi trơn còn có nhiệm vụ "tẩy rửa" các bề mặt ma sát, đem đi những hạt tạp chất có hại, trung hòa các chất gây ăn mòn được tạo ra trong khi làm việc...

Với cặp ma sát secmăng-xilanh, điều kiện và môi trường làm việc khắc nghiệt, vì vậy yêu cầu đối với dầu bôi trơn càng đòi hỏi cao hơn nữa. Hiện nay về phương diện bôi trơn trong tribology, người ta nghiên cứu hai lĩnh vực: kỹ thuật bôi trơn và chất lượng dầu bôi trơn phù hợp với điều kiện làm việc của cặp ma sát, trong phạm vi luận án, người viết xin đề cập sâu đến lĩnh vực chất lượng dầu bôi trơn.

Dầu nhờn dùng cho diesel tàu thủy theo chức năng có thể chia thành :

- Dầu bôi trơn tuần hoàn : Dùng trong hệ thống tuần hoàn, bôi trơn cho các ổ đỡ của trục khuỷu, hệ thống trục cam, bạc trên, chốt piston...

- Dầu xilanh : Dùng bôi trơn cho sơ mi xilanh của động cơ

- Dầu chuyên dùng : Dầu dùng riêng cho máy nén hệ thống lạnh, dầu dùng riêng cho tua bin máy nén tăng áp.

Hiện nay, các động cơ diesel có patanh bàn trượt thì áp dụng hệ thống bôi trơn riêng biệt nghĩa là song song tồn tại hệ thống bôi trơn tuần hoàn và hệ thống bôi trơn xilanh. Còn hầu hết các động cơ không có patanh bàn trượt thì dùng dầu tuần hoàn bôi trơn cho cả xilanh.

### **5.1 Bôi trơn xilanh động cơ có patanh bàn trượt :**

Đối với dầu xilanh dành cho động cơ có patanh bàn trượt thì các yêu cầu sau đây phải được bảo đảm :

- Bôi trơn tốt các bề mặt sơ mi xilanh và secmăng , loại trừ được ma sát khô.

- Bảo vệ sơ mi xilanh và các secmăng không bị ăn mòn và trung hòa được các hợp chất ăn mòn tạo thành trong quá trình cháy của nhiên liệu.

- Giữ sạch bề mặt ma sát nhờ khả năng hòa tan, phân tán hoặc cuốn hút các hạt cứng của sản phẩm cháy và mặt kim loại do mài mòn các chi tiết.

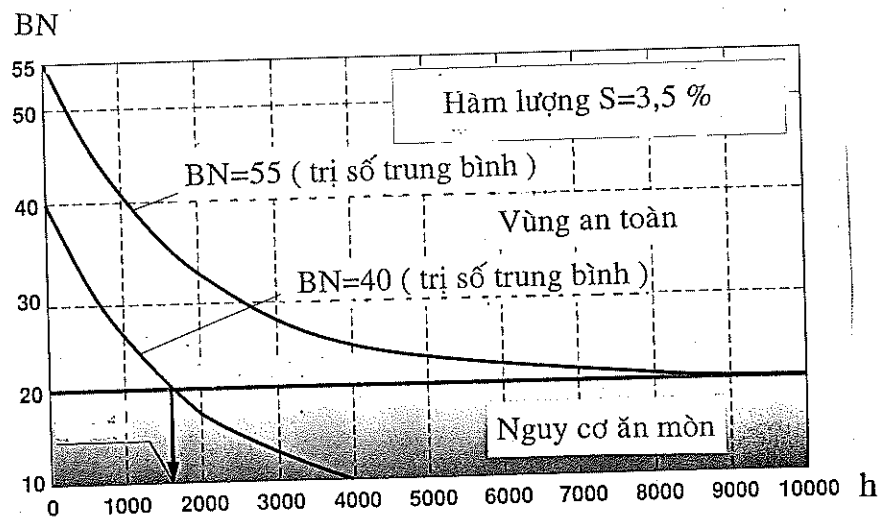
Dầu bôi trơn xilanh có độ nhớt lớn hơn so với dầu tuần hoàn vì nó phải bảo đảm các yêu cầu về bôi trơn, chịu tải... ở chế độ nhiệt cao, điều này dẫn đến làm tăng khả năng tạo muội. Để trung hòa các hợp chất lưu huỳnh có trong nhiên liệu và tạo thành trong khi cháy, người ta cho thêm chất phụ gia vào dầu bôi trơn xilanh và khả năng trung hòa đó được đặc trưng bằng chỉ số kiềm trong dầu bôi trơn. Chỉ số kiềm được xác định bằng mg KOH trong 1g dầu (các ký hiệu quốc tế dùng ký tự BN để chỉ độ kiềm).

Sự hiện diện của S trong nhiên liệu nặng dùng cho các động cơ có patanh bàn trượt (hàm lượng vào khoảng 3%) là nguyên nhân gây ra hiện tượng ăn mòn hóa học mãnh liệt của cặp ma sát secmăng-xilanh. Khi cháy, lưu huỳnh trong nhiên liệu sinh ra  $SO_2$  và  $SO_3$  , các sản phẩm này sẽ kết hợp với hơi nước có trong không khí nạp cũng như hơi nước trong quá trình cháy tạo ra axit sunphurơ và axit sunphuric. Lượng axit sunphuric với tính axit mạnh gấp 10 lần axit sunphurơ là nguyên nhân chủ yếu gây ra ăn mòn hóa học. Sự hiện diện của axit sunphuric trong khí cháy tự nó không gây ăn mòn mạnh. Sự ăn mòn chỉ xuất hiện khi axit tiếp xúc với bề mặt nhiệt độ thấp hơn ở xilanh và ngưng tụ thành dạng lỏng. Lượng axit ngưng tụ có liên quan đến nhiệt độ xilanh và điểm sương của axit. Nhiệt độ xilanh gia tăng sẽ làm giảm lượng axit ngưng tụ và vì thế sự ăn mòn axit sẽ giảm xuống. Đây là một cách giải thích đơn giản vì còn có một vài yếu tố khác có liên quan đến vấn đề này chẳng hạn như :

- Cấu trúc kim loại của xilanh và secmăng
- Mức độ gia công tinh bề mặt xilanh và secmăng
- Tỷ số hành trình và đường kính xilanh
- Độ sạch của sản phẩm cháy - lượng vật thể dạng hạt trong sản phẩm cháy ảnh hưởng đến mức độ ăn mòn .
- Độ dày của màng dầu bôi trơn

Nếu như không thể gia tăng nhiệt độ của xilanh và chế độ mang tải của động cơ không biến đổi lớn thì việc khống chế ăn mòn chỉ có thể thực hiện bằng cách tăng chất lượng và số lượng dầu xilanh . Tuy vậy các thí nghiệm của hãng Castrol chỉ ra rằng việc nâng cao lưu lượng dầu xilanh ảnh hưởng rất thấp đến mức độ ăn mòn, lãng phí dầu và làm tăng chi phí một cách không cần thiết.

Gia tăng lượng kiềm trong dầu xilanh sẽ làm giảm đáng kể mức độ ăn mòn. Cũng với các nghiên cứu của Castrol , thấy rằng việc gia tăng lượng kiềm sẽ làm tăng giá thành của dầu nhưng xét về tính kinh tế thì vẫn có lợi. Đồ thị h1.22 thể hiện quan hệ sự thay đổi chỉ số kiềm theo số giờ làm việc của động cơ (nguồn Wartsila diesel [24]) . Đồ thị được xây dựng cho loại nhiên liệu có hàm lượng S là 3,5%.



Hình 1.22

## 5.2. Bôi trơn động cơ không có patanh bàn trượt :

Hầu hết các động cơ diesel tàu thủy không patanh bàn trượt phổ biến trong thập niên 1990 là các động cơ trung tốc chạy bằng nhiên liệu nặng (HFO). Các đặc điểm của các kiểu động cơ này là :

- Áp suất cháy và tỷ số nén cao .
- Tốc độ trung bình của piston cao .
- Nhiệt độ cháy cao .

Kết quả là các cơ phận của động cơ phải chịu đựng các yêu cầu hoạt động khắc nghiệt hơn, trong đó có dầu bôi trơn. Để có thể đáp ứng được những yêu cầu khắc nghiệt này, các chủng loại dầu bôi trơn phải thích ứng với từng ứng dụng có yêu cầu kỹ thuật riêng biệt nhằm đảm bảo hiệu quả bôi trơn, độ tin cậy của động cơ cũng như tuổi thọ của động cơ. Trong quá trình hoạt động của động cơ, dầu bôi trơn phải đảm bảo 4 chức năng sau :

- \* Đảm bảo sự bôi trơn giữa các chi tiết chuyển động (ổ đỡ, trục cam, secmăng-xilanh) .

- \* Trung hòa các axit hình thành trong quá trình cháy.

- \* Thực hiện chức năng của một phương tiện chuyển tải để đưa các cặn và các sản phẩm cháy đến hệ thống phân ly .

- \* Thực hiện chức năng làm mát (ổ đỡ, piston).

Với các chức năng như vậy, dầu bôi trơn dùng cho động cơ không có patanh-bàn trượt khác với dầu tuần hoàn ở động cơ có patanh - bàn trượt về khả năng trung hòa axit, khả năng chống tạo muội và khả năng làm sạch. Nó cũng phải có khả năng dung hòa được các muối khoáng tạo thành trong quá trình cháy của nhiên liệu có hàm lượng S và muối cao, vì những muối này sẽ gây ăn mòn điện hóa mãnh liệt trên các bề mặt công tác của chi tiết. Đặc biệt quan trọng là phải có quá trình trung hòa các hợp chất có tính axit ở cacte, vì khi bôi trơn xilanh xong , dầu sẽ được gạt về cacte kéo theo các axit, các hợp chất ăn mòn và cả những hạt mài. Cuối cùng chúng sẽ hòa trộn với dầu trong cacte của động cơ.

Trong thực tế, sự lựa chọn dầu bôi trơn không phải chỉ để đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của nhà chế tạo động cơ mà còn phải xét đến đặc tính của loại nhiên liệu sử dụng. Vì thế dầu bôi trơn, động cơ và nhiên liệu hình thành một mối quan hệ ba chiều. Những thay đổi không hợp lý của một trong ba yếu tố này sẽ gây nên những tác hại đến tính năng của động cơ và có thể dẫn đến hư hỏng các cơ phận của động cơ.

### **5.3. Thay thế và lựa chọn dầu nhờn :**

#### **5.3.1. Thay thế :**

Trong thời gian động cơ làm việc, các thông số biểu thị chất lượng của dầu nhờn bị giảm sút. Vì thế, để đảm bảo độ tin cậy trong khai thác hệ thống dầu bôi trơn nói chung và dầu xilanh nói riêng, người ta đưa ra các chỉ số phê thải về độ nhớt động học, về hàm lượng các cặn chất không hòa tan, về dung dịch axit, dung dịch kiềm, về hàm lượng nước, hàm lượng dầu đốt có trong dầu. Khi giá trị các chỉ số phê thải đạt đến giới hạn cho phép thì dầu bôi trơn không đảm bảo độ tin cậy cho quá trình khai thác tiếp. Để kéo dài thời gian sử dụng và bổ sung sự hao hụt của dầu nhờn trong quá trình khai thác, người ta tiến hành lọc, phân ly và bổ sung dầu sạch

vào hệ thống bôi trơn một cách thường xuyên theo qui định. Kinh nghiệm khai thác cho thấy, bổ sung dầu sạch vào hệ thống thường xuyên và ít một là có lợi nhất.

Việc thay dầu mới cho động cơ diesel chỉ được tiến hành khi các chỉ số phế thải đạt đến giới hạn cho phép và sau khi đã tiến hành các phương pháp lọc, phân ly và bổ sung dầu sạch mà các chỉ số đó không đạt được giá trị yêu cầu.

Thời gian định kỳ kiểm tra chất lượng dầu hệ thống trong động cơ không có patanh bàn trượt nằm ở khoảng 500 giờ công tác, đối với dầu xilanh của động cơ có patanh bàn trượt là ở khoảng 1500 giờ. Ở trên tàu có thể sử dụng các dụng cụ sẵn có để kiểm tra lại độ nhớt, tỉ trọng, nhiệt độ bén lửa của dầu nhớt cũng như kiểm tra lại hàm lượng nước, axit, kiềm chứa trong dầu. Loại kiểm tra này cần tiến hành trong khoảng thời gian 150 giờ đối với động cơ không có patanh bàn trượt, và 500 giờ đối với động cơ có patanh bàn trượt.

### **5.3.2. Lựa chọn dầu nhớt :**

Việc lựa chọn dầu nhớt được tiến hành dựa vào chủng loại động cơ ( có patanh bàn trượt hay không có patanh bàn trượt), mức độ cường hóa của nó, dựa vào hàm lượng lưu huỳnh chứa trong dầu bôi trơn và dựa vào chất lượng nhiên liệu đang sử dụng. Đối với dầu xilanh cũng như dầu hệ thống, với một loại động cơ nhất định thì trong tài liệu hướng dẫn khai thác do hãng chế tạo động cơ đã qui định sẵn dầu cần dùng cho diesel.

#### Ví dụ :

Đối với diesel "B&W" loại K và L - GFC, hãng chế tạo đề nghị sử dụng một trong những loại dầu bôi trơn sau :

BP Energol CLO - 50M, Castrol Marine S/OZ, Chevron Delo Special, ESSO Tro - Mar SV, Mobilgard 570, shell Alexia Oil 50 và Texaco Taro Special.

