

Công nghệ gia công chi tiết quang

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

TS. NGUYỄN THỊ NGỌC LÂN

CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CHI TIẾT QUANG



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI**

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI
Biên tập và sửa bài: ThS. NGUYỄN HUY TIẾN
NGỌC LINH
Trình bày bìa: HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội

$\frac{60 - 6C5.8}{KHKT - 05}$ 6 - 459 - 30/12/04

In 800 cuốn, khổ 14 x 24 cm, tại Xí nghiệp in 19 - 8
Giấy phép xuất bản số: 6 - 459 - 30/12/2004.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 2 năm 2005.

LỜI NÓI ĐẦU

Trong suốt lịch sử phát triển của mình, con người luôn khao khát tìm hiểu, khám phá thế giới xung quanh. Tạo hoá cũng ban cho con người khả năng tiếp nhận thông tin từ thế giới bên ngoài thông qua các giác quan. Trong các thông tin từ các giác quan mà con người có khả năng tiếp nhận thì có đến 85% thông tin dưới dạng hình ảnh. Ngoài khả năng quan sát thông thường, con người còn muốn quan sát được những vật ở cách mình rất xa, những vật có kích thước rất nhỏ hoặc quan sát được ngay cả trong điều kiện đêm tối.

Để thoả mãn khát vọng đó, con người đã phát minh ra các loại dụng cụ và thiết bị quang học. Từ những dụng cụ quang học đơn giản đầu tiên như kính lúp, kính đeo mắt được sử dụng vào thế kỷ XIII (kính đeo mắt cổ xưa nhất được sử dụng từ năm 1290), con người phải mất nhiều thế kỷ sau (khoảng thế kỷ XVII) mới phát minh được kính hiển vi và ống nhòm (ống kính thiên văn do Johann Kepler chế tạo năm 1611). Đến nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của nhiều ngành khoa học kỹ thuật khác, các dụng cụ và thiết bị quang học ngày càng hiện đại hơn và có mặt trong hầu hết các lĩnh vực đời sống xã hội, kinh tế, an ninh quốc phòng... Ngày nay, người ta khó hình dung được một cuộc sống hiện đại lại thiếu vắng các dụng cụ và thiết bị quang học.

Trong các dụng cụ và thiết bị quang học, bộ phận không thể thiếu là các hệ quang được tạo thành từ các chi tiết quang. Con người sớm nhận ra rằng có thể quan sát được một vật với kích thước lớn hơn hoặc nhỏ hơn kích thước của vật thật thông qua một vật có mặt cầu bằng thuỷ tinh. Đó chính là những chi tiết quang đầu tiên mà con người chế tạo được.

Tuy vậy, lý thuyết về công nghệ tạo hình chi tiết quang lại phát triển rất muộn. Đặc biệt là so với công nghệ gia công cắt gọt kim loại. Về thực chất nó chỉ được phát triển từ những năm 20 của thế kỷ XX.

Do ra đời muộn, nên nhiều vấn đề về lý thuyết cơ bản trong lĩnh vực công nghệ gia công chi tiết thuỷ tinh quang học (gọi tắt là chi tiết quang hoặc linh kiện quang) còn chưa được nghiên cứu một cách kỹ lưỡng, nhiều vấn đề còn cần phải tiếp tục nghiên cứu để làm sáng tỏ hơn.

Mặc dù vậy, các công trình nghiên cứu về vấn đề này vẫn đạt được những thành tựu đáng kể. Kết quả của các nghiên cứu này đã cho phép tạo ra các chi tiết quang có độ chính xác rất cao, đáp ứng được các yêu cầu chế tạo các thiết bị quang học hiện đại như các thiết bị đo lường chính xác, kính thiên văn, các máy quay phim, chụp ảnh có độ nét cao...

Ở Việt Nam các nghiên cứu về công nghệ gia công chi tiết quang mới được bắt đầu vào những năm 70 - 80 của thế kỷ trước. Đến nay vấn đề này ngày càng được quan tâm và chắc chắn sẽ còn được quan tâm nhiều hơn nữa do vai trò không thể thay thế của các dụng cụ và thiết bị quang học trong đời sống xã hội và đặc biệt là trong an ninh quốc phòng.

Hiện nay, chúng ta đang sử dụng một số lượng lớn các thiết bị quang học, đồng thời cũng đang nghiên cứu chế tạo một số thiết bị quang học trong điều kiện Việt Nam. Điều này đặt ra một nhu cầu cấp bách trong việc phục hồi các chi tiết quang bị nắm mốc, bị hỏng vỡ hoặc chế tạo mới các chi tiết quang đạt độ chính xác tương đương các chi tiết cùng loại được chế tạo ở nước ngoài.

Nhằm đáp ứng phần nào nhu cầu về các kiến thức cơ bản, các thông tin cần thiết trong lĩnh vực công nghệ gia công chi tiết quang, chúng tôi biên soạn cuốn sách "Công nghệ gia công chi tiết quang".

Cuốn sách này được biên soạn dựa trên cơ sở tham khảo các tài liệu của các nước có nền tảng vững chắc về khoa học cơ bản và có nền công nghiệp chế tạo các thiết bị quang học tiên tiến như Liên Xô cũ, Cộng hoà Liên bang Đức, Cộng hoà Séc, Anh, Mỹ... Đồng thời, đây cũng là sự đúc kết các kết quả nghiên cứu, các kinh nghiệm thực tiễn của một số đơn vị đào tạo, nghiên cứu như Bộ môn Cơ khí chính xác và Quang học, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Trung tâm Cơ khí chính xác và Kỹ thuật Quang học nghiệp vụ - Bộ Công an, Viện Vật lý thuộc Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam... Tài liệu này cũng giới thiệu một số thiết bị gia công chi tiết quang hiện đại hiện đang được sử dụng ở Việt Nam, như ở Trung tâm Cơ khí chính xác và Quang học nghiệp vụ - Bộ Công an, Công ty Cổ phần Kính mắt Hà Nội...

Hy vọng cuốn sách sẽ là tài liệu tham khảo bổ ích cho các nhà công nghệ, công nhân kỹ thuật trong lĩnh vực gia công chi tiết quang và các lĩnh vực có liên quan. Đặc biệt, cuốn sách này là giáo trình môn học đang được giảng dạy cho

chương trình đại học và sau đại học của chuyên ngành Cơ khí chính xác và Quang học, thuộc Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Nhân dịp này xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các cơ quan, đơn vị, các đồng nghiệp, bạn bè, đặc biệt là PGS. TS. Ninh Đức Tồn đã tạo điều kiện giúp đỡ, động viên để chúng tôi có thể hoàn thành cuốn sách.

Vì điều kiện thời gian, nguồn tài liệu và đặc biệt là trình độ có hạn, cuốn sách không tránh khỏi các thiếu sót. Tác giả rất mong nhận được sự góp ý xây dựng của bạn đọc.

Các ý kiến đóng góp xin gửi về địa chỉ:

Bộ môn Cơ khí chính xác và Quang học, Phòng 313 - Nhà C5, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Điện thoại: 04 8680102.

Email: ngoclanmcx@yahoo.vn

hoặc nmlanmcx@mail.hut.edu.vn

Tác giả

Chương 1

CÁC DẠNG BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG VÀ ĐẶC TÍNH CÔNG NGHỆ CỦA CHÚNG

1.1. CÁC DẠNG BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG ĐIỂN HÌNH

Các thiết bị quang học được dùng rất phổ biến trong thực tế. Chúng ta có thể bắt gặp các dụng cụ quang học đơn giản nhất như kính lúp, kính hiển vi, ống nhòm,... đến các thiết bị phức tạp hơn như các thiết bị đo, quan trắc, kính viễn vọng, các thiết bị quan sát đêm... Trong tất cả các thiết bị đó bộ phận không thể thiếu là các hệ quang được hình thành từ các chi tiết quang.

Chi tiết quang là một môi trường truyền sáng, có thể rắn và được giới hạn bởi các bề mặt quang (bề mặt truyền sáng), chủ yếu là các mặt phẳng, trụ, cầu và phi cầu (bề mặt parabol, hyperbol, elip...).

Một số loại chi tiết thông dụng được chỉ dẫn trên hình 1.1 và hình 1.2.

Các thông số ban đầu cần thiết để thiết kế quy trình công nghệ gia công chi tiết quang là tính chất vật liệu, hình dạng hình học, kích thước và vị trí tương quan giữa các bề mặt. Các thông số này được xác định khi tính toán hệ quang.

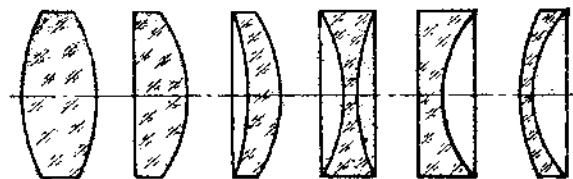
Theo đặc tính hình dạng, các chi tiết quang có thể là thấu kính, lăng kính hoặc bản phẳng song song.

- **Thấu kính** là các chi tiết quang được giới hạn bởi hai bề mặt cầu khúc xạ (hoặc một bề mặt cầu một bề mặt phẳng) và bề mặt trụ. Bề mặt khúc xạ có thể là bề mặt cầu hoặc phi cầu (bề mặt trụ, parabol, ...).

Đường thẳng nối tâm các mặt cầu gọi là tâm quang. Nếu một mặt của thấu kính là mặt phẳng thì tâm quang luôn luôn vuông góc với mặt phẳng đó.

Các thấu kính có thể là phân kỳ hay hội tụ

Theo đặc tính công nghệ và quan hệ giữa hình dạng và vị trí tương quan, các thấu kính có thể được phân thành các dạng sau:



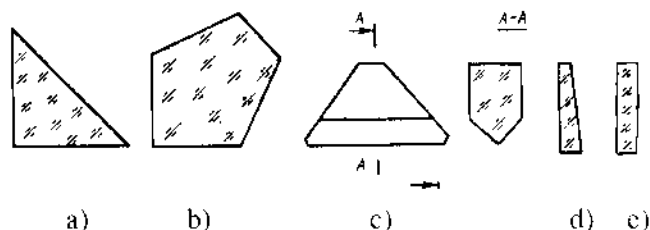
Hình 1.1. Một số dạng thấu kính.

Các thấu kính thường được vát mép để tránh bị nứt mẻ trong quá trình bảo quản, vận chuyển và sử dụng. Đôi khi vát mép còn có tác dụng như một vòng chặn sáng.

- **Lăng kính** là các chi tiết quang được giới hạn bởi các bề mặt phẳng được sắp xếp theo những góc xác định và có khả năng phản xạ hoặc khúc xạ ánh sáng.

Góc khúc xạ của lăng kính là góc giữa hai bề mặt đánh bóng. Lăng kính thường được dùng như các gương để khúc xạ tia sáng theo những hướng cần thiết.

Theo chức năng làm việc các lăng kính có thể là phản xạ hoặc khúc xạ. Theo đặc tính công nghệ và quan hệ giữa số bề mặt làm việc và các bề mặt tương quan có thể có các dạng lăng kính sau:



Hình 1.2. Một số dạng lăng kính.

Ngoài các bề mặt làm việc lăng kính còn có các bề mặt phẳng phụ trên đó có thể có rãnh, góc nghiêng, vát mép... nhằm đảm bảo tính kết cấu của thấu kính hoặc để lắp ráp thấu kính vào thiết bị.

Lăng kính có các bề mặt làm việc nghiêng với nhau một góc nhỏ (chỉ khoảng vài độ) được gọi là nêm (hình 1.2d). Tia sáng khi đi qua nêm bị lệch theo hướng chiều dày lớn hơn.

- **Bản phẳng song song** được giới hạn bởi hai mặt phẳng làm việc song song với nhau (hình 1.2 e). Mặt cạnh của bản phẳng có thể là mặt trụ hoặc mặt phẳng. Bản phẳng được gọi là gương nếu một trong hai bề mặt làm việc của bản phẳng được phủ màng phản xạ.

Bản phẳng song song được dùng làm kính bảo vệ, kính lọc sáng, thuốc khắc vạch, dưỡng phẳng thủy tinh...

1.2. ĐẶC TÍNH CÔNG NGHỆ TẠO HÌNH BỀ MẶT

Trên quan điểm công nghệ, tất cả các bề mặt của chi tiết quang được chia làm hai nhóm: bề mặt mài và bề mặt đánh bóng.

- Bề mặt mài là bề mặt được tạo thành sau nguyên công mài nghiền. Các bề mặt này có đặc tính tán xạ ánh sáng, nhấp nhô tế vi lớn. Chiều cao trung bình của các nhấp nhô vào khoảng từ 63 – 40 đến 3,2 – 1,6 μm .

- Bề mặt đánh bóng là bề mặt nhận được sau nguyên công đánh bóng. Các bề mặt trong suốt đối với các tia trong phổ nhìn thấy. Chiều cao trung bình của nhấp nhô tế vi bề mặt đánh bóng khoảng từ 0,12 – 0,06 μm đối với các chi tiết không tham gia vào các hệ quang. Đối với các chi tiết tham gia vào hệ quang như các lăng kính, thấu kính, gương... nhấp nhô tế vi có chiều cao trung bình vào khoảng 0,05 – 0,02 μm .

Trong phần lớn các trường hợp bề mặt mài là bề mặt không làm việc, bề mặt đánh bóng là bề mặt làm việc. Đối với thấu kính, nêm tròn, hoặc bản phẳng song song, bề mặt mài là các bề mặt mặt trụ. Còn đối với lăng kính bề mặt mài thường là các cạnh bên.

Trong nhiều trường hợp hai hoặc một số chi tiết quang được gắn với nhau tạo thành một hệ quang. Để tạo thành gương bề mặt chi tiết quang được phủ lớp phản xạ. Để chia các chùm sáng theo các hướng khác nhau trên bề mặt chi tiết quang phủ lớp bán thấu. Để đo hệ số phản xạ và hệ số xuyên qua có thể phủ lớp lọc. Trên bề mặt chi tiết quang có thể tạo các mạng vạch để sử dụng trong các thiết bị đo.

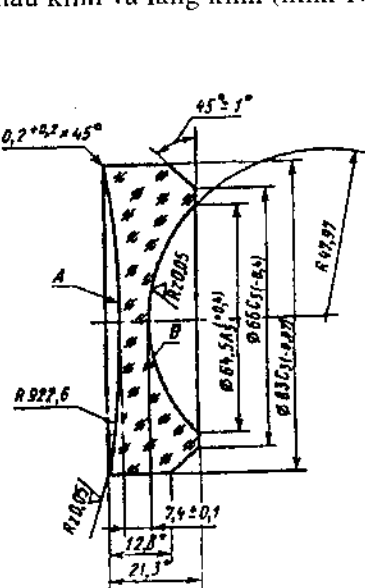
1.3. YÊU CẦU KỸ THUẬT ĐỐI VỚI CHI TIẾT QUANG

Yêu cầu kỹ thuật đối với chi tiết quang được xác định từ việc tính toán hệ quang. Các yêu cầu đó được chia làm hai nhóm:

- Nhóm thứ nhất là các yêu cầu đối với vật liệu thủy tinh để tạo ra chi tiết:

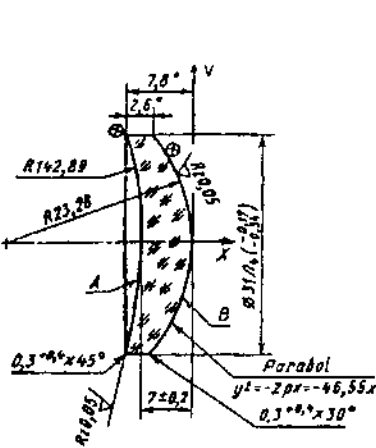
- Nhóm thứ hai là các yêu cầu được đặt ra trong quá trình tạo hình chi tiết.

Để hiểu rõ các chỉ tiêu kỹ thuật ghi trên bản vẽ ta xét hai dạng chi tiết điển hình là thấu kính và lăng kính (hình 1.3 và 1.4).



a)

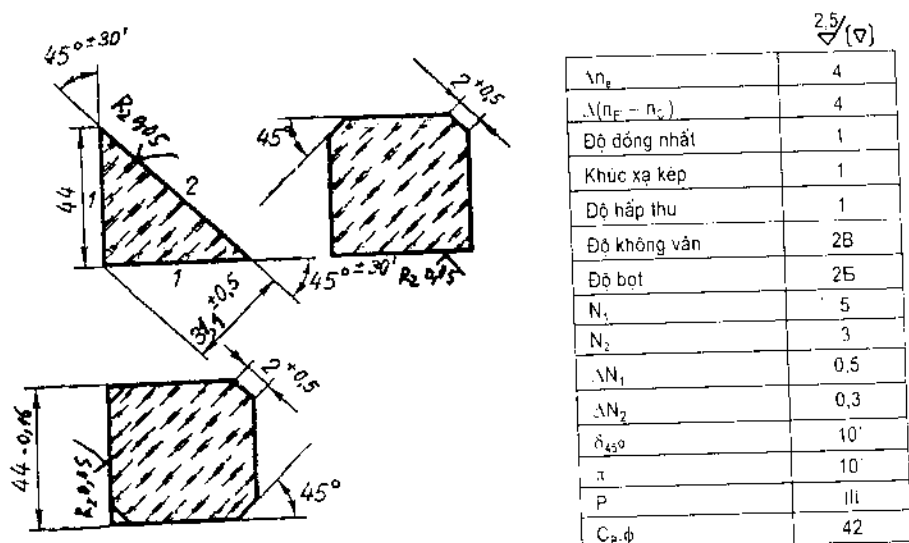
Δn_e	3B
$\Delta(n_F - n_C)$	3B
Độ đồng nhất	3
Khúc xạ kép	3
Độ hấp phụ ánh sáng	0
Độ vân	1B
Độ bọt	3A
N_A	5
ΔN_A	0,5
N_B	3
ΔN_B	0,3
C_A	1,0
C_B	0,02
P_A	V
P_B	VI
ΔR_A	+0,1%
ΔR_B	+0,05%
f	-74,22
S_F	78,55
S_F'	-74,45 ± 2,23
$C_A \phi_A$	76
$C_B \phi_B$	61



b)

Δn_e	3B
$\Delta(n_F - n_C)$	-
Độ đồng nhất	3
Khúc xạ kép	3
Độ hấp phụ ánh sáng	1
Độ không vân	2B
Độ bọt	2B
N_A	5
ΔN_A	0,5
C	0,05
C_B	0,02
P_A	IV
P_B	V
ΔR_A	3
f	47,87
S_F	-42,65
S_F'	48,71 ± 0,81
$C_B \phi_A$	26,1
$C_B \phi_B$	-28,1

Hình 1.3. Bản vẽ kỹ thuật của thấu kính.