Thường các hãng cũng hay dựa vào hàm lượng lưu huỳnh chứa trong dầu đốt để lập các danh sách dầu bôi trơn cần sử dụng

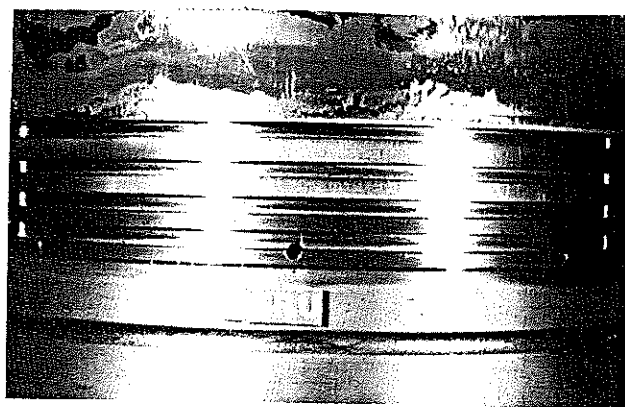
#### Ví dụ :

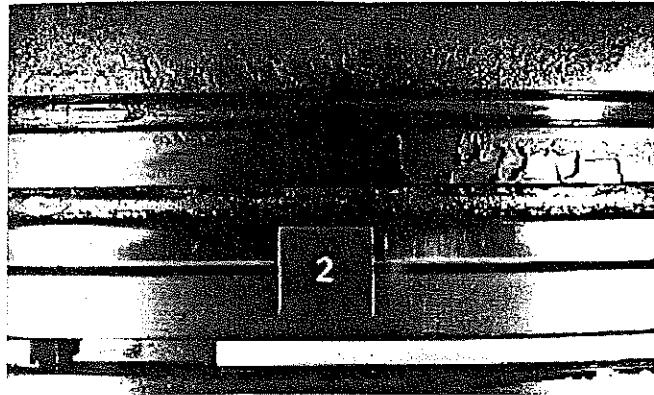
Qui định về dầu xilanh dùng cho diesel RND, RBD, ...M, RLA và RLB của hãng Sulzer :

Hãng sản xuất	Dầu bôi trơn xi lanh khi dầu đốt có hàm lượng lưu huỳnh (%)	
	0,5 ÷ 1 %	> 1 %
BP	Energol DL - MP40	Energol CLO - 50M
Castrol	Castrol Marine MPX50	Castrol Marine S/DZ65
Chevron	Chevron Delo 1000 M.oil	Chevron Delo Cyl Lub - Special
Esso	Tro - Mar SR 40	Tro - Mar SV hay Tro Mar 80X
Mobil	Mobil Gard 412	Mobil Gard 570
Shell	Alexia oil D	Alexia X. oil
Texaco	Taro X0 40	Taro - Special

Trong trường hợp không có qui định cụ thể về loại dầu bôi trơn do hãng chế tạo diesel ban hành, thì có thể dựa vào các thông số kỹ thuật của các loại dầu do một số hãng qui định trên cơ sở tích lũy kinh nghiệm khai thác diesel của họ để lựa chọn loại dầu thích hợp cho việc sử dụng đối với loại động cơ đang khai thác.

Dầu bôi trơn xi lanh hiện nay có thể dựa vào giá trị TBN tức là dựa vào khả năng trung hòa các hợp chất axit tạo ra từ lưu huỳnh có trong nhiên liệu để chia thành 2 loại : dầu có tính kiềm trung bình (TBN = 30÷40) và dầu có tính kiềm cao (TBN = 50÷100). Dầu bôi trơn có tính kiềm cao được sử dụng khi nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh cao (2÷5%). Trong trường hợp nhiên liệu có chứa ít lưu huỳnh mà dùng dầu bôi trơn có tính kiềm cao sẽ xảy ra hiện tượng bám tro xỉ trên các rãnh secmăng (h1.23) do kiềm cháy không hết tạo nên, và chính tro xỉ này gây hiện tượng mài mòn hạt mài. Bên cạnh đó, sử dụng dầu có tính kiềm cao không hợp lý sẽ gây sự lãng phí rất lớn.





Hình 1.23

Khi sử dụng dầu nhẹ, yêu cầu đối với dầu bôi trơn giảm xuống, chỉ số kiểm trong trường hợp này cũng giảm và giá trị lớn nhất của nó khoảng  $15 \div 16$ .

#### **6. Một số kết luận :**

Qua khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng tới mòn của secmăng ta thấy rằng :

- 1- Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ mòn của secmăng
- 2- Các yếu tố này có quan hệ với nhau, ngay khi một yếu tố thay đổi có thể dẫn đến sự thay đổi của các yếu tố khác.
- 3- Từng điểm của secmăng sẽ có độ mòn sau một thời gian làm việc do chế độ ma sát, bôi trơn tại các điểm đó khác nhau.
- 4- Bên cạnh các yếu tố về công nghệ, vật liệu, yếu tố chủ quan của người khai thác vận hành đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao tuổi thọ của secmăng nói riêng và các chi tiết khác của động cơ nói chung.

5- Việc áp dụng tribology - khoa học về ma sát trong nghiên cứu về mòn và tuổi thọ của secmăng từ đó đưa ra những giải pháp tối ưu cho thiết kế, chế tạo và khai thác đang được phát triển và đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể.

#### **Mục tiêu của luận án :**

\* Nghiên cứu, xác định độ mòn tại từng điểm của secmăng bằng phương pháp tạo chuẩn nhân tạo (khoét vết lõm) .

\* Dự báo tuổi thọ của secmăng theo xác suất không hỏng do mòn.

## PHẦN II

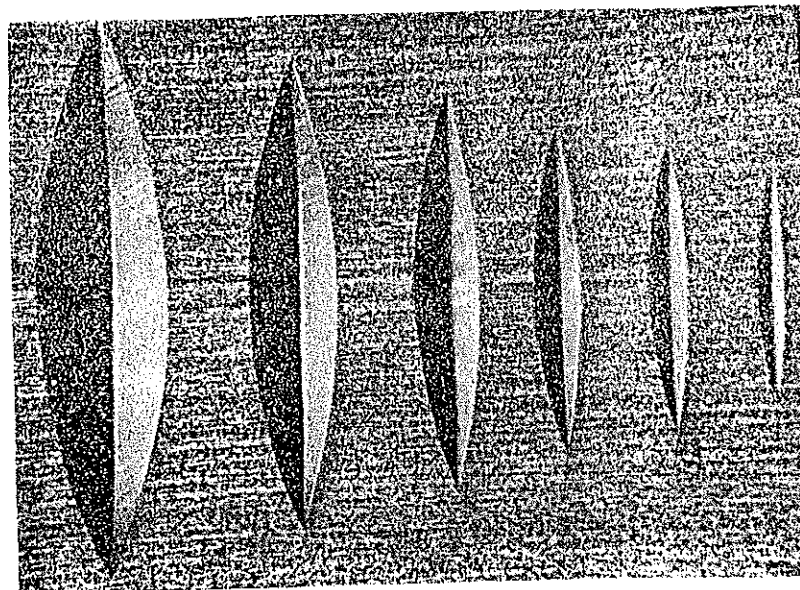
# MÒN VÀ TUỔI THỌ CỦA SECMĂNG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

### CHƯƠNG 3.

## PHƯƠNG PHÁP ĐO MÒN NHANH NHỜ CHUẨN NHÂN TẠO (PHƯƠNG PHÁP KHOẾT VẾT LỖM)

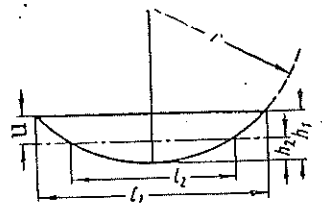
### 1. Giới thiệu về phương pháp khoét vết lõm :

Khi khoét trên bề mặt ma sát cần đo mòn những vết lõm sẽ được tạo thành, với hình dạng tùy thuộc vào dạng của dao khoét. Với dạng dao khoét phù hợp, ta sẽ có các vết lõm phù hợp và sự đo đạc sẽ càng chính xác. Hình 2.1 thể hiện hình dạng vết lõm trên bề mặt ma sát.



Hình 2.1

Nguyên tắc của việc đo mòn bằng phương pháp khoét vết lõm thể hiện trên hình 2.2



Hình 2.2

Giả sử có một mặt phẳng trên đó được khoét một vết lõm,  $r$  là bán kính dao khoét, ban đầu chiều sâu của rãnh là  $h_1$  tương ứng với chiều dài là  $l_1$ , sau một thời

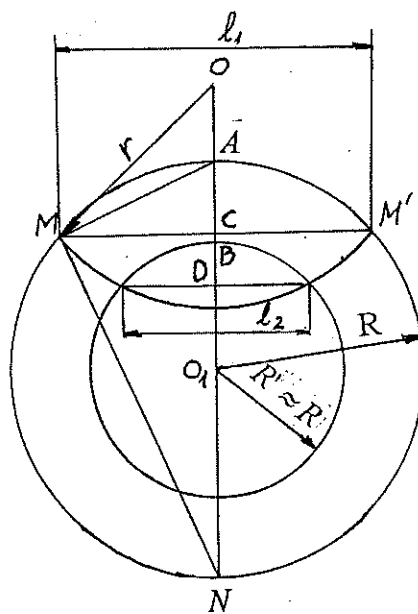
gian bề mặt ma sát làm việc bị mòn và chiều sâu của rãnh bây giờ còn là  $h_2$  và chiều dài của rãnh là  $l_2$ , như vậy thông qua sự thay đổi chiều dài của rãnh ta sẽ tính được sự thay đổi chiều sâu của rãnh, đó chính là độ mòn của bề mặt tại điểm khoét rãnh. Độ mòn  $U$  được xác định như sau :

$$U = h_1 - h_2$$

Hay

$$U = \sqrt{\left(r^2 - \frac{l_2^2}{4}\right)} - \sqrt{\left(r^2 - \frac{l_1^2}{4}\right)} \quad (2.1)$$

Công thức (2.1) áp dụng cho mặt phẳng, vấn đề là phải tìm được công thức tổng quát xác định độ mòn cho cả mặt lồi lẫn mặt lõm và mặt phẳng chỉ là một trường hợp riêng.



Hình 2.3

Trên hình 2.3 thể hiện trường hợp khoét vết lõm trên một mặt trụ lồi, bài toán đặt ra như sau :

Giả sử cần xét độ mòn trên một mặt trụ lồi có thiết diện là đường tròn tâm  $O_1$ , ta khoét những vết lõm trên bề mặt đó. Gọi  $o$  và  $r$  là tâm và bán kính quay của dao. Giả sử tại lân cận của rãnh mặt trụ bị mòn từ  $R$  xuống  $R'$  ứng với chiều dài quan sát được là  $l_1$  và  $l_2$  tại hai thời điểm  $t_1$  và  $t_2$ .

Độ mòn  $U$  của mặt trụ trong khoảng thời gian đó là :

$$U = AB = DA - DB = AC + CD - DB \quad (2.2)$$

Xét tam giác vuông  $AMN$ , ta có :

$$CM^2 \approx AM^2 = AN.AC$$

$$\Rightarrow AC = \frac{AM^2}{AN} = \frac{CM^2}{AN}$$

Thay  $CM = \frac{l_1}{2}$ , ta có :

$$AC = \frac{l_1^2}{8R} \quad (2.3)$$

Làm tương tự, ta có :

$$BD = \frac{l_2^2}{8R'} = \frac{l_2^2}{8(R-AB)}$$

Ta biết  $AB \ll R$ , với độ chính xác chấp nhận được, ta có thể xem :

$$BD = \frac{l_2^2}{8R} \quad (2.4)$$

Đồng thời, ta thấy :

$$CD = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} \quad (2.5)$$

Thay các công thức (2.3), (2.4), (2.5) vào (2.2), ta có :

$$U = \frac{l_1^2}{8R} + \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} - \frac{l_2^2}{8R} = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8R} + \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r}$$

$$U = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (2.6)$$

Tương tự với bề mặt lõm, ta có :

$$U = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (2.7)$$

Nếu ta ký hiệu  $m = \frac{r}{R}$ , thì :

$$U = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} (1 \pm m) \quad (2.8)$$

Dấu "+" ứng với mặt lồi

Dấu "-" ứng với mặt lõm

Trong trường hợp mặt phẳng thì  $R \rightarrow \infty$ , do vậy  $m=0$ , công thức (2.8) trở thành :

$$U = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8r} \quad (2.9)$$

Vậy : công thức (2.8) là trường hợp tổng quát, công thức (2.9) chỉ là một trường hợp riêng.

## 2. Đánh giá về độ chính xác của phương pháp khoét vết lõm :

Phương pháp khoét vết lõm cho ưu điểm lớn nhất là có thể xác định một cách rất chính xác độ mòn tại nhiều điểm trên bề mặt ma sát. Nếu như có một phương pháp nào đó được đánh giá là chính xác hơn phương pháp khoét vết lõm thì việc xác định độ chính xác của phương pháp này sẽ dẫn đến việc so sánh phương pháp khoét vết lõm với phương pháp đó nhưng thực sự hiện nay những phương pháp như vậy chưa được công bố. Việc giải bài toán xác định độ mòn bằng phương pháp khoét vết lõm trước tiên yêu cầu phải đánh giá hết những sai số có thể xảy ra bởi khi khảo sát, ta không chỉ khảo sát có một loại bề mặt, bằng một loại dụng cụ, trong một điều kiện cụ thể nào cả.

Cơ sở việc xác định độ mòn bằng phương pháp khoét vết lõm đã thể hiện trên hình 2.2

Từ công thức (2.1), nếu xem  $l_1, l_2$  là các biến vi phân và cho chúng những số gia  $\Delta l_1, \Delta l_2$  thì ta sẽ nhận được sai số từ việc xác định chiều sâu của rãnh theo sai số từ việc đo chiều dài của rãnh.

$$\Delta h_1 = \frac{l_1}{4} \left( r^2 - \frac{l_1^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \Delta l_1$$

Hay

$$\Delta h_1 = \frac{l_1 \Delta l_1}{4(r - h_1)}$$

Vì  $r \gg h_1$  nên với độ chính xác vừa đủ, ta có thể xem :

$$\Delta h_1 = \frac{l_1}{4r} \Delta l_1$$

Cũng như vậy, ta xác định

$$\Delta h_2 = \frac{l_2}{4r} \Delta l_2$$

Như vậy, sai số tuyệt đối của việc đo được xác định

$$\Delta_1 = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \frac{l_1}{4r} \Delta l_1 + \frac{l_2}{4r} \Delta l_2$$

Nếu như ta tiến hành đo trên cùng một thiết bị, với cùng một người quan sát thì lúc đó có thể xem  $|\Delta l_1| = |\Delta l_2|$  và ta sẽ có :

$$\Delta_1 = \frac{l_1 + l_2}{4r} \Delta l \quad (\text{với } \Delta l = \Delta l_1 = \Delta l_2) \quad (2.10)$$

Tương ứng ta sẽ có sai số tương đối

$$\eta_1 = \frac{\Delta_1}{U} = \frac{l_1 + l_2}{4r} \Delta l \frac{8r}{l_1^2 - l_2^2}$$

$$\eta_1 = \frac{2\Delta l}{l_1 - l_2} \quad (2.11)$$

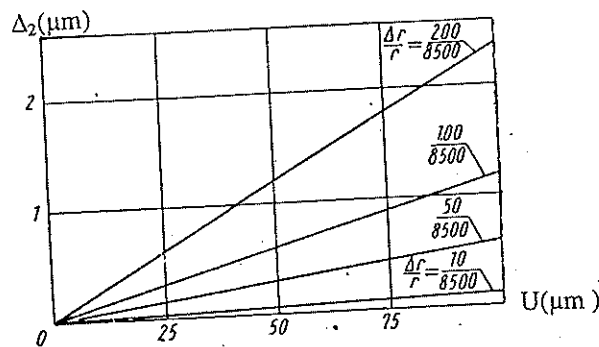
Bằng cách phân tích tương tự như trên, ta tìm được sai số tuyệt đối trong việc đo bán kính quay của đầu dao :

$$\Delta_2 = \frac{\Delta r}{r} (h_1 - h_2) \quad (2.12)$$

Và sai số tương đối tương ứng là :

$$\eta_2 = \frac{\Delta_2}{U} = \frac{\Delta r}{r} (h_1 - h_2) \frac{1}{h_1 - h_2} = \frac{\Delta r}{r} \quad (2.13)$$

Trên đồ thị hình 2.4 chỉ ra sự phụ thuộc của sai số tuyệt đối  $\Delta_2$  (tính bằng  $\mu\text{m}$ ) vào trị số  $\frac{\Delta r}{r}$  ở những độ mòn  $U$  khác nhau ( $r$  lấy bằng  $8,5 \text{ mm} = 8500 \mu\text{m}$ ).