Hình 1.4. Bản vẽ kỹ thuật của lăng kính.

Các yêu cầu chỉ ra trên bản vẽ gồm hai phần:

1- Các yêu cầu kỹ thuật đối với vật liệu

+ **Chiết suất** (chỉ số khúc xạ) sai lệch cho phép của chiết suất n_c (chiết suất ứng với tia đơn sắc phát xạ từ Hg có $\lambda = 546,07$ nm) quy định theo 5 cấp ứng với giá trị cho phép nằm trong khoảng $\pm 2 \cdot 10^{-4} \pm 20 \cdot 10^{-4}$.

+ **Chỉ số tán xạ trung bình** $n_F - n_C$ (chiết suất ứng với 2 tia đơn sắc phát xạ từ khí cadimi (Cd) có $\lambda = 480$ nm và $643,8$ nm). Sai lệch cho phép của độ tán xạ trung bình cũng được phân thành 5 cấp ứng với giá trị cho phép trong khoảng $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ đến $\pm 20 \cdot 10^{-5}$.

+ Độ đồng nhất quang học

- Độ đồng nhất quang học của nhóm phôi theo chiết suất n_c quy định 4 cấp ứng với giá trị cho phép trong khoảng $\pm 2 \cdot 10^{-4} \pm 20 \cdot 10^{-4}$ (A, A_c, B, B).

- Độ đồng nhất quang học của nhóm phôi theo độ tán xạ trung bình $n_F - n_C$ quy định 2 cấp (A, B) ứng với giá trị cho phép là $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ và $\pm 20 \cdot 10^{-5}$.

- Độ đồng nhất quang học xác định theo khả năng phân giải. Đối với phôi

có kích thước (đường kính hoặc cạnh) không lớn hơn 250 mm người ta quy định 5 cấp độ đồng nhất quang học (1,2 , ..., 5) ứng với giá trị của tỷ số $\varphi_{\min}/\varphi_{\max} = 1,0 \div 1,5$ (1,0; 1,1; 1,2; 1,5).

+ **Tia khúc xạ kép**: là chỉ số chất lượng của quá trình ủ thủy tinh được đặc trưng bằng hiệu quang lộ của 2 tia tách ra từ 1 tia tới dưới tác dụng của ứng suất dư khi nó đi qua bề dày của thủy tinh theo hướng kích thước lớn nhất, tính theo nm/ 1 cm hành trình.

Tia khúc xạ kép cho phép được phân thành 5 cấp (1, 2, ..., 5) giá trị cho phép của chúng trong khoảng $1,5 \div 65$ nm/cm.

+ **Hệ số hấp thụ ánh sáng**: Tùy theo giá trị cho phép của hệ số hấp thụ ánh sáng của thủy tinh mà ta quy định 5 cấp (00; 0; 1; 2; 3) ứng với giá trị cho phép là (0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5).

+ **Độ vân**: Vân là độ không đồng nhất quang học cục bộ của thủy tinh. Chúng là những tạp chất trong suốt hoặc dạng phân lớp và có chiết suất khác với chiết suất của khối thủy tinh cơ bản. Vân xuất hiện làm giảm chất lượng tạo ảnh, nên trong một khối thủy tinh yêu cầu càng ít vân càng tốt.

Cấp độ không vân của thủy tinh được đặc trưng bởi sự vắng mặt các tạp chất nhìn thấy khác nhau khi quan sát theo một hay hai hướng vuông góc với nhau trong điều kiện xác định. Người ta quy định 2 cấp độ không vân (cấp 1 và cấp 2).

Cấp 1 hoặc cấp 2 là ứng với mẫu vân loại 1 hoặc 2 khi kiểm tra không thấy xuất hiện vân.

Ngoài ra, người ta còn quy định theo hướng quan sát vân khi kiểm tra: B và B.

B - Vân được xác định theo hướng bất kỳ.

B - Vân được xác định theo hướng đã cho .

+ **Độ bọt** : Bọt có tác dụng che khuất và tăng lượng tán xạ ánh sáng.

Tiêu chuẩn quy định 11 cấp độ bọt theo đường kính lớn nhất của bọt. Giá trị cho phép của đường kính bọt lớn nhất nằm trong khoảng $0,002 \div 5,0$ mm.

Độ bọt được chia ra 6 loại (A, Б, B, Γ, Д, E) tùy theo số lượng trung bình của bọt có đường kính không quá 0,03 mm trong 1 kg thủy tinh.

2- Các yêu cầu kỹ thuật chế tạo chi tiết quang

Thiết lập bản vẽ chế tạo chi tiết quang cũng theo những nguyên tắc chung của bản vẽ chế tạo chi tiết cơ khí. Nhưng do đặc điểm của chi tiết quang nên còn có những yêu cầu bổ sung hoặc những yêu cầu theo tiêu chuẩn đặc biệt.

- + Chi tiết được đặt trên bản vẽ theo hành trình tia sáng đi từ trái sang phải.
- + Giá trị bằng số của bán kính bề mặt quang dạng cầu có kèm ký hiệu “R”

Bề mặt phi cầu được ghi phương trình đường cong bề mặt quay. Bề mặt trụ, trước giá trị bán kính R có ghi chữ “trụ”. Bề mặt có lớp phủ được ký hiệu bằng dấu “ $\otimes$ ”.

- + Độ chính xác hình học của bề mặt quang.

Bề mặt quang đòi hỏi độ chính xác rất cao vì vậy người ta thường dùng “dưỡng thủy tinh” để kiểm tra và dựa theo nguyên lý giao thoa ánh sáng. Số vân giao thoa quan sát được đặc trưng cho sai lệch bán kính cong của bề mặt quang so với bán kính cong bề mặt dưỡng thủy tinh.

Sai lệch cho phép của bán kính cong cũng cho theo số vân : N_A , N_B .

Ví dụ: Hình 1.3a: $N_A = 5$, $N_B = 3$.

Tùy theo số vân mà ta có thể tính được giá trị sai lệch bằng số của bán kính cong.

Chẳng hạn $N_A = 5$ ứng với khe hở ánh sáng:

$$5 \times \frac{\lambda}{2} \approx 1,25 \mu\text{m}$$

với $\lambda = 500 \text{ nm}$.

Như vậy, sai lệch giới hạn cho phép của bán kính cong là $\Delta R = 1,25 \mu\text{m}$.

+ Trong một số trường hợp, giá trị N_A , N_B có dấu “+” hoặc “-”, có nghĩa là:

* Dấu “ + ” khi quan sát thấy khe hở không khí ở biên, tiếp xúc ở tâm: nghĩa là bề mặt cong hơn (hoặc gồ lên) so với dưỡng kiểm tra.

* Dấu “ - ” ngược lại. Khi quan sát thấy khe hở không khí ở tâm, tiếp xúc ở biên: nghĩa là bề mặt lõm hơn (độ cong nhỏ hơn) so với dưỡng kiểm tra.

Chỉ tiêu N_A , N_B có trị số bằng nhau nhưng khác dấu thì bức tranh giao thoa cũng khác nhau.

Dấu “+”: Các đường vân hội tụ vào điểm đặt lực nén giữ cho đường cong về phía trong còn màu đỏ nằm ở phía ngoài của vân.

Dấu “-”: Các đường vân phân tán ra từ điểm đặt lực chiều cong quay ra phía ngoài màu đỏ nằm ở phía trong của dải vân màu.

+ Nếu các giải vân bị méo (vân không tròn đối với bề mặt cầu, không thẳng đối với bề mặt phẳng) thì xuất hiện sai lệch hình dạng bề mặt. Giá trị cho phép về hình dạng cho theo ΔN_A và ΔN_B (hình 1.3): $\Delta N_A = 0,5$; $\Delta N_B = 0,3$.

- Độ sạch bề mặt : P_A, P_B biểu thị yêu cầu các khuyết tật: xước, rỗ phải nằm trong giới hạn cho phép. Người ta quy định 9 cấp độ sạch bề mặt.

Cấp độ $PII \div PIX$ đối với những bề mặt cách xa bề mặt tạo ảnh.

Cấp PI - đối với những bề mặt phân bố ở các mặt phẳng tạo ảnh của vật. Ngoài ra cấp độ sạch còn chia ra 3 cấp nhỏ: $PI - 40, PI - 20, PI - 10$. Theo cấp $PI - 10$ thì chiều rộng cho phép của vết xước là $0,002\text{ mm}$, đường kính của vết rỗ $0,004\text{ mm}$.

- Sai lệch giới hạn cho phép từ sự định tâm của thấu kính: C biểu thị theo mm. Hình 1.3, $C_A = 1,0$; $C_B = 0,02$ thể hiện sai lệch vị trí của 2 bề mặt: bề mặt quang và bề mặt trụ lắp ghép.

Dựa vào bản vẽ chi tiết để thiết lập bản vẽ phôi và từ đó đưa ra quá trình công nghệ xác định. Trên bản vẽ phôi cũng chỉ ra :

- Lượng dư gia công
- Kích thước tinh của chi tiết
- Yêu cầu đối với vật liệu

Bản vẽ phôi là cơ sở cần thiết để chế tạo phôi hoặc đặt hàng cho các nhà chế tạo chi tiết quang.

1.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP TẠO PHÔI CHI TIẾT QUANG

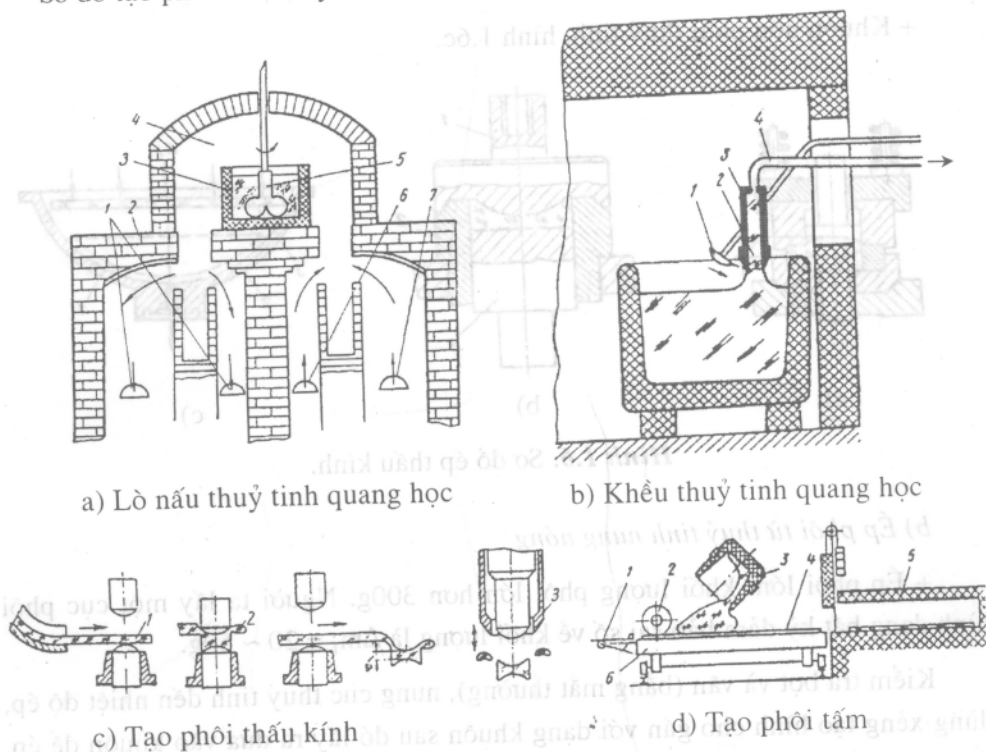
1.4.1. Phương pháp ép

a) Ép phôi từ thủy tinh nóng chảy

+ Ép từng chi tiết: Thủy tinh nóng chảy được lấy ra từ nồi nấu trong lò bằng que khâu kiểu hút chân không có định lượng chính xác (hình 1.5b).

+ Ép liên tục theo nhiều bước: Thủy tinh nóng chảy được dẫn ra khuôn theo máng dẫn rồi vào khuôn ép: bước 1: tạo hình sơ bộ; bước 2: tạo hình chính xác; bước 3: cắt ba vĩa (hình 1.5c).

Sơ đồ tạo phôi tấm thủy tinh thể hiện trên hình 1.5d.



Hình 1.5. Sơ đồ quá trình ép phôi từ thủy tinh nóng chảy.

Nhiệt độ khuôn ép phải thích hợp để khuôn không làm nguội nhanh thủy tinh, gây ra ứng suất trên bề mặt. Nhưng cũng không quá cao làm cho thủy tinh định hình chậm ảnh hưởng tới năng suất. Khuôn ép bằng kim loại nhiệt độ khoảng 300°C đến 550°C .

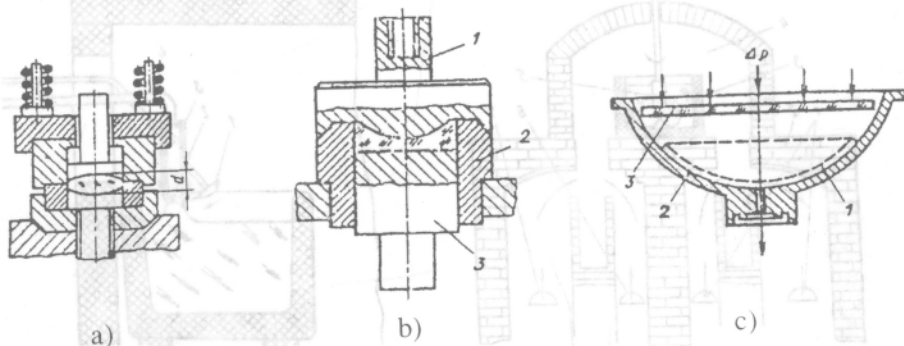
Khuôn thường làm bằng thép, bề mặt gia công tinh nhẵn và phủ một lớp chống dính. Để tăng thời hạn sử dụng khuôn người ta tăng độ bền nhiệt, độ bền hoá học và độ rắn bề mặt bằng cách sử dụng các hợp kim khác nhau tùy theo mức thủy tinh.

Khuôn thường có hai loại:

+ Khuôn kín: Sai lệch chiều dày của phôi ép tùy thuộc vào khối lượng thủy tinh đưa vào ép (hình 1.6a).

+ Khuôn hở: Chiều dày của phôi ép được xác định bằng cách khống chế hành trình của chày ép (phôi ép có ba vĩa), hình 1.6b.

+ Khuôn uốn phôi thủy tinh, hình 1.6c.



Hình 1.6. Sơ đồ ép thấu kính.

b) Ép phôi từ thủy tinh nung nóng

+ Ép phôi lớn: khối lượng phôi lớn hơn 300g. Người ta lấy một cục phôi hình dạng bất kỳ đảm bảo sai số về khối lượng là $\Delta m_f = 20 \sim 50g$.

Kiểm tra bọt và vân (bằng mắt thường), nung cục thủy tinh đến nhiệt độ ép, dùng xẻng tạo hình cho gần với dạng khuôn sau đó lấy ra đưa vào khuôn để ép. Sau ép đưa vào lò ủ.

+ Ép những phôi nhỏ từ 300 → 10 ÷ 8 g thậm chí 1 ÷ 0,5 g. Đó là những dạng phôi phổ biến nhất. Vật liệu thủy tinh đưa vào khuôn ép thường được ép thành tấm có chiều dày yêu cầu. Sau đó cắt thành từng miếng có khối lượng phù hợp rồi đem nung nóng và đưa vào khuôn ép.

Dung sai đường kính phôi ép $\pm 0,2 \div \pm 1 \text{ mm}$ ($D > 120 \text{ mm}$)

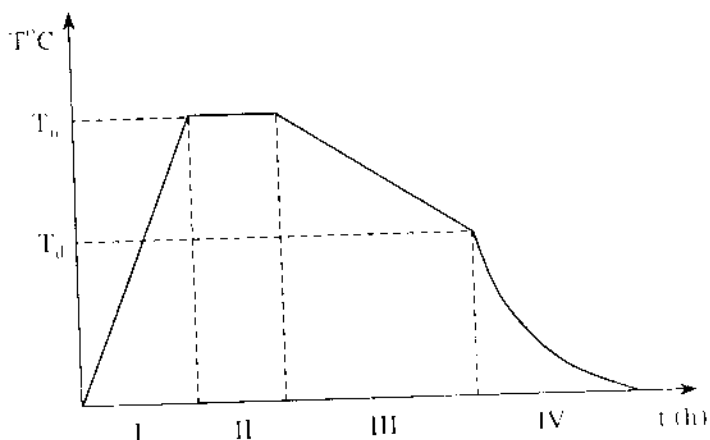
Dung sai chiều dày phôi: $\pm 0,5 \div 1,0 \text{ mm}$.

- Gia công nhiệt sau khi ép

Phôi sau khi ép phải trải qua gia công nhiệt để khử ứng suất dư, ổn định lại tổ chức, người ta thường ủ trong lò theo giản đồ hình 1.7, gồm 4 giai đoạn:

+ Nung đến nhiệt độ ủ: $390^0 \div 630^0C$.

- + Giữ ở nhiệt độ ủ: $T_u = \pm 5^{\circ}\text{C}$
- + Làm nguội thủy tinh đèn dưới nhiệt độ u.
- + Làm nguội đến nhiệt độ thường.



Hình 1.7. Giảm độ nhiệt độ khi ủ tinh.

Tốc độ làm nguội ở giai đoạn IV có thể tăng hơn ở giai đoạn III vì ở nhiệt độ này làm nguội thường không xuất hiện ứng suất dư.

Ví dụ: phôi dày 80 mm, đường kính 120 – 150 mm nung 25°C/h , làm nguội 10°C/h . Đối với những vật lớn đường kính 2 m thì thời gian ủ t = 6 tháng.

Tốc độ làm nguội phụ thuộc vào kích thước phôi và các thông số quang của vật liệu (n , n_F , n_C , khúc xạ kép v.v...) từ $0,05 \div 20^{\circ}\text{C/h}$.

1.4.2. Tạo phôi bằng phương pháp gia công cắt gọt

- Cửa phôi từ vật liệu thủy tinh quang học dưới dạng khối

+ Cửa thành tấm.

+ Cửa thành từng phôi.