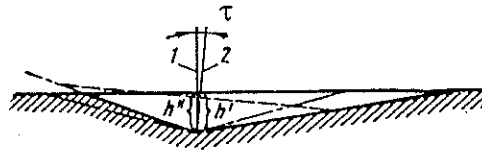
Hình 2.4

Sự phụ thuộc của  $\Delta_2$  vào  $\frac{\Delta r}{r}$  và  $U$

Ta thấy rằng khi  $U < 50 \mu\text{m}$  thì nếu như  $\pm \frac{\Delta r}{r} \cdot 100\% \approx 1\%$  (điều này tương ứng với việc đo bán kính bằng  $8500 \mu\text{m}$  gần đúng với độ chính xác đến  $\pm 100 \mu\text{m}$ ) thì khi ấy, sai số  $\Delta_2$  không vượt quá  $\pm 0,6 \mu\text{m}$ . Nếu ta có thể đo bán kính quay  $r$  với độ chính xác đến  $0,1\%$  tức là  $\Delta r \approx \pm 10 \mu\text{m}$  và độ mòn bình thường được xác định từ  $20 \mu\text{m}$  đến  $30 \mu\text{m}$  thì  $\Delta_2$  không vượt quá  $0,1 \mu\text{m}$ .

Khi trục quay của đầu dao cắt rãnh không song song với bề mặt mà nó cắt (đối với mặt trụ thì đó là mặt phẳng tiếp xúc đi qua bề mặt tại vị trí xác định độ mòn) thì pháp tuyến của bề mặt đi qua điểm xác định độ mòn và pháp tuyến với đường cong của đáy rãnh qua vị trí chiều sâu lớn nhất của nó sẽ không trùng nhau.

Trong trường hợp này, sai số tuyệt đối ( $\Delta_3$ ) có thể được xác định từ hình 2.5, trên đó biểu diễn tiết diện ngang của rãnh tại vị trí xác định độ mòn.



Hình 2.5

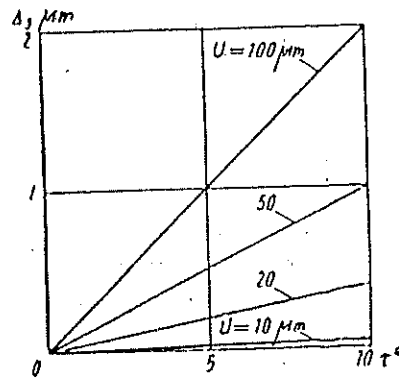
Minh họa trường hợp xuất hiện  $\Delta_3$

- 1- Pháp tuyến của bề mặt .
- 2- Mặt phẳng quay của đầu dao .

Để đơn giản hóa, ta có thể giả thiết rằng rãnh bị mòn hoàn toàn tức là  $U = h_1$ ,  $h_2 = 0$ ,  $l_2 = 0$  thì  $\Delta_3$  sẽ bằng sai số của việc xác định  $h_1$ , tức là :

$$\Delta_3 = h' - h'' = h'(1 - \cos\tau) \quad (2.14)$$

Hình 2.6 thể hiện quan hệ giữa sai số  $\Delta_3$  với góc  $\tau$ , tương ứng với những giá trị khác nhau của độ mòn  $U$ .



Hình 2.6

Góc nghiêng của mặt phẳng quay đỉnh dao không vượt quá  $12^\circ$  vì khi đó một mép cắt sẽ trở thành mặt gần như song song với bề mặt cắt rãnh và như vậy sẽ không nhận được kết quả trong trường hợp này.

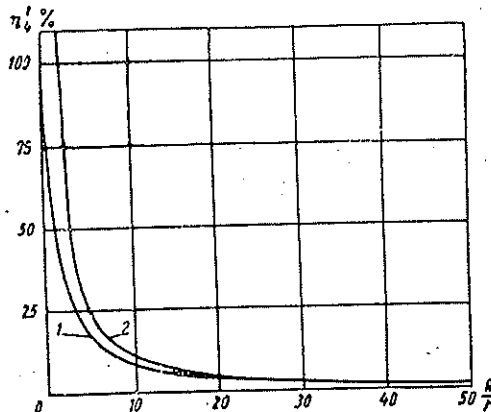
Nếu góc  $\tau$  nhỏ thì có thể xem như rãnh là đối xứng với trục dọc của nó. Độ chính xác có thể xem như đạt yêu cầu nếu cắt trên mặt nhẵn và giá trị của  $\tau$  không vượt quá  $30'$ . Nếu xem như  $0,5^\circ < \tau < 10^\circ$  và nếu cắt rãnh có chiều sâu đến  $100 \mu\text{m}$  thì giá trị của  $\Delta_3$  và  $\eta_3$  tương ứng trong giới hạn :

$$0,04 \mu\text{m} < \Delta_3 < 2 \mu\text{m}$$

$$0,2\% < \eta_3 < 2\%$$

Khi khoét rãnh trên mặt cong, có thể áp dụng công thức (2.8) để tránh sai số, nếu không thì sẽ mắc phải sai số do độ cong của bề mặt cần đo mòn gây nên.

Hình 2.7 chỉ ra sai số tương đối khi xác định độ mòn (do bề mặt không phẳng),  $\eta_4^1$  quan hệ với tỉ số  $\frac{R}{r}$ , trong đó R là bán kính của bề mặt, r là bán kính quay của đỉnh đầu dao (đường cong 1 dùng cho bề mặt lồi và đường cong 2 dùng cho bề mặt lõm).



Hình 2.7

Ta thấy khi  $\frac{R}{r} \approx 60$  thì  $\eta_4^1 = 2\%$ , còn khi  $\frac{R}{r} < 10$  thì  $\eta_4^1$  tăng rất nhanh. Vì vậy, trong tất cả các trường hợp nếu không áp dụng công thức (2.8) thì phải hiệu chỉnh. Đại lượng hiệu chỉnh bằng sai lệch  $\eta_4^1$  lấy dấu ngược lại, tức là :

$$\pm \eta_4^1 = \frac{1}{\left(\frac{R}{r} \pm 1\right)} \% = \frac{1}{n \pm 1} \quad (2.15)$$

Trong đó  $n = \frac{R}{r}$

Lúc này, sai số tuyệt đối là :

$$\pm \Delta_4^1 = \frac{\ell_1^2 - \ell_2^2}{8r} \frac{1}{n} \quad (2.16)$$

Dấu (+) dùng cho bề mặt lồi .

Dấu (-) dùng cho bề mặt lõm .

Khi ta xác định độ mòn của bề mặt trụ có bán kính nhỏ  $\eta_4^1$  tăng rất nhanh ( $r = \text{const}$ ). Do đó độ chính xác của việc xác định R cũng quan trọng không kém việc xác định r.

Lần lượt gọi  $\Delta_4$  và  $\eta_4$  là sai số tuyệt đối và tương đối của việc xác định độ mòn bề mặt trụ khi không xác định chính xác  $R$ , ta có :

$$\Delta_4 = \pm \frac{0,125(\ell_1^2 - \ell_2^2)}{R^2} \Delta R \quad (2.17)$$

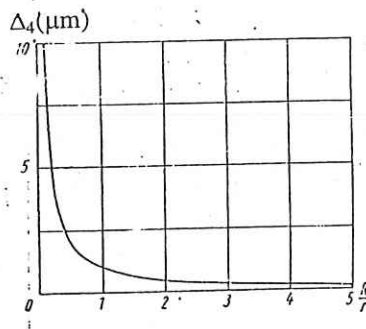
Hay

$$\Delta_4 = \pm \frac{\ell_1^2 - \ell_2^2}{8r} \frac{1}{n} \frac{\Delta R}{R} \quad (2.18)$$

và

$$\eta_4 = \frac{\Delta_4}{U} = \pm \frac{\Delta R}{R^2 \left( \frac{1}{r} \pm \frac{1}{R} \right)} \quad (2.19)$$

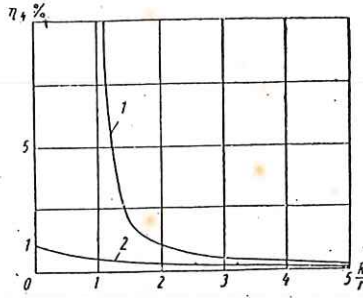
Nếu trong công thức (2.18) lấy thừa số đầu tiên là  $100 \mu\text{m}$  trong trường hợp  $\frac{\Delta R}{R} = 0,01$  và  $U = 100 \mu\text{m}$ , ta lập được đồ thị liên hệ giữa giá trị tuyệt đối của đại lượng  $\Delta_4$  theo  $\frac{R}{r}$  như hình 2.8 :



Hình 2.8

Những giá trị khác của  $\frac{\Delta R}{R}$  hay  $U$  được tính theo tọa độ xác định trên hình 2.8 với sự hiệu chỉnh tỉ lệ với sự thay đổi của thừa số đã chỉ trên.

Trên hình 2.9 giới thiệu quan hệ giữa  $\eta_4$  với  $\frac{R}{r}$  khi  $\frac{\Delta R}{R} = 0,01$ , đường cong (1) tương ứng với bề mặt lồi và đường cong (2) tương ứng với mặt lõm.

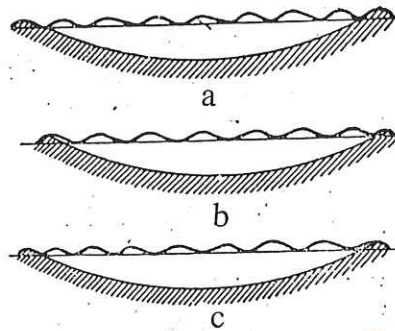


Hình 2.9

Từ hình 2.8 và hình 2.9 nhận thấy rằng giá trị của  $\Delta_4$  và  $\eta_4$  thường rất nhỏ nhưng khi  $\frac{R}{r} < 2$  và đặc biệt đối với bề mặt lồi thì các giá trị này tăng nhanh dẫn đến việc tính toán sai lệch khi xác định sai lệch đại lượng R.

Phương pháp khoét vết lõm thường được áp dụng để xác định độ mòn của chi tiết làm việc chính xác và chất lượng bề mặt của chi tiết là cao, độ nhấp nhô tế vi có thể bỏ qua. Nhưng muốn nhận được giá trị chính xác của độ mòn thì cũng phải xét đến độ nhấp nhô tế vi trong quá trình xác định độ chính xác của phương pháp khoét vết lõm.

Trên hình 2.10 thể hiện rãnh được cắt trên một bề mặt nhấp nhô phẳng (ở đây chỉ vẽ có tính chất sơ đồ, không thể hiện tỉ lệ giữa chiều dài và chiều sâu của rãnh vì thực tế chiều dài của rãnh lớn hơn chiều sâu từ 30 đến 100 lần mà điều này thì không thể thể hiện trên hình vẽ)



Hình 2.10

Ảnh hưởng của độ nhấp nhô đến việc xác định chính xác độ mòn có thể được xem xét như sau :

- Đầu của rãnh nằm vào chân của nhấp nhô (hình 2.10a)
- Đầu của rãnh nằm vào đỉnh của nhấp nhô (hình 2.10b)

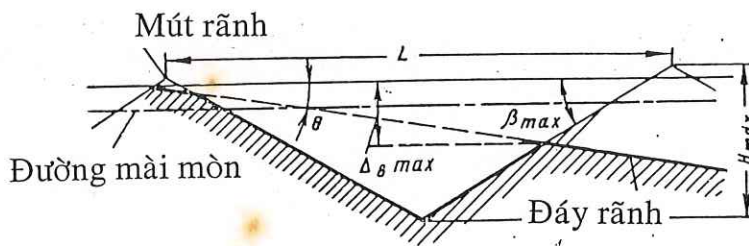
- Đầu của rãnh có thể vào đỉnh hay chân của nhấp nhô (hình 2.10c)

Kết quả là xuất hiện các sai số  $\Delta_5$  và  $\eta_5$ . Sự tồn tại của độ nhấp nhô có thể dẫn đến sự không chính xác lúc đo chiều dài của rãnh và do đó dẫn đến sai số trong việc xác định độ mòn  $\Delta_6$  và  $\eta_6$ . Trị số  $\Delta_6$  lớn nhất khi cả hai đầu vết lõm trùng với chân của nhấp nhô.

Sai số  $\Delta_5$  được đánh giá bằng chiều cao trung bình của các nhấp nhô :

$$\Delta_5 = -Rz$$

Kích thước và hình dạng của nhấp nhô tế vi ảnh hưởng đến độ gãy của các đầu vết lõm. Hình 2.11 cho ta thấy hình ảnh minh họa đầu vết lõm đi qua đỉnh của nhấp nhô



Hình 2.11

Bảng 2.1 dưới đây cho ta các giá trị  $\beta_{max}$  và  $H_{max}$  trên cơ sở đo hàng trăm mẫu bằng máy đo profil quang học và tiếp xúc (Do Livin tiến hành)

Kiểu gia công	$H_{max}$ ( $\mu m$ )	$\beta_{max}$ ( $^{\circ}$ )
* Mài :		
Tinh	1,5 ÷ 3	9 ÷ 10
Bán tinh	3 ÷ 7	6 ÷ 10
* Đánh bóng	2 ÷ 3	2 ÷ 3

Bảng 2.1

Góc  $\theta$  (góc giữa tiếp tuyến với đáy rãnh của một trong những đầu vết và đường nối đỉnh các nhấp nhô) được xác định bởi công thức :

$$\theta = \arcsin \frac{\ell}{2r}$$

Thường theo thống kê, góc  $\theta$  dao động trong khoảng từ  $1^{\circ}$  đến  $6^{\circ}$ , tức là  $\theta$  có thể lớn hơn hay nhỏ hơn  $\beta_{max}$ .

\* Khi  $\theta > \beta_{\max}$  thì sự đứt đoạn ở đầu rãnh không tồn tại, vì vậy  $\Delta_6 = 0$

\* khi  $\theta < \beta_{\max}$  thì sai số  $\Delta_6 \neq 0$

Từ hình 2.11, ta có :

$$\Delta_6 = 2Rz \frac{\operatorname{tg}^2 \beta_{\max} \cdot \operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \beta_{\max}} \quad (2.20)$$

Một yếu tố nữa cũng có ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của việc xác định mài mòn là độ sóng bề mặt.

Khác với độ nhám bề mặt, độ sóng bề mặt của kim loại khi gia công ít được nghiên cứu, việc thiếu những thiết bị đặc biệt đo độ sóng gây khó khăn trong việc tính toán khi áp dụng phương pháp khoét vết lõm.

Các công trình nghiên cứu của Khrutsốp đã đưa ra một số số liệu đặc trưng cho độ sóng bề mặt của kim loại. Tác giả cho rằng dạng của mặt sóng là hình sinisoid. Bán kính cong của phần lồi và phần lõm của sinisoid được xác định từ công thức (2.21)

$$\Omega = \frac{L^2}{H_b^2 \cdot 2\pi^2} \quad (2.21)$$

Trong đó :

L - Bước sóng

$H_b$  - Chiều cao lớn nhất của chỗ lồi (lõm)

Sai số tuyệt đối gây nên do độ sóng

$$\Delta_7 = \pm \frac{\ell_1^2 - \ell_2^2}{8\Omega} \quad (2.22)$$

Sai số tương đối  $\eta_7$  không thay đổi và chỉ phụ thuộc vào tỉ số  $\frac{\Omega}{r}$ .

Từ trên ta thấy rằng rất khó có thể đánh giá sai số của phương pháp do độ sóng của bề mặt ngay cả khi các vết lõm nằm trọn ở phần đỉnh hay phần lõm của sóng. Trong trường hợp này, để có thể có được kết quả một cách chính xác ta chia thành những nhóm từ 2 đến 4 rãnh và phân bố những rãnh đó cách nhau một đoạn nào đó. Nếu lúc đó khoảng cách giữa các rãnh bằng một nửa khoảng cách sóng thì có thể cho rằng các rãnh nằm trên đáy hoặc đỉnh sóng và khi đó, giá trị trung bình của độ mòn xác định theo một số rãnh sẽ rất gần với giá trị thực.

Khi kể đến những sai số ở trên, ta vẫn giả thiết đáy vết lõm là một cung tròn có bán kính đã biết.

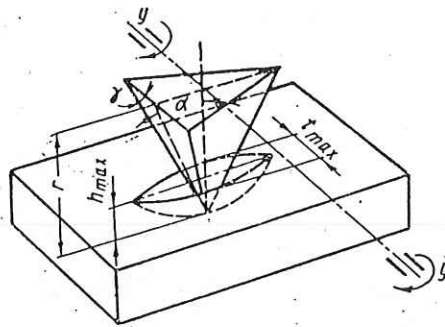
Nhưng có nhiều trường hợp, khi thiết bị cắt rãnh không cứng vững và chính xác, quỹ đạo chuyển động của đỉnh dao lúc cắt rãnh không trùng với tính toán, điều

này sẽ dẫn đến việc không thể xác định chính xác dạng thực của đường cong đáy rãnh, do đó sẽ xuất hiện sai số  $\Delta_8$ .

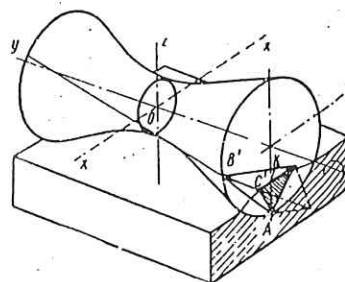
Trong điều kiện thực nghiệm, không thể đánh giá độ lệch của hình dạng đáy thực so với chiều sâu của nó bằng cách đo trực tiếp chiều sâu. Tuy vậy, ta biết rằng rãnh có hình hạt đậu mà đường vành sinh phải gắn liền với đường cong tạo thành đáy rãnh bằng một công thức toán học nào đó. Nếu biết được công thức này, có thể đánh giá được sai lệch giữa dạng thực và dạng lý thuyết của đáy rãnh khi nghiên cứu bằng thực nghiệm sai số  $\Delta_8$  cũng như kiểm tra sai số này khi dùng phương pháp khoét vết lõm trong điều kiện đã thực nghiệm.

Thực tế, chiều sâu của rãnh khoét rất nhỏ so với chiều dài, có thể có được công thức gần đúng đơn giản với độ chính xác thích hợp giữa tọa độ điểm tạo thành đường bao trên bề mặt và tọa độ đáy rãnh.

**Dạng lý thuyết của đường cong tạo thành đường bao của rãnh**



Hình 2.12



Hình 2.13

Trên hình 2.12 thể hiện một rãnh cắt, rãnh được giới hạn bởi bề mặt chi tiết và bởi hai hypecboloit tròn xoay với trục ảo chung.

Hình 2.13 thể hiện được một nửa vạch được cắt trên mặt phẳng và hypecboloit tròn xoay là mặt sinh của nửa này

Xuất phát từ phương trình của một hypecboloit tròn xoay dạng chính tắc với hệ tọa độ bố trí như hình 2.13, ta nhận được :

- Phương trình mặt của rãnh :

$$\frac{x^2 + z^2}{d^2} - \frac{y^2}{e^2} = 1 \quad (2.23)$$

- Phương trình của hypecbol tạo thành đường bao trên mặt phẳng:

$$x^2 - y^2 \frac{d^2}{e^2} = d^2 - (r - h_{\max})^2$$

- Phương trình của hypecboloit trong tiết diện YOZ của rãnh :

$$z^2 - y^2 \frac{d^2}{e^2} = d^2$$

Công thức xác định chiều rộng của rãnh :

$$t_{\max} = 2 \frac{e}{d} \left[ \sqrt{r^2 - d^2} - \sqrt{(r - h_{\max})^2 - d^2} \right] \quad (2.24)$$

Trong đó :

- d là chiều dài bán trục thực của hypecboloit
- e là chiều dài bán trục ảo của hypecboloit
- r là bán kính quay của đỉnh dao tức là bán kính vòng tròn cắt hypecboloit
- $h_{\max}$  là chiều sâu lớn nhất của rãnh, tức là chiều sâu của rãnh tại vị trí giữa
- $t_{\max}$  là chiều rộng lớn nhất của rãnh

Khi ấy :

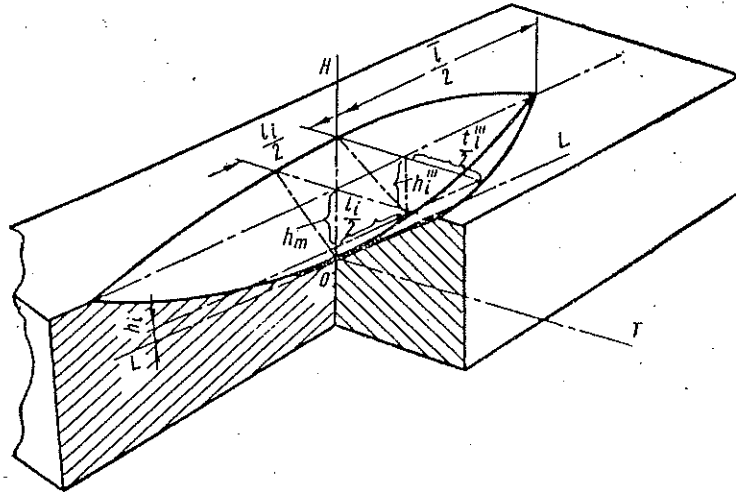
$$d = r \sin \alpha \quad (2.25)$$

$$e = r \cot \gamma \sin \alpha \quad (2.26)$$

Trong đó :

$\alpha$  - Góc giữa mặt cạnh hình chóp và chiều cao của nó.

$$\gamma = \widehat{AB'C'}$$



Hình 2.14

Bây giờ ta xem như gốc tọa độ được dịch chuyển đến đáy rãnh (hình 2.14), phương trình của mặt rãnh có dạng :

$$\left(\frac{l_i}{2}\right)^2 + (h_i - r)^2 - \frac{d^2}{e^2} \left(\frac{e}{d} \sqrt{r^2 - d^2} + \frac{t_i}{2}\right)^2 = d^2$$

Trong đó :

$$h_i \cdot r = z$$

$$\frac{e}{d} \sqrt{r^2 - d^2} + \frac{t_i}{2} = y$$

$$\frac{l_i}{2} = x$$

Sau khi biến đổi phương trình này, ta nhận được :

$$\frac{t_i}{2} = -\frac{e}{r \sin \alpha} \left( r \cos \alpha \pm r \sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{l_i^2}{4r^2} + \frac{l_i^2}{r^2} - \frac{2h_i}{r}} \right) \quad (2.27)$$

Trong phương trình (2.27) có các tọa độ  $\frac{t_i}{2}$ ,  $\frac{l_i}{2}$ ,  $h_i$  được đo trực tiếp trên rãnh.

Thực tế nếu ta đo các  $h_i < 100 \mu\text{m}$ ,  $l_i < 2500 \mu\text{m}$ ,  $r \approx 8500 \mu\text{m}$  thì với sai số không vượt quá 2%, có thể xem :

$$\frac{t_i}{2} = -\frac{e}{r \sin 2\alpha} \left( \frac{l_i^2}{r^2} - 2h_i \right)$$

Hay

$$\frac{t_i}{2} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} \left( h_i - \frac{\ell_i^2}{8r} \right) \quad (2.28)$$

Khi  $h_i = h_{max}$  trong tiết diện song song mặt phẳng HOT và cách gốc tọa độ một khoảng  $\frac{\ell_i}{2}$ .

$$h_i = h_{max} = h_i''' + \frac{\ell_i^2}{8r}$$

Do đó :

$$\frac{t_i'''}{2} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} h_i'''$$

Trong đó :

$\frac{t_i'''}{2}$  - Chiều rộng của nửa vạch trong tiết diện bất kỳ song song với mặt phẳng HOT.

$\ell_i$  - Chiều dài của rãnh giới hạn bởi vị trí của tiết diện song song với mặt phẳng LOT.

$h_i'''$  - Chiều sâu của rãnh trong tiết diện bất kỳ song song với mặt phẳng HOT và cách điểm giữa một khoảng  $\frac{\ell_i}{2}$ .

Nếu bỏ qua sai số không vượt quá 2%, có thể xem rằng ở mỗi tiết diện ngang của rãnh cắt bởi mặt phẳng song song với OHT và cách tâm rãnh một khoảng  $\frac{\ell_i}{2}$  có quan hệ :

$$\frac{t_i'''}{2h_i'''} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} = const \quad (2.29)$$

Như vậy có thể thấy rằng : Tỷ lệ giữa nửa chiều rộng và chiều sâu ở một tiết diện cho trước là một hằng số, không phụ thuộc vào khoảng cách từ tiết diện này đến tâm rãnh và được xác định bởi góc đầu dao và việc lắp ráp đầu dao trong thiết bị đo .

Có thể viết phương trình đường cong tạo thành đường bao của rãnh :

$$\frac{t_i'''}{2} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} \left( h_{max} - \frac{\ell_i^2}{8r} \right) \quad (2.30)$$

Trong đó :

$h_{\max} = \frac{\ell^2}{8r}$  - Chiều sâu lớn nhất ở giữa rãnh ( $\ell$  là chiều dài đo được của rãnh).

Chiều rộng của rãnh ở tiết diện bất kỳ :

$$\frac{t_i'''}{2} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} \frac{\ell^2 - \ell_i'^2}{8r}$$

Khi  $\ell_i = 0$

$$\frac{t_{\max}}{2} = \frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} \frac{\ell^2}{8r};$$

Nếu đặt  $\frac{\cot g\gamma}{\cos\alpha} = B'$  thì  $\frac{t_{\max}}{2} = \frac{\ell^2}{8 \frac{r}{B'}} = \frac{\ell^2}{8r_0}$

Điều này có nghĩa là chu vi của rãnh được tạo thành bởi đường cong gần với cung tròn có bán kính bằng  $r_0 = \frac{r}{B'}$ .

Nếu biểu diễn chiều rộng của rãnh tiết diện ngang bất kỳ bằng  $\frac{t_i'}{2}$ , và nửa kia là  $\frac{t_i''}{2}$ , thì chiều rộng toàn bộ của rãnh :

$$t_i'''' = \frac{t_i'}{2} + \frac{t_i''}{2} = \frac{\cot g\gamma_1}{\cos\alpha_1} h_i'''' + \frac{\cot g\gamma_2}{\cos\alpha_2} h_i''''$$

$$t_i'''' = h_i'''' \left( \frac{\cot g\gamma_1}{\cos\alpha_1} + \frac{\cot g\gamma_2}{\cos\alpha_2} \right) = h_i'''' \cdot B \quad (2.31)$$

Trong đó :  $B = \frac{\cot g\gamma_1}{\cos\alpha_1} + \frac{\cot g\gamma_2}{\cos\alpha_2} = \text{const}$

Nếu gốc tọa độ nằm ở một đầu của rãnh và trục hoành hướng dọc theo rãnh (trục OY), trục tung (OT) và trục (OH) vuông góc với mặt phẳng OY - OT thì :

$$h_i'''' = \frac{4\ell y - 4y^2}{8r}$$

$$t_i'''' = \frac{4\ell y - 4y^2}{8 \frac{r}{B}} \quad (2.32)$$

Tức là đáy của rãnh có thể xem là cung tròn được vạch bởi bán kính tính toán r thì chiều rộng của rãnh  $t_i''''$  ở vị trí bất kỳ cần phải thỏa mãn phương trình trên.