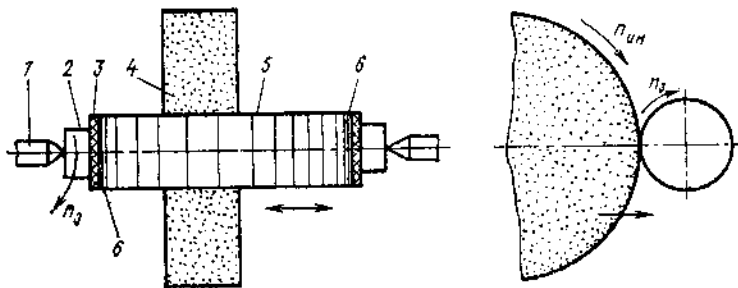
Thực hiện trên máy cửa với đĩa cửa kim cương.

- Mài tạo hình sơ bộ.

+ Mài phẳng.

Chi tiết quang được gắn trên một đĩa kim loại rơi đặt trên bàn từ của máy mài và được mài bằng đá mài mật dầu có vành kim cương.

+ Mài tròn ngoài, hình 1.8.



Hình 1.8. Sơ đồ mài tròn ngoài.

Chi tiết được gắn thành khối và gá trên trục tâm của máy mài tròn ngoài.

+ Gia công sơ bộ mặt cầu.

Gia công sơ bộ mặt cầu được thực hiện trên máy phay mặt cầu chuyên dùng. (Nguyên lý tạo hình trên máy phay sẽ được trình bày ở phần sau).

Có thể tính góc nghiêng của đầu dao phay theo công thức:

Khi phay mặt cầu lõm ta có:

$$\sin \alpha = \frac{D}{2(R+r)} \Rightarrow \alpha = \arcsin \frac{D}{2(R+r)}$$

Khi phay mặt cầu lõm ta có:

$$\sin \alpha = \frac{D}{2(R-r)} \Rightarrow \alpha = \arcsin \frac{D}{2(R-r)}$$

trong đó: D - đường kính dao phay kim cương;

R - bán kính mặt cầu chi tiết cần phay;

r - bán kính lượn tròn của vành kim cương.

Khi thực hiện nguyên công phay ta chỉ tính góc α để điều chỉnh góc nghiêng của đường tâm quay của dao so với đường tâm quay của chi tiết. Với cùng một dao phay khi điều chỉnh góc nghiêng α ta có thể phay các mặt cầu bán kính R khác nhau.

Chương 2

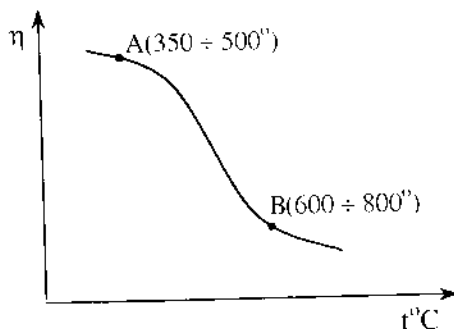
VẬT LIỆU THỦY TINH QUANG HỌC

Thủy tinh quang học nói chung là loại vật liệu có tính chất vô định hình, có độ cứng cao ở nhiệt độ bình thường, trong suốt, hệ số dẫn điện và dẫn nhiệt thấp, bền dưới tác động của môi trường và nước và đồng nhất. Đặc biệt, chúng có khả năng truyền ánh sáng theo đường thẳng (tính đồng nhất) với vận tốc không đổi theo mọi hướng (tính đẳng hướng). Nhờ vậy chúng được dùng làm môi trường truyền sáng dưới dạng các chi tiết quang. Trong các thiết bị và dụng cụ quang học các chi tiết quang thường được chế tạo từ thủy tinh vô cơ. Vì vậy, chương này cũng chỉ đề cập đến các loại thủy tinh vô cơ.

2.1. QUÁ TRÌNH CHUYỂN HOÁ VÀ THÀNH PHẦN HOÁ HỌC CỦA THỦY TINH QUANG HỌC

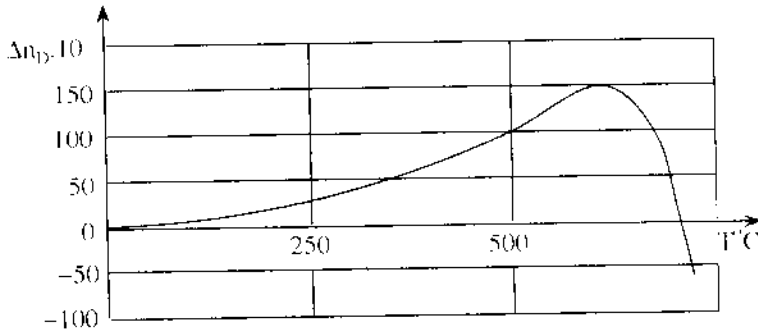
2.1.1. Quá trình chuyển hoá của thủy tinh

Quá trình tạo thành thủy tinh là một quá trình chuyển từ trạng thái lỏng sang trạng thái thủy tinh khi làm nguội một hỗn hợp nóng chảy. Đây là một quá trình thuận nghịch. Khi bị làm nguội, độ nhớt của hỗn hợp nóng chảy tăng lên. Sơ đồ hình 2.1 cho thấy quan hệ giữa độ nhớt của hỗn hợp nóng chảy và nhiệt độ trong quá trình chuyển trạng thái.



Hình 2.1. Sơ đồ biểu diễn quan hệ giữa độ nhớt của hỗn hợp nóng chảy và nhiệt độ.

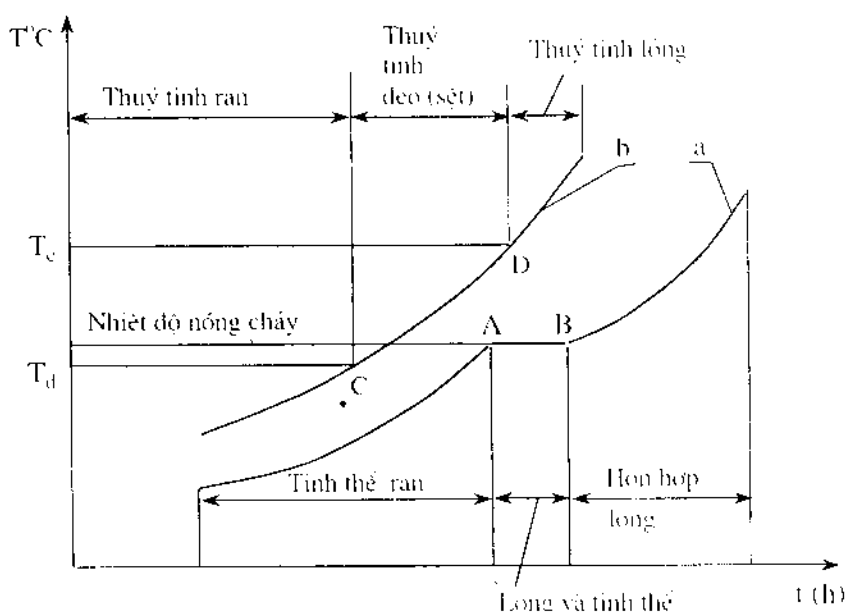
Khi nhiệt độ thay đổi, chiết suất của thủy tinh cũng thay đổi. Các kết quả nghiên cứu khi thay đổi nhiệt độ từ 20 - 700⁰C cho thấy, ở nhiệt độ $T \approx 500^0\text{C}$ chiết suất n_D của thủy tinh có quan hệ thuận nghịch với nhiệt độ. Khi nhiệt độ thay đổi trong khoảng 520 - 600⁰C chiết suất n_D thay đổi một cách rõ rệt và không thuận nghịch (hình 2.2).



Hình 2.2. Sơ đồ quan hệ giữa sự thay đổi gia số chiết suất Δn_D của thủy tinh và nhiệt độ.

Bằng cách không chế nhiệt độ người ta có thể thay đổi chiết suất thủy tinh đến 0,001. Trường hợp đặc biệt có thể đạt tới 0,0002 hoặc thậm chí tới 0,00005. Hiện nay có khoảng trên 200 loại thủy tinh có chiết suất khác nhau.

Khi nung nóng một chất rắn đến một nhiệt độ nóng chảy xác định nào đó, độ bền liên kết giữa các nguyên tử bị phá vỡ. Trên đường cong nhiệt độ (hình 2.3 a) tồn tại khoảng A-B. Giai đoạn này trong chất lỏng nóng chảy vẫn còn tinh thể. Sau khi nóng chảy các tinh thể cuối cùng (điểm B) nhiệt độ tăng lên rất nhanh. Ngược lại, khác với chất rắn tinh thể, thủy tinh không có điểm nóng chảy xác định. Khi bị nung nóng, ban đầu thủy tinh mất độ giòn (điểm C, hình 2.3 b). Đây là điểm giới hạn giòn của thủy tinh và gọi là **"điểm chuyển trạng thái"**. Sau đó thủy tinh chuyển dần sang trạng thái sệt và cuối cùng trở nên loãng. Điểm D là điểm bắt đầu trạng thái lỏng của thủy tinh và gọi là **"điểm chảy"**. Khoảng nhiệt độ từ lúc mất độ giòn T_d đến khi đạt được độ loãng của chất lỏng T_l gọi là **"khoảng chuyển trạng thái"**.