Biết tỉ lệ :

$$\frac{t_i''''}{h_i''''} = B \text{ có thể nhận được đẳng thức:}$$

$$y = \frac{\ell}{2} - \sqrt{2 \frac{r}{B} (t_{\max} - t_i''') - (t_i''')^2} \quad (2.33)$$

Từ điều kiện :

$$\frac{t_i'''}{h_i'''} = \frac{t_{\max}}{h_{\max}} = B$$

ta rút ra :

$$h_{\max} = \frac{t_{\max}}{B} \text{ và}$$

$$\frac{\ell^2}{t_{\max}} = \frac{8r}{B} = \text{const}$$

Nếu biết B, ta có thể xác định được bán kính quay thực của đầu dao r, bán kính này cần phải không thay đổi và bằng :

$$r = \frac{\ell^2}{t_{\max}} \frac{B}{8}$$

Thực tế nếu  $\alpha = 65^\circ, \gamma = 32^\circ 19'$  thì  $B = 7,46$ .

Các tính toán chỉ rõ rằng độ chính xác lắp đầu dao không ảnh hưởng nhiều đến B, nhưng độ chính xác của dạng đầu dao là rất quan trọng, nếu sai lệch góc  $\alpha$  trong khoảng  $\pm 1^\circ$  thì B thay đổi khoảng  $\pm 4\%$ .

Do vậy, nếu độ chính xác của góc  $\alpha$  là  $\pm 30'$  thì thực tế có thể xem :

$$\frac{t_{\max}}{h_{\max}} = \frac{t_i'''}{h_i'''} = 7,46.$$

Hoặc

$$h_i''' = \frac{3,73}{r} (\ell y - y^2)$$

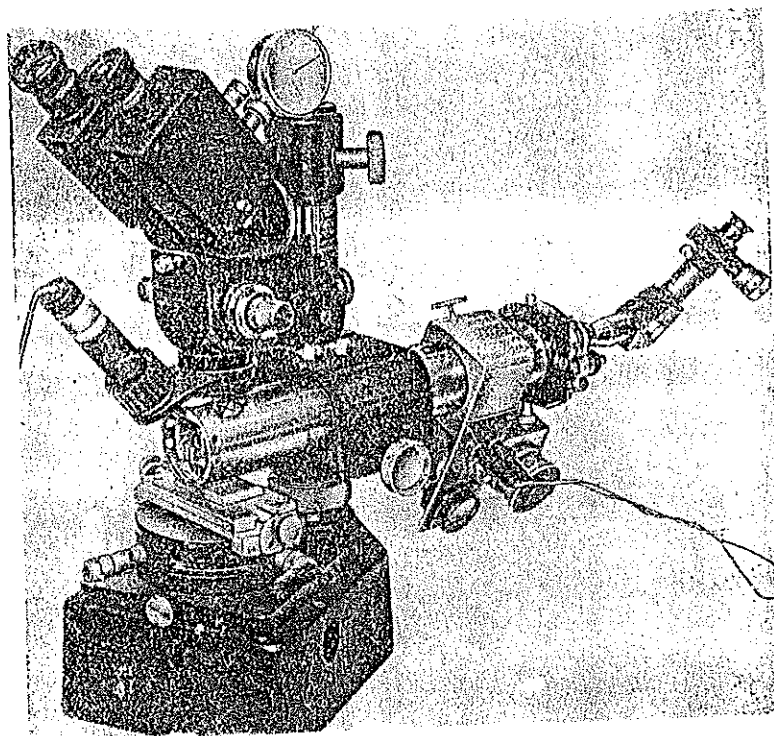
### Một số nghiên cứu thực nghiệm về hình dạng của rãnh :

Từ việc nghiên cứu dạng lý thuyết đường cong tạo thành hình bao của rãnh ta thấy rằng dạng đường cong đáy rãnh sẽ tương ứng một cách chính xác với quỹ đạo chuyển động của đỉnh dao, còn tiết diện bất kỳ của rãnh được xác định một cách hoàn toàn bởi dạng lưỡi cắt của dao với điều kiện không có những biến dạng đàn hồi của các chi tiết thiết bị và của vật liệu. Trong một số công trình nghiên cứu thấy rằng rãnh mới được cắt thường mòn nhiều hơn so với rãnh đã được mài mòn từng phần (đến  $2 \mu\text{m}$ ) cho nên với những mẫu thí nghiệm cần phải tiến hành rà bề mặt sau khi cắt rãnh.

Với mỗi một loại chi tiết làm việc, ta có thể chế tạo dụng cụ để xác định độ mòn bằng phương pháp khoét vết lõm phù hợp với chi tiết đó. Dưới đây người viết

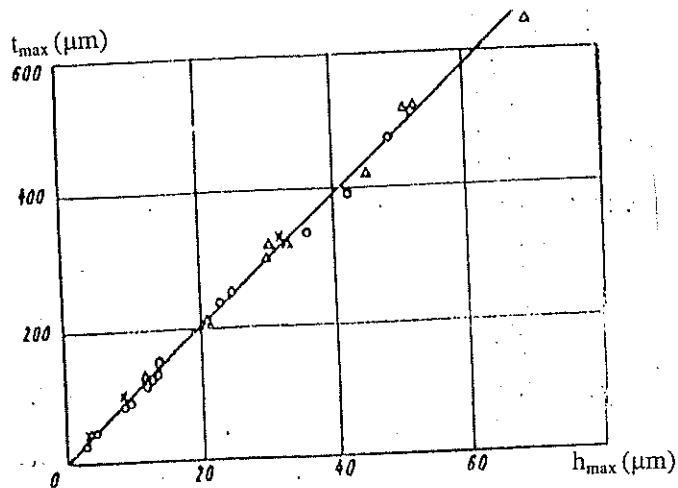
xin trình bày những kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mẫu (do Krasin [19] công bố) được tiến hành trên các thiết bị chuyên dùng. Ở phần sau sẽ thiết kế một thiết bị gá lắp đặc biệt, phù hợp với điều kiện Việt Nam để đo mòn xecmăng bằng phương pháp khoét vết lõm.

Để nghiên cứu hình dạng thực của rãnh Krasin đã dùng thiết bị  $\pi$ MT3 với gá lắp đặc biệt được giới thiệu trên hình 2.15



Hình 2.15

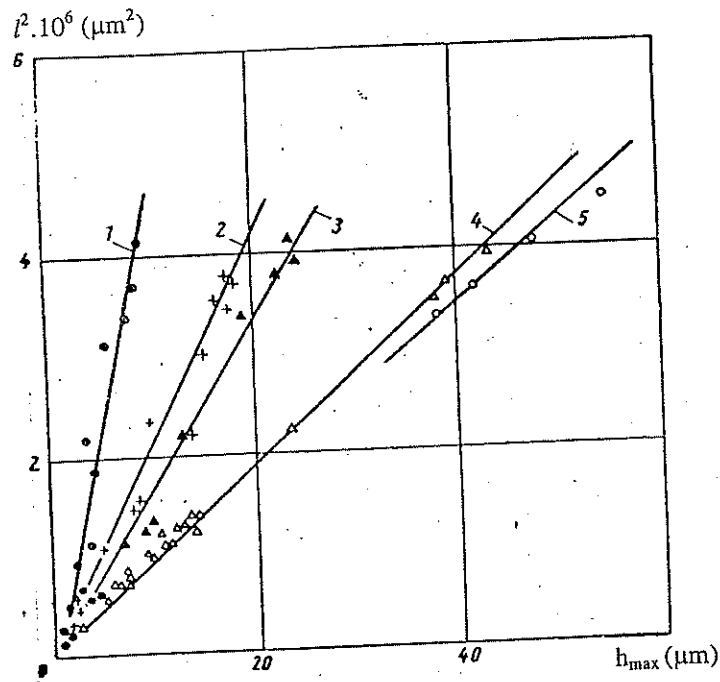
Trên đồ thị hình 2.16 thể hiện số liệu về chiều rộng  $t_{max}$  và chiều sâu  $h_{max}$  của rãnh được cắt trên các vật liệu khác nhau :



Từ hình này, ta thấy rằng góc giữa các đường tạo thành biên dạng rãnh của những tiết diện khác nhau không đổi cho cả các tiết diện (kết quả có được chụp từ kính hiển vi).

Với việc nghiên cứu nhiều dạng đường cong tạo thành hình bao của rãnh cũng như việc đo trực tiếp chiều sâu của rãnh bằng thiết bị  $\pi$ MT3 đã chứng minh rằng trong đa số trường hợp, với độ chính xác 2% sai số tương đối giới hạn bằng nhau khi xác định chiều sâu của rãnh theo chiều rộng của rãnh, có thể thấy rằng không xuất hiện sai số  $\Delta_8$  và có thể xem sai số chung của phương pháp này là tổng hợp của các sai số từ  $\Delta_1$  đến  $\Delta_7$ .

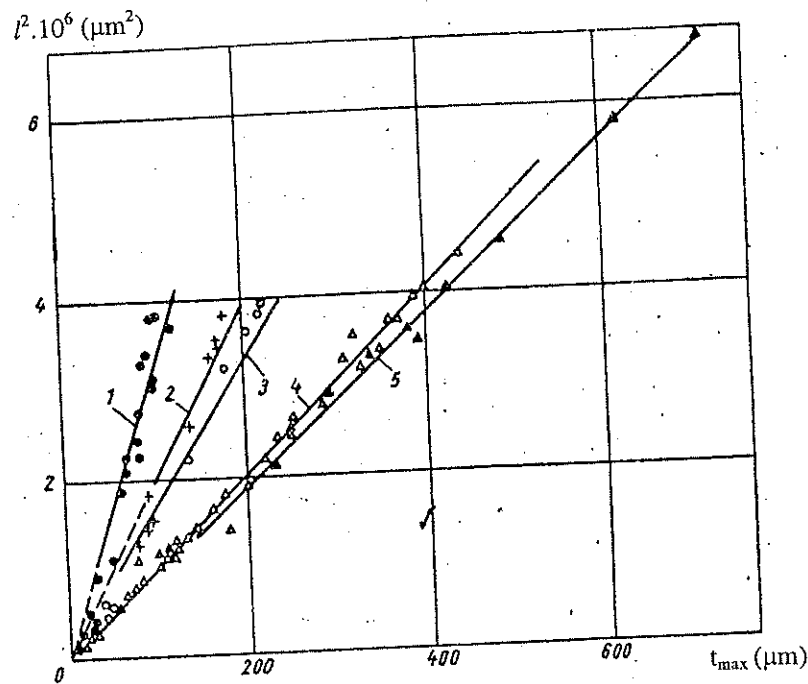
Trong một số trường hợp, rãnh có thể được tạo nên bằng những đường cong đều, đối xứng nhưng lại không phù hợp với tính toán, nguyên nhân là do không đủ độ cứng vững và dao cắt bị cùn. Hình 2.18 biểu diễn quan hệ thực nghiệm giữa  $l^2$  và  $h_{max}$  khi các lần cắt của đầu dao khác nhau, mẫu là thép tôi X15. Trong các thí nghiệm này độ cứng vững của cơ cấu cắt thấp và đầu dao bị cùn.



Hình 2.18

- 1- Một lần
- 2- 20 lần
- 3- 100 lần
- 4- 2000 lần
- 5- Hơn 2000 lần

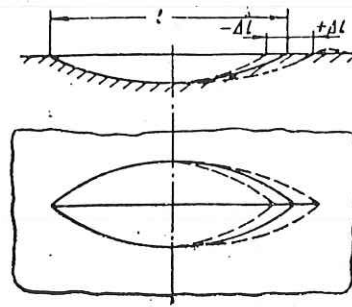
Hình 2.19 thể hiện quan hệ giữa  $l^2$  và  $t_{\max}$  với các rãnh khác nhau được cắt trên thép tôi X15.



Hình 2.19

Số liệu cho trên các hình trên chỉ ra rằng góc cắt của thiết bị giảm nhỏ do không đủ cứng. Khác nhau giữa chiều sâu cắt và tính toán thực tế vào khoảng 30% nhưng vì tỉ lệ  $\frac{l^2}{t_{\max}}$  là không đổi với các rãnh được cắt trong cùng một điều kiện, đường cong tạo thành đáy của rãnh có thể là cung tròn với bán kính không phải là bán kính tính toán  $r$  mà là một bán kính  $\rho$  nào đó, tuy vậy giá trị của  $\rho$  có thể biết được và nếu dùng hệ số hiệu chỉnh thì có thể dễ dàng loại bỏ sai số mắc phải.

Một số rãnh khi quan sát bằng kính hiển vi có thể thấy nó bất đối xứng với trục ngang. Hiện tượng đó có thể giải thích do có sự tích lũy của phôi, có thể do biến dạng dẻo của vật liệu hoặc khe hở lớn khi lắp ráp trục chính mang dao, trong điều kiện ấy thì đáy rãnh có thể không là một cung tròn trên một phần nào đó hoặc trên cả chiều dài rãnh. Khi dao bị cùn hoặc khi hình dạng đầu dao không đúng do điều kiện cắt rãnh không bình thường, đầu ra của rãnh có thể như cái gối cao hơn mặt chi tiết. Vì vậy trong nhiều trường hợp, đặc biệt khi rãnh sâu và dao cùn thì cần phải chạy mài sơ bộ bề mặt sau khi cắt rãnh. Sau khi chạy mài, các rãnh nào vẫn không đối xứng với trục ngang thì cần phải loại bỏ (hình 2.20).



Hình 2.20

Từ hình trên ta nhận thấy sai lệch đường cong đáy rãnh thực tế và tính toán gây nên hiện tượng xuất hiện sai lệch  $\Delta l$ .

Khi trường quan sát của kính hiển vi không đạt yêu cầu và có một phần rãnh nằm ở ngoài trường quan sát lúc đó có thể đánh giá mòn thông qua sự thay đổi chiều rộng của rãnh, tuy vậy đánh giá sẽ không được chính xác vì chiều rộng của rãnh nhỏ hơn nhiều so với chiều dài của rãnh.