Hình 2.3. Sơ đồ chuyển trạng thái khi bị nung nóng của tinh thể rắn (a) và của thủy tinh (b)

2.1.2. Thành phần hoá học của thủy tinh quang học

Thành phần hoá học của thủy tinh bao gồm nhiều yếu tố, trong đó thành phần chủ yếu là oxit silic (SiO_2). Để thay đổi các tính chất của thủy tinh như chiết suất, hệ số khuếch đại, độ bền cơ, độ bền hoá... người ta thường thêm vào một số thành phần phụ khác như các oxit: Na_2O , K_2O , CaO , Al_2O_3 , B_2O_3 , PbO , BaO , ZnO , As_2O_3 , La_2O_3 , ... hoặc một số nguyên tố như: Mg, Zn, Co, Cr.

Thủy tinh quang học được sắp xếp thành nhóm theo thành phần hoá học, chiết suất và đặc biệt là theo độ tán sắc ánh sáng. Tất cả thủy tinh được chia thành hai nhóm chính tùy thuộc vào thành phần các oxit chứa trong thủy tinh, đó là thủy tinh krôn (có chứa Na_2O , CaO) và thủy tinh flin (có chứa PbO). Nhóm flin thường có chiết suất lớn hơn. Tên gọi, ký hiệu và các tính chất cơ bản của một số mác thủy tinh quang học thông dụng thể hiện trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Ký hiệu và các tính chất cơ bản của một số loại thủy tinh quang học thông dụng

Mác thủy tinh		Chiết suất			Hệ số nở dài $\alpha \cdot 10^{-7}$		Nhiệt độ thiếu kết, $T^{\circ}\text{C}$	Độ cứng mài tương đối	Độ nhớt, g/cm^3
		n_D	n_F	n_e	Từ $-20 \div 60^{\circ}\text{C}$	Từ $20 \div 120^{\circ}\text{C}$			
Crôn nhẹ	LK5	1,4781	1,48319	1,47590	33	35	675	1,6	2,27
Crôn	K8	1,5163	1,52195	1,51389	68	76	600	1,0	2,52
	K14	1,5147	1,52067	1,51218	62	71	610	1,0	2,53
Crôn bari	BK10	1,5688	1,57597	1,56581	65	71	660	0,7	3,12
Crôn nặng	SK2	1,5724	1,57942	1,56946	64	70	700	0,8	3,20
	SK14	1,6130	1,62012	1,61000	63	69	680	0,7	3,51
Cron Flin	KF4	1,5181	1,52428	1,51549	64	71	610	0,8	2,57
Flin bari	BF16	1,6709	1,68098	1,66679	78	84	665	0,5	4,02
	BF25	1,6076	1,61697	1,60379	66	73	650	0,9	3,47
Flin nhẹ	LF5	1,5749	1,58481	1,57089	66	72	570	0,8	3,23
Flin	F2	1,6164	1,62843	1,61159	74	76	540	0,6	3,60
	F8	1,6248	1,63737	1,61980	95	101	500	0,7	3,61
Flin nặng	SF1	1,7398	1,66119	1,64207	83	87	520	0,5	3,86
	SF4	1,6475	1,75871	1,73243	77	82	490	0,6	4,65
Flin đặc biệt	CF1	1,5294	1,53661	1,52604	59	63	500	0,9	2,56

Oxit silic (SiO_2) - thành phần cơ bản của thủy tinh có nhiều trong cát thạch anh. Để nấu thủy tinh người ta dùng cát thạch anh có chứa không dưới 99,5% SiO_2 và có độ sạch cao (lượng tạp chất sắt không quá 0,01%). Cát thạch anh được nghiền nhỏ thành bột có kích thước khoảng từ 0,1 - 0,5 mm, sau đó được tuyển chọn bằng điện phân. Sau khi tuyển chọn thành phần sắt chỉ còn 0,003 đến 0,01%. Khi nung nóng bột thạch anh đến nhiệt độ 1700°C sẽ nhận được một chất liệu trong suốt. Đó là thủy tinh thạch anh với các tính chất sau:

- Hệ số dẫn nở nhiệt bé (chỉ bằng 1/10 - 1/20 hệ số dẫn nở nhiệt của thủy tinh thường). Ví dụ: ở nhiệt độ 20°C : $\alpha = 5 \cdot 10^{-7}$

ở nhiệt độ 1200°C : $\alpha = 11 \cdot 10^{-7}$

- Độ rắn cao;
- Ứng suất bền kéo lớn;
- Bền dưới tác dụng của axit (trừ axit flohydric HF);
- Cho tia tử ngoại xuyên qua.

Với những đặc điểm trên thủy tinh thạch anh được dùng để chế tạo các đường, mẫu hoặc calip kiểm tra chi tiết quang.

Oxit natri (Na_2O) là thành phần có mặt trong hầu hết các loại thủy tinh. Người ta cho oxit natri vào thủy tinh dưới dạng soda (Na_2CO_3) và nitrat natri (NaNO_3). Oxit natri làm hạ nhiệt độ nóng chảy của thủy tinh và do đó tăng nhanh quá trình tạo thủy tinh. Oxit natri còn tạo điều kiện để đẩy các bọt khí ra khỏi thủy tinh lỏng. Tuy nhiên oxit natri cũng làm giảm độ rắn và độ bền hoá học của thủy tinh.

Oxit kali K_2O được cho vào thủy tinh dưới dạng kali cacbonat K_2CO_3 và kali nitrat KNO_3 . Sự tham gia của oxit kali vào thành phần của thủy tinh cũng có tác dụng như oxit natri, tuy nhiên nó làm còn làm tăng đáng kể hệ số tán xạ trung bình.

Oxit canxi (CaO) là một trong những thành phần quan trọng nhất được cho vào thủy tinh dưới dạng đá vôi (CaCO_3) sau khi được nghiền vụn và tuyển chọn. Bổ sung oxit canxi sẽ làm tăng độ rắn và độ bền hoá học mà không làm thay đổi nhiệt độ nóng chảy của thủy tinh.

Oxit magie (MgO) được cho vào thủy tinh dưới dạng magie cacbonat (MgCO_3) và MgO nhằm làm tăng độ bền hoá, độ bền cơ và đồng thời làm tăng hệ số tán xạ trung bình của thủy tinh.

Oxit bari (BaO) được đưa vào thủy tinh dưới dạng bari nitrat $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ và bari cacbonat BaCO_3 . Thêm oxit bari có thể làm tăng chiết suất của thủy tinh đồng thời có thể nhận được các loại thủy tinh có cùng chiết suất n_D nhưng có các giá trị $n_F - n_C$ khác nhau.

Oxit chì (PbO) tham gia vào thành phần của thủy tinh dưới dạng chì monoxit (PbO) hoặc minium chì (Pb_3O_4). Thủy tinh có chứa chì (thủy tinh flin) có độ nhớt và chiết suất cao, nhưng lại có chỉ số Abbe v nhỏ.

Ngoài ra còn một số các hợp chất khác được cho thêm vào thủy tinh nhằm làm thay đổi tính chất của thủy tinh với những mục đích sử dụng khác nhau.

2.2. CÁC TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA THỦY TINH QUANG HỌC

Cho đến nay, do yêu cầu sử dụng người ta đã chế tạo ra hàng trăm loại thủy tinh quang học khác nhau. Để sử dụng một cách hợp lý, các nhà thiết kế và công nghệ cần nắm vững các tính chất cơ bản của thủy tinh quang học. Trong đó các tính chất quang và cơ cần được đặc biệt quan tâm.

2.2.1. Tính chất quang

Khi sử dụng chi tiết quang với chức năng truyền sáng, người ta đặc biệt quan tâm đến các tính chất quang học của vật liệu thủy tinh. Các tính chất đó thể hiện qua các thông số sau:

2.2.1.1. Chiết suất và tán xạ ánh sáng

- Chiết suất: là tỷ số vận tốc của một tia sáng có chiều dài bước sóng λ xác định truyền trong chân không C (đối với chiết suất tuyệt đối) hoặc truyền trong không khí $V_{0\lambda}$ (đối với chiết suất tương đối) và vận tốc của λ trong môi trường khảo sát. Từ đó có các biểu thức:

$$N_{\lambda} = \frac{C}{V_{\lambda}} \quad (2.1)$$

$$n_{\lambda} = \frac{V_{0\lambda}}{V_{\lambda}} \quad (2.2)$$

$$\text{Có thể rút ra:} \quad N_{\lambda} = n_{0\lambda} \cdot n_{\lambda} \quad (2.3)$$

trong đó:

C - vận tốc tia sáng truyền trong chân không;

N_{λ} và n_{λ} - chiết suất tuyệt đối và tương đối của tia sáng có chiều dài bước sóng λ ;

$n_{0\lambda}$ - chiết suất tuyệt đối của không khí;

$V_{0\lambda}$ và V_{λ} - vận tốc của tia λ truyền trong không khí và trong môi trường khảo sát.