### KẾT LUẬN :

Từ việc nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hình dáng của rãnh ta rút ra một số kết luận sau :

\* Tỷ lệ  $\frac{t_i''''}{h_i''''} = const$  (độ chính xác 2%) được xác định bằng góc của lăng trụ kim cương, không phụ thuộc vật liệu chi tiết, độ cứng vững, độ chính xác của thiết bị cắt cũng như chế độ cắt.

\* Các rãnh thường dùng trong thực tế ( $r = 8500 \mu m$ ,  $h \leq 100 \mu m$ ), có :

$$\frac{l}{t_{\max}} = const$$

\* Khi tồn tại nén đàn hồi của cơ cấu cắt, số lần cắt không đủ, chạy dao không chính xác... rãnh có thể nhỏ hơn so với tính toán. Khi đó, đáy rãnh là một cung tròn có bán kính  $\rho$  khác so với tính toán  $r$ . Nếu không tính đến điều này, sai số tuyệt đối của hệ thống có thể đạt đến 30%, nhưng dễ dàng loại bỏ nó. Xác định

$$\rho = \frac{l^2}{t_{\max}} \frac{B}{8}, \text{ trong đó } B = \frac{t_{\max}}{h_{\max}}$$

Khi đó có thể loại bỏ sai số xác định độ mòn khi tính đến  $\rho$ , tức là:

$$U = \frac{l_1^2 - l_2^2}{8\rho}$$

**3. Xác định độ mòn tại từng điểm của séc măng :** Để xác định độ mòn tại từng điểm của séc măng , chúng tôi đã thiết kế dụng cụ khoét rãnh với gá lắp đặc biệt , thuận tiện cho sử dụng .

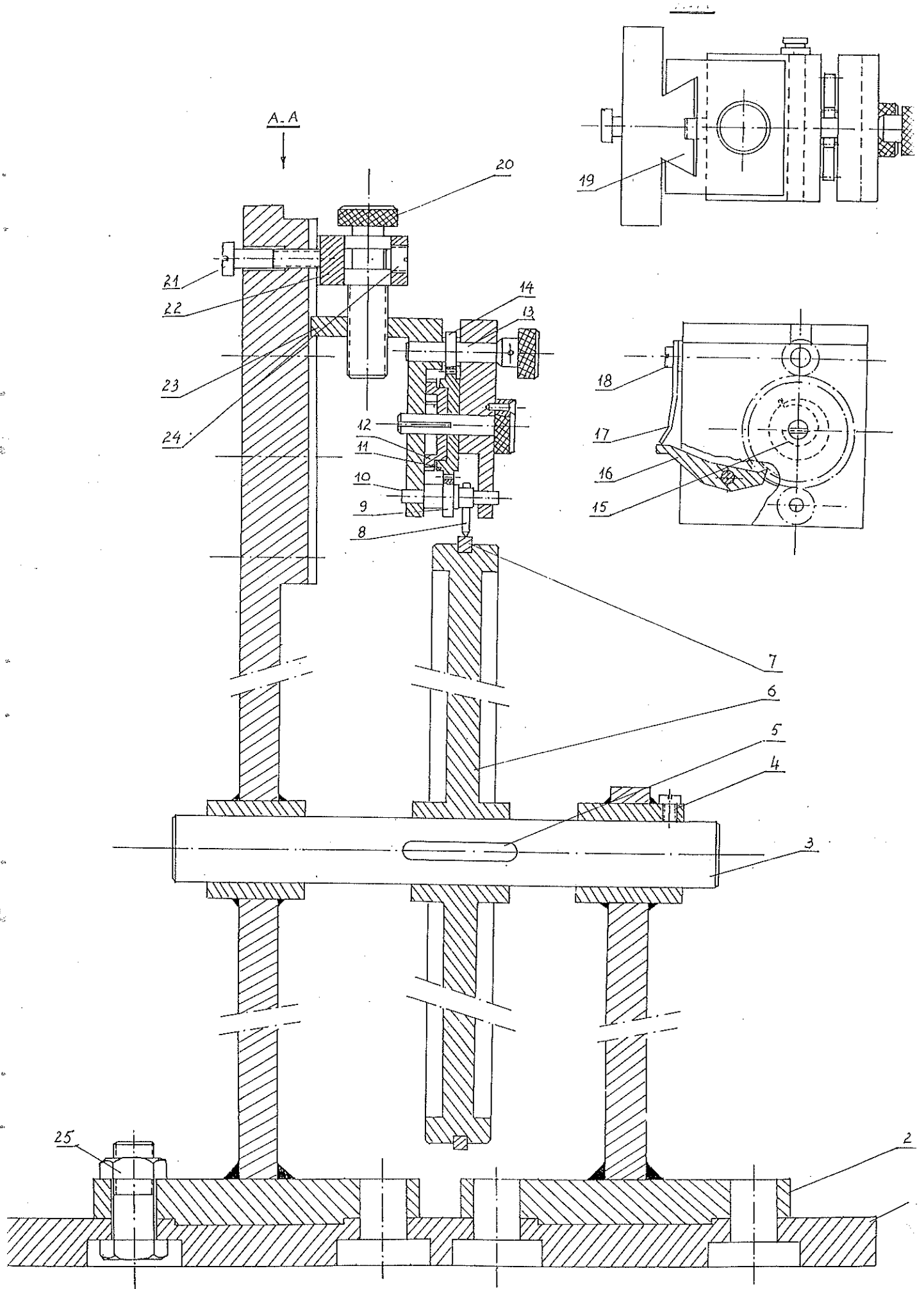
Nguyên lý hoạt động của dụng cụ như sau :

Séc măng 7 được gá lên vành 6 hết như trạng thái trên piston . Để tạo những rãnh cắt tại nhiều điểm trên séc măng , ta xoay trục 3 và cố định trục nhờ vít 4 . Để điều chỉnh thô , ta trượt thanh trượt 22 dọc theo mang cá 19 , đến vị trí thích hợp thì ta cố định bằng vít 21 . Để điều chỉnh tinh , ta xoay bulông 20 , hộp mang dao 23 sẽ tịnh tiến lên xuống .

Khi vận nôm của trục 13 , chuyển động xoay được truyền trục mang dao khoét nhờ hệ thống các bánh răng 14 , 11 , 9 . Trên trục trung gian , bánh răng 11 được lắp chặt với bánh cóc 12 , bánh cóc quay làm cho lò xo Acsimét 15 xoắn lại , con cóc 16 giữ không cho bánh cóc quay theo chiều ngược lại để tích trữ năng lượng . Ấn vào cán con cóc , con cóc sẽ nhả và dưới tác dụng của lực bung lò xo , trục mang bánh cóc quay làm quay trục mang đầu dao , mũi dao sẽ vạch rãnh trên mặt lưng séc măng .

Chú thích các chi tiết :

- 1 , 2 - Các tấm đế
- 3 - Trục
- 4 - Vít hãm trục
- 5 - Then
- 6 - Vành mang séc măng
- 7 - Séc măng
- 8 - Dao cắt
- 9 - Bánh răng
- 10 - Trục mang dao
- 11 - Bánh răng
- 12 - Bánh cóc
- 13 - Trục
- 14 - Bánh răng
- 15 - Lò xo Ac si mét
- 16 - Con cóc
- 17 - Lò xo lá
- 18 - Vít giữ
- 19 - Mang cá
- 20 - Vít chỉnh tinh
- 21 - Vít giữ
- 22 - Thanh trượt
- 23 - Hộp mang dao
- 24 - Vít hãm , 25 - bulông đế



## CHƯƠNG 4

### DỰ BÁO TUỔI THỌ CỦA SECMĂNG ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY

#### 1. Tính tuổi thọ theo cường độ mòn tuyến tính không thứ nguyên :

##### 1.1. Cơ sở tính toán :

Ta biết, cường độ mòn tuyến tính không thứ nguyên theo định nghĩa được xác định [14] :

$$I = \frac{\Delta R}{L} \quad (2.34)$$

Trong đó :

$\Delta R$  : Độ mòn kích thước theo hướng kính, đối với secmăng ta có thể xem  $\Delta R = \frac{\Delta s}{2\pi}$  (mm)

$\Delta s$  : Độ tăng khe hở miệng secmăng (mm)

$L$  : Chiều dài quãng đường ma sát (mm)

Đối với secmăng động cơ diesel thì chiều dài quãng đường ma sát là quãng đường piston dịch chuyển trong xilanh trong thời gian làm việc của động cơ .

$$L = 2.l.n.60h \text{ (mm)}$$

$l$  : Hành trình piston (mm)

$n$  : Tốc độ quay trục khuỷu (v/ph)

$h$  : Thời gian làm việc của động cơ (h)

Do vậy :

$$I = k \frac{\Delta s}{h} \quad (2.35)$$

Với  $k$  là hệ số phụ thuộc vào thông số của động cơ

$$k = \frac{1}{4.\pi.l.n.60}$$

hay

$$h = \frac{k}{I}(s - s_r) \quad (2.36)$$

Khi khe hở miệng của secmăng  $s$  tăng từ khe hở sau rà trơn  $s_r$  đến khe hở miệng tới hạn  $[s]$  thì thời gian làm việc  $h$  sẽ đạt đến tuổi thọ của secmăng

$$T = \frac{k}{I}[s] - \frac{k}{I}s_r + h_r \quad (2.37)$$

Vấn đề đặt ra là từ các số liệu thực nghiệm  $s_i$  và  $h_i$  qua các lần thực nghiệm, phải tìm được quan hệ giữa  $s$  và  $h$ , từ đó xác định tuổi thọ. Ở đây sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu để tìm quan hệ.

Quan hệ giữa  $s$  và  $h$  có dạng :

$$s = a.h + b \quad (2.38)$$

Với  $a, b$  được xác định từ :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \sum_{i=1}^n s_i - n \cdot \sum_{i=1}^n s_i h_i}{\left(\sum_{i=1}^n h_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (2.39)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \sum_{i=1}^n s_i \cdot h_i - \sum_{i=1}^n h_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n s_i}{\left(\sum_{i=1}^n h_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (2.40)$$

$n$  : Số lần thực nghiệm (đo)

$s_i$  : Khe hở miệng lần đo thứ  $i$ , ứng với thời gian  $h_i$ .

Từ các công thức trên, ta có thể rút ra :

$$I = a.k \quad (2.41)$$

và

$$T = \frac{k}{I}[s] - \frac{b.k}{I} \quad (2.42)$$

Đối với các bộ secmăng có lớp mạ, tương tự như trên, ta có thể xác định tuổi thọ từ công thức :

$$T = T_{ma} + \frac{k}{I}([s] - 2\pi\delta) - \frac{b.k}{I} \quad (2.43)$$

Trong đó :

$T_{ma}$  : Thời gian làm việc của secmăng để mòn hết lớp mạ

$$T_{ma} = \frac{k}{I_{ma}} 2\pi\delta - \frac{b_{ma}.k}{I_{ma}} \quad (2.44)$$

$\delta$  : Chiều dày lớp mạ (mm)

$b_{ma}$  : Hệ số hàm (2.38) của lớp mạ

$I_{ma}$  : Cường độ mòn của lớp mạ

## 1.2. Ứng dụng :

Đã lập chương trình nằm trong procedure tinh<sup>l</sup> của chương trình chính ở phần phụ lục để tính tuổi thọ bằng máy vi tính. Trong chương trình này các thông số cần đưa vào là :

- Số lần thực nghiệm (đo)
- Thời gian  $h_i$
- Khe hở miệng tương ứng  $s_i$
- Khe hở miệng cho phép [s]
- Hành trình piston (l)
- Số vòng quay định mức (n)

Kết quả chương trình sẽ xuất ra :

- Tuổi thọ secmăng (h)
- Quan hệ s và h

Chạy chương trình với động cơ diesel D12, các thông số nhập vào là :

\* Thống kê các lần đo :

Lần	Lượng đo	Secmăng khí 1	Secmăng khí 2
1	$h_1$	0 (h)	0 (h)
	$s_1$	0,308 (mm)	0,294 (mm)
2	$h_2$	172 (h)	172 (h)
	$s_2$	1,573 (mm)	0,782 (mm)
3	$h_3$	493 (h)	493 (h)
	$s_3$	2,821 (mm)	1,104 (mm)
4	$h_4$	969 (h)	969 (h)
	$s_4$	4,794 (mm)	1,595 (mm)

\* Khe hở miệng cho phép [s] = 3 mm

\* Hành trình piston l= 115 mm

\* Vòng quay định mức n = 2000 v/ph

Kết quả sau khi chạy chương trình :

\* Với secmăng khí thứ nhất

- Tuổi thọ T = 549 (h)

- Quan hệ giữa khe hở miệng và thời gian làm việc

$$s = 0,004h + 0,551$$

\* Với secmăng khí thứ hai

- Tuổi thọ  $T = 2048(h)$

- Quan hệ giữa khe hở miệng và thời gian làm việc

$$s = 0,001h + 0,432$$

Ta thấy rõ từ kết quả trên, tuổi thọ của secmăng thứ 1 nhỏ hơn nhiều so với secmăng thứ 2, đường thẳng biểu diễn quan hệ  $s - h$  của secmăng thứ nhất dốc hơn secmăng thứ hai.

## 2. Tính tuổi thọ secmăng theo xác suất không hỏng do mòn :

### 2.1. Đặt vấn đề :

Phương pháp xác định tuổi thọ của secmăng được trình bày ở mục (I) là phương pháp xác định dựa trên cường độ mòn và độ mòn cho phép (ở đây là  $[s]$ ). Phương pháp trên đơn giản nhưng tốn nhiều thời gian quan sát và chưa đánh giá đầy đủ khả năng làm việc của cặp ma sát (secmăng-xilanh). Áp dụng lý thuyết xác suất dựa trên quan điểm mòn là một quá trình ngẫu nhiên [1] để xác định tuổi thọ của secmăng tỏ ra có nhiều ưu việt so với phương pháp (I).

### 2.2 Phân tích xác suất quá trình mòn :

Quá trình mòn có thể xem như là quá trình tách các phần tử bị mòn ra khỏi hai bề mặt tiếp xúc của cặp ma sát. Những chỗ tách ra, số hạt tách ra sau một khoảng thời gian đã cho và kích thước của những hạt đó đều là những đại lượng ngẫu nhiên.

Giả sử sau thời gian  $\Delta t$ , tại một điểm quan sát tách ra  $n$  hạt. Ký hiệu  $u_i$  là “kích thước” của hạt thứ  $i$  theo phương pháp tuyến với bề mặt tiếp xúc, khi đó lượng mòn sau thời gian  $\Delta t$  là :

$$U(\Delta t) = u_1 + u_2 + \dots + u_n \quad (2.45)$$

Nếu như đại lượng  $u_i$  và  $n$  là những đại lượng ngẫu nhiên thì dễ hiểu rằng đại lượng  $U(\Delta t)$  cũng là một đại lượng ngẫu nhiên. Quan niệm đó cho phép ta coi quá trình mòn như một quá trình ngẫu nhiên và có thể áp dụng kết quả của lý thuyết hàm ngẫu nhiên để đánh giá tuổi thọ của secmăng nói riêng và các cặp ma sát nói chung.

Nếu gọi  $I(t)$  là tốc độ mòn và  $U(t)$  là lượng mòn, ta sẽ có :

$$U(t) = \int_0^t I(x) dx \quad (2.46)$$

$I(t) \geq 0$ , giá trị 0 có thể xảy ra trên một tập hợp điểm có độ mòn bằng 0, điều kiện này chứng tỏ lượng mòn  $U(t)$  là một quá trình đơn điệu, nghĩa là :

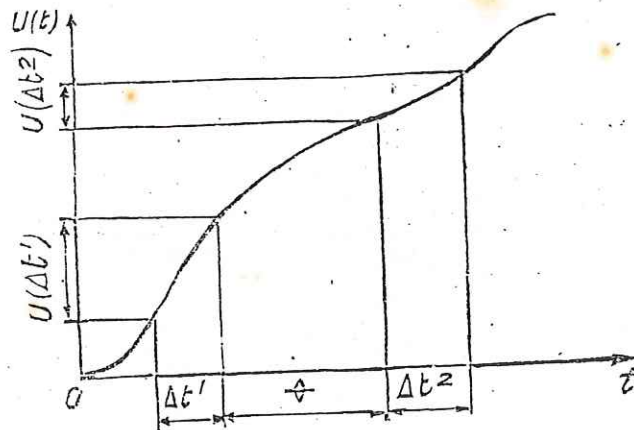
$U(t_2) > U(t_1)$  nếu như  $t_2 > t_1$

Nếu tốc độ mòn không đổi thì quá trình  $I(t)$  là dừng. Do đó, kỳ vọng và phương sai của chúng sẽ không phụ thuộc vào thời gian

$$E\{I(t)\} = a \quad (2.47)$$

$$D\{I(t)\} = b \quad (2.48)$$

Nếu ta xét số gia của lượng mòn  $U(\Delta t^1)$  và  $U(\Delta t^2)$  trên các đoạn  $\Delta t^1$  và  $\Delta t^2$  cách nhau một khoảng  $\theta$  (hình vẽ minh họa).



Hình 2.21

Ta thấy rằng trong giai đoạn mòn bình thường, sự phụ thuộc xác suất giữa chúng sẽ giảm khi  $\theta$  tăng. Cho nên quá trình  $U(t)$  là quá trình có xáo trộn mạnh.

Nếu  $I(t)$  là quá trình dừng và  $U(t)$  là quá trình có xáo trộn mạnh, ta sẽ có :

$$E\{U(t)\} = a.t \quad (2.49)$$

$$D\{U(t)\} = b.t \quad (2.50)$$

Và sự phân phối của đại lượng  $U(t)$  khi  $t$  lớn sẽ tuân theo phân phối tiệm cận chuẩn. Điều này được giải thích là sự phân bố kích thước của chi tiết mòn là phân phối chuẩn.

### 2.3. Tính tuổi thọ theo xác suất không hỏng do mòn :

Gọi  $\tau(u)$  là thời gian  $\tau$  đạt tới trị số độ mòn  $U$ . Nếu  $U(t)$  là quá trình ngẫu nhiên thì  $\tau(u)$  cũng là một quá trình ngẫu nhiên.

Nếu ký hiệu  $F_u(u/T)$  là hàm phân phối đại lượng ngẫu nhiên  $U(t)$  còn  $F_\tau(T/u)$  là hàm phân phối đại lượng ngẫu nhiên  $\tau(u)$ , ta sẽ có :

$$F_u(u/T) = 1 - F_\tau(T/u) \quad (2.51)$$

Biểu thức (2.51) chứng tỏ quá trình  $U(t)$  và  $\tau(u)$  có tính chất đối xứng. Do đó, nếu quá trình  $I(t)$  là quá trình dừng và quá trình  $U(t)$  có tính chất xáo trộn mạnh thì

sự phân phối đại lượng ngẫu nhiên  $\tau(u)$  khi  $u$  lớn sẽ tuân theo phân phối tiệm cận chuẩn. Vì vậy :

$$E\{\tau(u)\} = c.u \quad (2.52)$$

$$D\{\tau(u)\} = g.u \quad (2.53)$$

Các hằng số  $c$  và  $g$  được tính theo các hằng số  $a$  và  $b$

$$c = a^{-1} \quad (2.54)$$

$$g = b.a^{-3} \quad (2.55)$$

Gọi  $[U]$  là giới hạn mòn cho phép của chi tiết, sao cho khi  $U(t) \leq U$  thì chi tiết vẫn đảm bảo độ chính xác làm việc tốt, ngược lại nếu  $U(t) > U$  thì chi tiết không đảm bảo làm việc tốt. Khi đó xác suất làm việc không hỏng do mòn sẽ được xác định theo công thức :

$$P\{\tau \geq T\} = 1 - \phi\left(\frac{T - c[u]}{\sqrt{g[u]}}\right) \quad (2.56)$$

Với  $\phi(x)$  là hàm laplatce :

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.57)$$

Trong biểu thức (2.56)  $T$  được hiểu là “thời gian” theo nghĩa rộng, nó có thể là thời gian tính theo giờ hoặc đường ma sát tính theo Km.

Rõ ràng xác suất không hỏng do mòn là một chỉ tiêu đánh giá về tuổi thọ của chi tiết làm việc. Chỉ tiêu này thể hiện đầy đủ khả năng làm việc của chi tiết máy.

#### 2.4. Ứng dụng với secmăng động cơ diesel tàu thủy :

Theo lý thuyết trên  $U(t)$  là một hàm ngẫu nhiên, áp dụng vào xecmăng, độ mòn hướng kính tỉ lệ với độ tăng khe hở miệng, do đó ta cũng có thể xem  $s(t)$  là một hàm ngẫu nhiên và áp dụng các kết quả trên để tính tuổi thọ của secmăng theo xác suất không hỏng do mòn. Điểm đặc biệt là thay vì dùng độ mòn để tính toán, ta sẽ tính toán trên độ tăng khe hở miệng của secmăng.

Nếu  $[s]$  là khe hở miệng cho phép

$s_0$  là khe hở miệng đo được ở lần đo đầu tiên

Thì độ tăng khe hở miệng cho phép là :

$$[\Delta s] = [s] - s_0$$

$[\Delta s]$  sẽ được thay vào công thức (2.56) tại vị trí của  $[u]$  để xác định xác suất không hỏng do mòn.

Các hằng số  $a, b, c, g$  được xác định như sau [10] :

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta s_i}{h_i}$$

$h_i$  : thời gian khe hở miệng tăng lên một lượng  $\Delta s_i$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta s_i}{h_i} - a \right)^2$$

Sau khi xác định được a, b ta xác định tiếp c, g

$$c = a^{-1}$$

$$g = b.a^{-3}$$

Có g và c ta xác định xác suất không hỏng do mòn của secmăng ở tuổi thọ T bằng công thức :

$$P\{\tau \geq T\} = 1 - \phi \left( \frac{T - c[\Delta s]}{\sqrt{g[\Delta s]}} \right) \quad (2.57)$$

$\phi$  là hàm Laplatce (2.57) được tra theo bảng

Người viết đã lập trình nằm trong procedure “tinh” trong chương trình chính để tính tuổi thọ của secmăng theo xác suất không hỏng do mòn bằng máy tính

Trong chương trình , đã tạo lập file dữ liệu có tên laplatce.dat lưu giữ toàn bộ các giá trị của hàm laplatce. Khi chạy chương trình máy sẽ tự động dò tìm dữ liệu trong file laplatce.dat để đưa vào tính toán trong chương trình chính.

Dữ liệu cần nhập vào chương trình là :

- Thời gian làm việc cần xác định xác suất không hỏng do mòn của secmăng.
- Số lần xác định độ tăng khe hở miệng.
- Giá trị khe hở miệng cho phép.
- Các giá trị khe hở miệng đo được.
- Các giá trị thời gian thử nghiệm.

Kết quả chương trình sẽ xuất ra : xác suất không hỏng do mòn của secmăng.

Chạy chương trình với xéc măng động cơ D12 , các số liệu nhập vào là:

Các thông số tính toán	Séc măng khí thứ nhất	Séc măng khí thứ hai
Số lần xác định độ tăng khe hở miệng	3	3
Khe hở miệng cho phép [s]	3 mm	3mm
Khe hở miệng đo lần đầu s[0]	0,308mm	0,294mm
Khe hở miệng đo lần kế tiếp s[1]	1,573mm	0,782mm
” s[2]	2,821mm	1,104mm
” s[3]	4,794mm	1,595mm
Thời gian thử nghiệm thứ nhất h[1]	172h	172h
” hai h[2]	493h	493h
” ba h[3]	969h	969h

Kết quả chạy chương trình :

- Với séc măng khí thứ nhất :

Ở thời gian làm việc 675h , séc măng còn làm việc hoàn toàn tốt .

Ở thời gian làm việc 680h , xác suất không hỏng do mòn là : 0,9364

Ở thời gian làm việc 690h , Xác suất không hỏng do mòn là :0,7119

Như vậy , có thể dự báo mức độ làm việc tốt của séc măng khí thứ nhất vào khoảng 680h.

- Với séc măng khí thứ hai :

Ở thời gian làm việc 2030h , séc măng còn làm việc hoàn toàn tốt .

Ở thời gian làm việc 2035h , xác suất không hỏng do mòn là 0,9521

Ở thời gian làm việc 2050h , xác suất không hỏng do mòn là 0,8150

Mức độ làm việc tốt của séc măng khí thứ hai vào khoảng 2035h.

## KẾT LUẬN

Luận án đã tổng kết được một số công trình nghiên cứu về mòn và tuổi thọ của séc măng động cơ diesel tàu thủy trên thế giới cũng như tại Việt nam . Ứng dụng các lý thuyết chung về ma sát và mài mòn để đánh giá về cặp ma sát séc măng- xilanh trong động cơ diesel tàu thủy .

### \* Những vấn đề mới đã được nghiên cứu :

-Đã giới thiệu một phương pháp để xác định độ mòn tại từng điểm của séc măng một cách chính xác , thuận tiện đó là phương pháp khoét vết lõm .Đánh giá độ chính xác của phương pháp thông qua việc phân tích những sai số có thể mắc phải . Đã thiết kế ( có bản vẽ lắp đính kèm ) một dụng cụ cắt chuyên dùng để khoét vết lõm trên mặt lưng của séc măng phục vụ cho việc đo mòn .

- Đã ứng dụng lý thuyết xác suất vào việc dự báo tuổi thọ của séc măng , đưa ra phương pháp dự báo tuổi thọ theo xác suất không hỏng do mòn dựa trên cơ sở coi quá trình mòn là một quá trình ngẫu nhiên . Nêu bật những ưu điểm của phương pháp dự báo tuổi thọ séc măng theo xác suất không hỏng do mòn so với phương pháp cũ là dự báo tuổi thọ theo cường độ mòn tuyến tính .

- Đã ứng dụng tin học để dự báo tuổi thọ của séc măng theo cả hai phương pháp ( chương trình đính kèm tại phần phụ lục ) . Đã chạy chương trình với một động cơ cụ thể .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO.

- 1- Nguyễn Anh Tuấn , Nguyễn Văn Thêm  
Kỹ thuật ma sát và biện pháp nâng cao tuổi thọ thiết bị .  
NXB khoa học kỹ thuật - Hà nội 1990 .
- 2- Kotexky  
Masát , bôi trơn và hao mòn trong máy móc .  
Bản dịch , NXB khoa học kỹ thuật - Hà nội 1977.
- 3- Trần Hữu Nghị  
Nhiên liệu , dầu nhờn , nước dùng cho tàu thủy .  
NXB giao thông vận tải -1990
- 4- Nguyễn Văn Thêm  
Ảnh hưởng của môi trường nhiệt ẩm đến tốc độ mòn của cặp ma sát GX15-  
GX21.  
Tạp chí khoa học công nghệ số 1-1991.
- 5- Nguyễn Tất Tiến , Hồ Xuân Năng  
Khả năng bao kín của vòng găng động cơ D50  
Tạp chí khoa học công nghệ số 1-1991.
- 6- Nguyễn Anh Tuấn , Nguyễn Đình Bảng , Phạm Quang Lộc , Ngô Nhật Thái  
Một số vấn đề về mòn vòng găng động cơ diesel .  
Tạp chí khoa học kỹ thuật số 7+8 - 1986 .
- 7- Ủy ban KHKT nhà nước , TCVN 1721-85 .  
Động cơ đốt trong , vòng găng - phương pháp thử .
- 8- Lê Văn Chúc , Mẫn Xuân Thái  
Kỹ thuật và kinh nghiệm đúc piston , sơ mi , xilanh .  
NXB khoa học , Hà nội - 1969.
- 9- Chi nhánh Castrol tại TP Hồ Chí Minh  
Hội thảo về dầu nhờn hàng hải  
Phân hiệu ĐHHH phía nam - 10-1995
- 10- Dương Xuân Bình , Dương Ngọc Nhậm , Nguyễn Thanh Sơn  
Xác suất và thống kê toán  
Trường ĐHKT - TP Hồ Chí Minh -1996

11-Bùi Xuân Lâm

Ứng dụng Turbo Pascal tạo lập các file dữ liệu dùng cho thiết kế tự động .

Báo cáo khoa học 4-1996 , Phân hiệu ĐHHH .

12-Đỗ Phúc

Turbo Pascal 6.0

Công ty máy tính Việt nam - 1991.