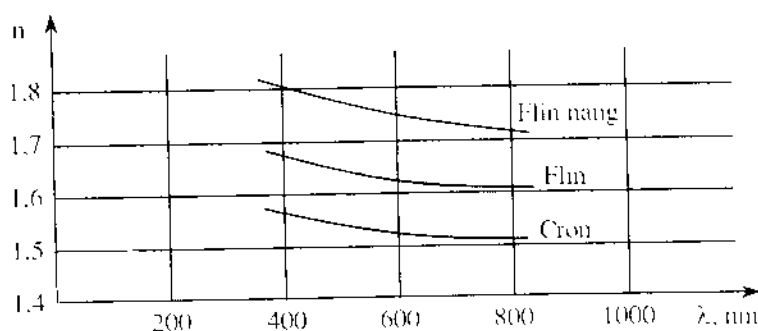
Các tia sáng đơn sắc với chiều dài bước sóng tương ứng được nhà vật lý người Đức đưa ra, thể hiện trong bảng 2.2.

Bảng 2.2. Một số tia đơn sắc thường dùng và chiều dài bước sóng của chúng

Miền quang phổ	Đỏ		Vàng		Xanh lục	Xanh			Tím
Ký hiệu tia Fraunhofer	A'	C	D	d	e	F	g	G'	h
Chiều dài bước sóng, nm	768,2	656,3	589,3	587,6	546,1	486,1	453,8	434,0	404,7

Người ta đã xác định được rằng trong điều kiện cụ thể với nhiệt độ $t = 0^{\circ}\text{C}$, áp suất $p = 760 \text{ tor}$ và tia $\lambda_D = 589,3 \text{ nm}$, $n_{0\lambda} \approx 1$. Lúc đó $N_{\lambda} = n_{\lambda}$.

Trong thực tế, chiết suất của thủy tinh thường là chiết suất tương đối đối với không khí. Như vậy, chiết suất tương đối của thủy tinh được xác định bằng tỷ số giữa vận tốc tia sáng bước sóng λ trong không khí và vận tốc của tia sáng đó trong môi trường thủy tinh quang học được khảo sát. Các loại thủy tinh khác nhau có chiết suất khác nhau phụ thuộc vào thành phần hoá học của chúng (xem bảng 2.1). Thủy tinh flin có chứa nhiều chì có chiết suất lớn hơn các thủy tinh có chứa ít chì hoặc không có chì. Quan hệ này được thể hiện trên hình 2.4.



Hình 2.4. Đồ thị quan hệ giữa một số loại thủy tinh và chiết suất.

- Độ tán xạ:

Tán xạ là hiện tượng các tia sáng có bước sóng khác nhau truyền trong cùng một môi trường sẽ có chiết suất khác nhau.

Độ tán xạ của môi trường thủy tinh là hiệu số chiết suất n_1, n_2 tương ứng với các bước sóng λ_1, λ_2 của các tia C, D, F và h trong chùm tia cho trong bảng 2.2.

Tùy thuộc vào thành phần hoá học và tỷ số của các thông số quang học (chiết suất, độ tán xạ, ...) người ta phân loại và ký hiệu các loại thủy tinh (xem bảng 2.1).

2.2.1.2. Sự phản xạ, hấp thụ và truyền qua thủy tinh của ánh sáng

Khi một chùm sáng tới bề mặt thủy tinh một phần quang năng truyền qua môi trường thủy tinh, một phần sẽ bị phản xạ bởi bề mặt thủy tinh, phần còn lại bị môi trường thủy tinh hấp thụ.

Gọi ϕ là quang năng của chùm sáng tới, thì ϕ được xác định bằng công thức:

$$\phi = \phi_r + \phi_a + \phi_e \quad (2.4)$$

trong đó: ϕ_r , ϕ_a , ϕ_e - lần lượt là quang năng của chùm phản xạ, hấp thụ và truyền qua với:

$$R = \phi_r / \phi \text{ là hệ số phản xạ} \quad (2.5)$$

$$K = \phi_a / \phi \text{ là hệ số hấp thụ} \quad (2.6)$$

$$T = \phi_e / \phi \text{ là hệ số truyền qua} \quad (2.7)$$

Ta có:

$$R + K + T = 1 \quad (2.8)$$

Để tạo ánh sáng và rõ nét trong các hệ quang, cần đảm bảo sao cho hệ số truyền qua là lớn nhất trong khi hệ số phản xạ và hấp thụ là nhỏ nhất. Khi chế tạo vật liệu thủy tinh, bằng cách thay đổi thành phần hoá học người ta có thể tạo ra các loại thủy tinh có hệ số hấp thụ, phản xạ và truyền qua khác nhau.

- *Sự phản xạ ánh sáng:* Sự phản xạ trên bề mặt thủy tinh là sự mất mát quang năng của ánh sáng do phản xạ và được thể hiện bằng hệ số phản xạ R . Hệ số R được tính theo công thức Fresnell khi tia sáng truyền từ môi trường có chiết suất n tới môi trường có chiết suất n' :

$$R = \left(\frac{n' - n}{n' + n} \right)^2 \quad (2.9)$$

Với môi trường truyền sáng là không khí thì $n \approx 1$, lúc đó:

$$R = \left(\frac{n' - 1}{n' + 1} \right)^2 \quad (2.10)$$

Chiết suất của thủy tinh càng lớn thì hệ số phản xạ càng lớn, mất mát quang năng càng tăng làm ảnh hưởng đến chất lượng tạo ảnh của hệ quang. Thông thường, đối với thủy tinh Krôn $R = 5\%$, đối với thủy tinh flin $R = 6 \div 7\%$. Bảng 2.3 thể hiện hệ số phản xạ của tia D trong quan hệ với bước sóng và chiết suất.

Bảng 2.3: Hệ số phản xạ của tia D trong quan hệ với bước sóng và chiết suất

λ	n_D	R_D	λ	n_D	R_D
400	1,7332	0,0720	600	1,70053	0,0673
425	1,72602	1,0710	625	1,69862	0,0670
450	1,72015	0,0700	650	1,69693	0,0668
475	1,71536	0,0694	675	1,69542	0,0666
500	1,71139	0,0688	700	1,69406	0,0664
525	1,70804	0,0684	725	1,69283	0,0662
550	1,70571	0,07679	750	1,69172	0,0660
575	1,70269	0,0676	-	-	-

- *Sự hấp thụ ánh sáng*: là sự mất mát quang năng bởi sự hấp thụ quang năng của vật liệu thủy tinh khi chùm tia sáng tới truyền qua môi trường thủy tinh. Sự hấp thụ ánh sáng được đặc trưng bởi hệ số hấp thụ K và được xác định bằng tỷ số giữa quang năng của chùm ánh sáng trắng khi đi qua thủy tinh trên quãng đường 1 cm và quang năng của chùm tia sáng tới. Sự hấp thụ ánh sáng làm giảm độ sáng của ảnh, vì vậy hệ số K càng nhỏ càng tốt. Thông thường các loại thủy tinh nhẹ có hệ số hấp thụ nhỏ hơn các loại thủy tinh nặng. Ví dụ:

- Thủy tinh crôn nhẹ có $K = 1,2\%$
- Thủy tinh flin nhẹ có $K = 4,3\%$
- Thủy tinh crôn-bari có $K = 10\%$

Các loại thủy tinh flin nặng thường có độ trong suốt kém nhất.

Mỗi loại thủy tinh có khả năng hấp thụ khác nhau đối với các tia đơn sắc có bước sóng khác nhau. Thủy tinh flin nặng có độ trong suốt kém thường hấp thụ hầu hết các tia có bước sóng ngắn, có loại thủy tinh có khả năng hấp thụ các tia tử ngoại hoặc hồng ngoại hoặc có loại chỉ cho phép truyền qua những tia trong một dải rất hẹp của vùng quang phổ. Đặc tính này được sử dụng để đáp ứng những nhu cầu sử dụng khác nhau, đặc biệt là để tạo ra các loại kính lọc màu.

Để tạo ra các loại thủy tinh có khả năng hấp thụ khác nhau tùy theo mục đích sử dụng, trong thành phần của thủy tinh thường được bổ sung các oxit nguyên tố hiếm. Ví dụ: các loại thủy tinh có chứa oxit kim loại nguyên tố nhẹ như B_2O_3 , BeO , LiO_2 , cho tia Rơngxen xuyên qua, trong khi đó thủy tinh có chứa oxit kim loại nặng như PbO lại hấp thụ tia Rơngxen. Để giảm hệ số hấp thụ, trong

thành phần của thủy tinh không nên có các oxit như oxit crom hoặc oxit sắt.

2.2.1.3. Tính lưỡng chiết

Lưỡng chiết là hiện tượng tia sáng đi qua bản thủy tinh bị tách làm hai và truyền trong bản thủy tinh với vận tốc khác nhau. Có hiện tượng này là do nội ứng suất xuất hiện trong thủy tinh khi gia công nhiệt không đúng chế độ hoặc dưới tác dụng của ngoại lực làm cho môi trường thủy tinh không đẳng hướng. Độ lưỡng chiết được xác định bằng hiệu quang lộ của các tia lưỡng chiết trong một bản thủy tinh dày 1 cm. Tính lưỡng chiết là một khuyết tật không cho phép tồn tại đối với vật liệu thủy tinh quang học.

2.2.2. Tính chất cơ học

- *Độ bền của thủy tinh:* Thủy tinh có độ bền nén cao $\sigma_n = (50 \div 80) \cdot 10^7$ Pa trong khi đó lại có độ bền uốn thấp $\sigma_k = (8 \div 15) \cdot 10^7$ Pa.

Độ bền của thủy tinh giảm đáng kể ở lớp phá hủy hình thành trên bề mặt phơi trong quá trình gia công cơ. Bằng cách mài và đánh bóng bề mặt loại trừ lớp rạn nứt và các vết xước trên bề mặt thủy tinh có thể tăng độ bền lên 2- 4 lần.