13-Nguyễn Thanh Nhã

Autodesk 3D studio

NXB Thành phố Hồ Chí Minh - 1995

14-Garkunop D.H

Tribotekhnika (Bản tiếng Nga )

Masinoxtroennhie-1989

15-Velitrkin I.N , Nhixnhevic A.I, Giubietova M.P

Uxkorenniie ixputanhia diezennưc dvigachenlei na iznoxtokoc .

( bản tiếng Nga )

Masinoxtroennhie-1964

16-Boborxkaia I.L , Golixưn IU.A

Uxkorenniie ixputanhia posnhevưc kox na iznox (Bản tiếng Nga )

Xaratop - 1979

17-Kragenxki I.V

Oxnovưc raxtrotop na trennhie i iznox ( Bản tiếng Nga )

Masinoxtroennhie -1977

18-Misin I.A

Đôgvetrnoc dvigachenlei ( Bản tiếng Nga )

Masinoxtroennhie - 1976

19-Khrutsop M.M

Opredelehhie iznoxa detalei masin za korotkie periodưi rabotưi

( Bản tiếng Nga ).

Masinoxtroennhie- 1965

20-Pronhicop A.C

Povúisennhie dongóvetrnotchi xtanornóvơ parka ( Bản tiếng Nga )

21-English . K

Posnhevúie konxa .(Bản tiếng Nga )

Masinoxtroennhie- 1962

22-Eyre T.S , Wilson .F

The generation of hard particle s during sliding wear . (Bản tiếng Anh ) .

Wear - N<sup>0</sup>14 - 1969

23-Scott.D , Smith A.I , Tait.J , Tremain G.R

Materials and metallurgical aspect of piston ring scuffing. (Bản tiếng Anh) .

Wear -N<sup>0</sup>33 - 1975

24-Wartsila diesel news

Customer journal. (Bản tiếng Anh) .

1-1996 .

## TÓM TẮT LÝ LỊCH

Họ và tên : Bùi Xuân Lâm

Ngày sinh : 08-03-1971

Nơi sinh : Hà nội

Địa chỉ hiện tại : 188/619bis Võ Văn Tần , F5 , Q3 , TP Hồ Chí Minh .

Điện thoại : 8335143.

## PHẦN PHỤ LỤC

BẢNG CÁC GIÁ TRỊ CỦA HÀM LAPLATCE

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,00	0,0000	0,50	0,1915	1,00	0,3413	1,80	0,4641
0,02	0,0080	0,52	0,1985	1,02	0,3461	1,85	0,4678
0,04	0,0150	0,54	0,2054	1,04	0,3508	1,90	0,4713
0,06	0,0239	0,56	0,2123	1,06	0,3554	1,95	0,4744
0,08	0,0319	0,58	0,2190	1,08	0,3599	2,00	0,4772
0,10	0,0398	0,60	0,2257	1,10	0,3643	2,10	0,4821
0,12	0,0478	0,62	0,2324	1,12	0,3686	2,20	0,4861
0,14	0,0557	0,64	0,2389	1,14	0,3729	2,30	0,4893
0,16	0,0636	0,66	0,2454	1,16	0,3770	2,40	0,4918
0,18	0,0714	0,68	0,2517	1,18	0,3810	2,50	0,4938
0,20	0,0793	0,70	0,2580	1,20	0,3849	2,60	0,4953
0,22	0,0871	0,72	0,2642	1,22	0,3883	2,70	0,4965
0,24	0,0948	0,74	0,2703	1,24	0,3925	2,80	0,4974
0,26	0,1026	0,76	0,2764	1,26	0,3962	2,90	0,4981
0,28	0,1103	0,78	0,2823	1,28	0,3997	3,00	0,49865
0,30	0,1179	0,80	0,2881	1,30	0,4032	3,20	0,49931
0,32	0,1255	0,82	0,2939	1,35	0,4115	3,40	0,49966
0,34	0,1331	0,84	0,2995	1,40	0,4192	3,60	0,49984
0,36	0,1406	0,86	0,3051	1,45	0,4265	3,80	0,49993
0,38	0,1480	0,88	0,3106	1,50	0,4332	4,00	0,49997
0,40	0,1554	0,90	0,3159	1,55	0,4394	4,50	0,49999
0,42	0,1628	0,92	0,3212	1,60	0,4452	5,00	0,499997
0,44	0,1700	0,94	0,3264	1,65	0,4505	>5	0,5
0,46	0,1772	0,96	0,3315	1,70	0,4554		
0,48	0,1844	0,98	0,3365	1,75	0,4599		

```
PROGRAM TUOITHO;
```

```
USES crt;
```

```
Const
```

```
s1='TRUONG DAI HOC HANG HAI VIET NAM ' ;  
s2=' PHAN HIEU THANH PHO HO CHI MINH ' ;  
s3=' LUAN AN THAC SI ' ;  
s4='LUAN AN DUOC HOAN THANH TAI TRUONG DAI HOC HANG HAI VIET NAM ' ;  
s5=' PHAN HIEU THANH PHO HO CHI MINH ' ;  
s6='TAC GIA XIN CHAN THANH CAM ON NHUNG TAP THE VA CA NHAN DA GIUP DO  
s7='Nguoi huong dan : PGS-PTS NGUYEN VAN THEM ' ;  
s8='Nguoi thuc hien : KS BUI XUAN LAM ' ;
```

```
TYPE
```

```
BANG = RECORD
```

```
XB : real;
```

```
PHIB: real;
```

```
End;
```

```
VAR
```

```
F: file of BANG;
```

```
BA:BANG;
```

```
ch:byte;
```

```
lc:char;
```

```
Procedure TAOFILE;
```

```
VAR
```

```
i:byte;
```

```
Begin
```

```
clrscr;
```

```
writeln('          CHUONG TRINH TAO FILE ');
```

```
writeln('          oOo          ');
```

```
writeln;
```

```
assign(f, 'LAPLATCE.DAT');
```

```
rewrite(f);
```

```
i:=0;
```

```
with BA do
```

```
Begin
```

```
repeat
```

```
write('GIA TRI X thu ',i+1,' bang bao nhieu : ');readln(XB);
```

```
write('HAM PHI ',i+1,' bang bao nhieu : ');readln(PHIB );
```

```
seek(f,i);
```

```
write(f,BA);
```

```
I:=I+1;
```

```
until i = 97;
```

```
End;
```

```
close(f);
```

```
End;
```

```
Procedure Writexy(x,y:integer;st:string);
```

```
Begin
```

```
Gotoxy(x,y);Write(st);
```

```
End;
```

```
Function Lap(c:char;time:integer):string;
```

```
Var
```

```
tam:string;
```

```
i:integer;
```

```
Begin
```

```
Tam:=' ';
```

```
For i:=1 to time do
```

```
Tam:=tam+c;
```

```
Lap:=tam;
```

```
End;
```

```
Function Min(a,b:integer):integer;
```

```
Begin
```

```
If a<b then min:=a
```

```
Else min:=b;
```

```
End;
```

```

Procedure Banchu(x,y,color:integer;st:string);
Var
  k,len,maxlen:byte;
Begin
  Textcolor(color);
  maxlen:=Lo(windmax)-Lo(windmin);
  For k:=1 to length(st) do
  Begin
    len:=maxlen-x-k;
  Repeat
    Gotoxy(x+k,y);Clreol;
    Gotoxy(x+k-1,y);Writeln(st[k]:len);
    Delay(20);
    Dec(len);
  Until len=0;
  End;
End;
Procedure Chaychu(x,y,color:integer;st:string);
Var
  k:integer;
  tin:string;
Begin
  Textcolor(color);
  Tin:=Lap(' ',39)+st+' ';
  For k:=1 to length(tin) do
  Begin
    Writexy(x,y,copy(tin,k,min(39,length(tin)+k)));
    Delay(100);
  End;
End;
Procedure Rotchu(x,y,color:integer;st:string);
Var
  i,j :integer;
Begin
  Textcolor(color);
  For i:=1to length(st) do
  For j:=1 to y do
  Begin
    Writexy(x+i,j-1,' ');
    Writexy(x+i,j,st[i]);
    Delay(10);
  End;
End;
Procedure gioi_thieu;
begin
  textcolor(14);
  Rotchu(15,18,14,s8);
  Rotchu(15,16,14,s7);
  Banchu(20,2,10,s1);
  Banchu(20,4,10,s2);
  Banchu(25,10,12,s3);
  Chaychu(12,23,11,s4);
  Chaychu(12,23,11,s5);
  Chaychu(12,23,11,s6);
  DELAY (1200);
End;
Procedure TINH;
  var
    a,b,c,g,m,r,X,PHI,scp,dscp,t,p,T1,T2,T3,T4:real;
    I, J,n:byte;
    s,h,ds:array[0..100] of real;
  Begin
    clrscr;
    textcolor( YELLOW + BLINK );

```

```

gotoxy(10,4);
writeln('TINH TUOI THO XECMANG THEO XAC SUAT KHONG HONG DO MON');
textcolor(5);
gotoxy(12,8);
write('Nhap thoi gian lam viec:');readln(t);
gotoxy(12,9);
write('Nhap so lan xac dinh do tang khe ho mieng:');readln(n);
GOTOXY(12,10);
write('Nhap khe ho mieng cho phep:');readln(scp);
gotoxy(12,12);
textcolor(GREEN);
writeln('Nhap cac gia tri khe ho mieng do duoc ');
gotoxy(12,13);
writeln('Lan do dau tien tuong ung voi s[0]');
for J:=0 to n do
Begin
  GOTOXY(12,14+J);
  write('Gia tri khe ho mieng s['J,']la:');readln(s[J]);
  dscp:=scp-s[0];
End;
for J:=1 to n do
Begin
  GOTOXY(12,15+N+J);
  TEXTCOLOR(RED);
  write('Thoi gian thu nghiem h['J,']la:');readln(h[J]);
End;
for J:=0 to n-1 do
ds[J+1]:=s[J+1]-s[J];
m:=0;
for J:=1 to n do
m:=m+ds[J]/h[J];
a:=m/n;
r:=0;
for J:=1 to n do
r:=r+sqr((ds[J]/h[J])-a);
b:=r/n;
c:=1/a;
g:=b/(a*a*a);
x:=(t-c*dscp)/sqrt(g*dscp);
if x<0 then
Begin
  GOTOXY(10,23);
  TEXTCOLOR(YELLOW);
  write('XEC MANG CON LAM VIEC TOT SAU ',t:0:2,' GIO');
End;
IF X>5 THEN
Begin
  GOTOXY(10,23);
  TEXTCOLOR(YELLOW);
  write('XAC XUAT KHONG HONG DO MON SAU ',t:0:2,' GIO LA 0.5');
End;
IF (X>=0) AND (X<=5) THEN
Begin
  WITH BA DO
  Begin
  Begin
  assign(F,'d:\LAPLATCE.DAT');
  reset(f);
  i:=0;
  repeat
  seek(f,i);
  read(f,BA);
  i:=i+1;
  until X <= XB;

```

```

    t1:=XB;t3:=PHIB;
End;
    if i>1 then
Begin
    seek(f,i-2);
    read(f,BA);
    t2:=XB;
    t4:=PHIB;
End;
End;
    if i>1 then
Begin
    if abs(X-t1)<= abs(X-t2) then
Begin
    X:=t1;PHI:=t3;
End;
    if abs(X-t1)> abs(X-t2) then
Begin
    X:=t2;PHI:=t4;
End;
End;
    P:=1-PHI;
    gotoxy(10,23);
    textcolor(YELLOW);
    write('SAU THOI GIAN ',T:0:2,' GIO, XS KHONG HONG DO MON LA :',P:0:5)
End;
    readln;
End;
Procedure TINH1;
VAR
    delta_s,hs,tdmon,ttho,l,n,a,b,p,q,r,o:real;
    i,k:byte;
    h,s:array[1..100] of real;
Begin
    clrscr;
    textcolor(yellow);
    gotoxy(10,4);
    writeln(' TINH TUOI THO XEC MANG THEO CUONG DO MON TUYEN TINH');
    textcolor(green);
    gotoxy(24,6);
    write('nhap so lan thuc nghiem:');readln(k);
    for i:=1 to k do
Begin
    gotoxy(24,6+i);
    write('nhap thoi gian lan thuc nghiem thu',i,':');readln(h[i]);
End;
    for i:=1 to k do
Begin
    gotoxy(24,6+k+i);
    write('nhap khe ho mieng xec mang lan thu',i,':');readln(s[i]);
End;
    gotoxy(24,6+2*k+1);
    write('nhap khe ho mieng cho phep:');readln(delta_s);
    gotoxy(24,6+2*k+2);
    write('nhap hanh trinh piston :');readln(l);
    gotoxy(24,6+2*k+3);
    write('nhap so vong quay dinh muc:');readln(n);
    p:=0;
    q:=0;
    r:=0;
    o:=0;
    for i:=1 to k do
Begin
    p:=p+h[i];

```

```

q:=q+s[i];
r:=r+sqr(h[i]);
o:=o+s[i]*h[i];
End;
hs:=1/(4*3.14*1*n*60);
a:=(p*q-k*o)/(sqr(p)-k*r);
b:=(p*o-r*q)/(sqr(p)-k*r);
tdmon:=a*hs;
ttho:= ((hs/tdmon)*delta_s)-(b*hs/tdmon);
clrscr;
textcolor(cyan);
gotoxy(20,6);
writeln('tuoi tho xec mang la :',ttho:0:3,'gio');
gotoxy(20,8);
writeln('quan he giua khe ho mieng va thoi gian la :');
gotoxy(20,10);
textcolor(red+blink);
writeln('s=',a:0:3,'*h+',b:0:3);
readln;
End;
}-----}

```

```

BEGIN

```

```

CLRSCR;
GIOI_THIEU;
{TAOFILE;}
REPEAT
CLRSCR;
TEXTCOLOR(GREEN);
GOTOXY(20,12);
WRITELN('1-TINH THEO XAC XUAT KHONG HONG DO MON');
GOTOXY(20,14);
WRITELN('2-TINH THEO CUONG DO MON TUYEN TINH');
TEXTCOLOR(RED+BLINK);
GOTOXY(20,16);
WRITE('BAN MUON CHON PHUONG PHAP TINH NAO ? ');
READLN(CH);
CASE CH OF
1:TINH;
2:TINH1;
END;
GOTOXY(15,25);
WRITE(' BAN CO MUON TIEP TUC LAM NUA KHONG [C/K]:');READ(LC);
UNTIL LC IN ['K','k'];
READLN;
END.

```