Đặc biệt, thủy tinh có một đặc tính quan trọng là khi được kéo thành sợi có đường kính nhỏ hơn 0,01 mm thì độ bền kéo tăng lên rất nhiều. Đặc tính này được ứng dụng rộng rãi để làm cáp quang và cáp dẫn sáng trong y tế.

- *Độ cứng của thủy tinh:* Theo thang chia độ cứng 10 bậc của Mohr, thủy tinh có độ cứng nằm trong khoảng bậc 5 đến bậc 7 (kim cương có độ cứng bậc 10). Trong công nghệ gia công thủy tinh, để chọn được chế độ công nghệ hợp lý, người ta thường dùng khái niệm độ cứng mài mòn tương đối. Thông số này thể hiện khả năng mài mòn của thủy tinh và được xác định bằng tỷ số giữa thể tích bị mài mòn của thủy tinh K8 và thể tích bị mài mòn của mẫu thủy tinh được khảo sát trong cùng một điều kiện công nghệ:

$$H_{td} = \frac{V_{KS}}{V_k} \quad (2.11)$$

Giá trị nghịch đảo của độ cứng mài mòn tương đối là độ mài mòn. Độ cứng tương đối càng cao thì độ mài mòn càng thấp. Ta có quan hệ:

$$H_m = \frac{1}{H_{td}} = \frac{V_{KS}}{V_k} \quad (2.12)$$

Bảng thực nghiệm người ta đã xác định được các giá trị T_{td} của một số mác thủy tinh: thủy tinh K8 có độ cứng mài mòn tương đối là 1, 01·5 (rất đặc biệt) là 0,3, krôn siêu cứng là 3.

Cũng với cách làm trên, người ta có thể xác định độ cứng mài mòn tương đối của các mác thủy tinh khác nhau so với thủy tinh BK7. Bảng 2.4 thể hiện giá trị độ cứng mài mòn tương đối và độ mài mòn của một số mác thủy tinh.

Bảng 2.4: Độ cứng mài mòn tương đối và độ mài mòn của một số mác thủy tinh

Mác thủy tinh	BK7	BaK2	K2F2	F2	F3	F4	SF2
Độ cứng mài mòn tương đối, H_{td}	1,000	0,955	1,200	0,815	0,835	0,885	0,7250
Độ mài mòn, H_m	1,000	1,045	0,835	1,230	1,200	1,130	1,385

- *Độ giòn của thủy tinh:* Thủy tinh có đặc tính giòn nên rất dễ bị rạn vỡ khi có tải trọng va đập. Đây là nhược điểm lớn làm hạn chế phạm vi sử dụng của thủy tinh. Để tăng độ bền va đập, người ta có thể cho thêm vào thành phần hoá học của thủy tinh các oxit như B_2O_3 , MgO , SiO_2 , ... hoặc tôi thủy tinh. Sau khi tôi thủy tinh có độ bền va đập cao hơn 5-7 lần so với thủy tinh không tôi.

- *Độ đàn hồi của thủy tinh:* Thủy tinh có khả năng đàn hồi thấp, nên cần thận trọng khi kẹp chi tiết lên đồ gá khi gia công, đặc biệt là đối với các thấu kính có chiều dày ở tâm hoặc ở biên mỏng hoặc các tấm thủy tinh mỏng.

Độ bền tiếp xúc có quan hệ nghịch với môđun đàn hồi. Môđun đàn hồi E của thủy tinh LK6 khoảng 498.10^8 Pa, của K8 là 823.10^8 Pa và của CTK9 (krôn siêu cứng) là 1182.10^8 Pa.

2.2.3. Tính chất nhiệt học

Trong công nghệ gia công thủy tinh thường sử dụng các quá trình nhiệt. Vì vậy, tính chất nhiệt học của thủy tinh cũng cần được quan tâm.

- *Nhiệt dung riêng:* là lượng nhiệt cần thiết ở nhiệt độ xác định để làm nóng một đơn vị khối lượng thủy tinh lên một độ. Nhiệt dung của các mác thủy tinh khác nhau có giá trị khác nhau. Ví dụ: Thủy tinh K8 có $c = 0,739$ J/kg.độ, TF3 (rất nặng) $c = 0,407$ J/kg.độ và thủy tinh thạch anh có $c = 0,895$ J/kg.độ.

- **Độ dẫn nhiệt:** là khả năng truyền nhiệt của thủy tinh về hướng có nhiệt độ thấp hơn. Nhiệt độ càng cao độ dẫn nhiệt của chúng càng tăng. Các thủy tinh có chứa nhiều Al_2O_3 , Ba_2O_3 , MgO , và CaO có độ dẫn nhiệt cao hơn, ngược lại các thủy tinh có chứa nhiều PbO hoặc BaO có độ dẫn nhiệt thấp hơn.

- **Độ dẫn nở nhiệt:** Độ dẫn nở nhiệt của thủy tinh được đặc trưng bởi hệ số dẫn nở dài α và hệ số dẫn nở thể tích β . Hệ số dẫn nở phụ thuộc vào thành phần hoá học của thủy tinh và rất khác nhau đối với các loại thủy tinh khác nhau. Đối với thủy tinh thạch anh là 2.10^{-7} , LK5 (krôn nhẹ) là 33.10^{-7} , và LK1 là $111.10^{-7} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

- **Độ bền nhiệt:** là khả năng không bị phá vỡ của thủy tinh khi nhiệt độ thay đổi đột ngột. Độ bền nhiệt của thủy tinh không những phụ thuộc vào vật liệu mà còn phụ thuộc vào kích thước và hình dạng của phôi.

Khi làm nguội đột ngột, bề mặt thủy tinh chịu ứng suất kéo, ngược lại khi nung nóng nhanh chịu ứng suất nén. Do giới hạn chịu kéo thấp hơn giới hạn chịu nén nên độ bền nhiệt của thủy tinh khi làm nguội nhanh thấp hơn khi nung nóng nhanh. Ví dụ, một mẫu thủy tinh có thể chịu được nhiệt độ tăng đột ngột tới 450°C nhưng bị phá vỡ ngay khi bị làm nguội nhanh xuống 60°C .

2.2.4. Tính chất hoá học

Đây là một trong những tính chất quan trọng của thủy tinh và được biểu hiện qua độ bền hoá học. Độ bền hoá học đặc trưng bởi độ bền của thủy tinh dưới tác dụng của môi trường khí hậu và các hợp chất hoá học khác. Dưới tác dụng của môi trường nóng ẩm hoặc dung dịch axit nitric hay dung dịch kiềm (NaOH), bề mặt thủy tinh sẽ bị phá huỷ, trên bề mặt sẽ có các lớp màng hoặc vết mờ làm giảm khả năng truyền sáng của chi tiết thủy tinh. Để khắc phục hiện tượng này, các chi tiết quang trong các dụng cụ và thiết bị quang học thường được phủ màng mỏng bảo vệ nhằm tăng độ bền hoá học cũng như độ bền cơ.

Độ bền môi trường khí hậu: là khả năng của thủy tinh chống lại sự ăn mòn bề mặt của điều kiện khí hậu như độ ẩm, nhiệt độ,... Khả năng này của thủy tinh được đánh giá bằng cấp độ bền khí hậu CR (climatic resistance class). Độ bền khí hậu được phân làm 4 cấp thể hiện trong bảng 2.5.

Bảng 2.5. Cấp độ bền khí hậu của thủy tinh

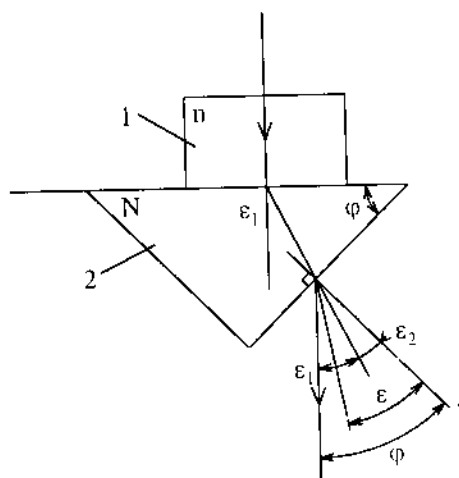
Cấp độ CR	1	2	3	4
ΔH	$< 0,3\%$	0,3% đến 0,1%	1.0% đến 2.0%	$\geq 2\%$

Để phân loại thủy tinh theo cấp độ bền khí hậu, người ta đo sự thay đổi độ truyền qua ΔH của thủy tinh trước và sau khi đặt mẫu thử vào buồng tăng tốc khí hậu. Mẫu thử là các bản phẳng song song sau khi đánh bóng hai mặt được đặt vào buồng khí hậu có độ ẩm không khí 100%, nhiệt độ thay đổi từ 40°C đến 50°C trong khoảng thời gian 30 giờ. Thủy tinh có độ truyền qua ít suy giảm nhất thuộc nhóm CR1 với $\Delta H < 0,3\%$. Thủy tinh nhóm này có thể lưu giữ ở điều kiện bình thường. Trong khi đó nhóm CR4 suy giảm tới hơn 2%. Thủy tinh nhóm này phải được lưu giữ trong điều kiện đặc biệt.

2.3. KIỂM TRA CÁC TÍNH CHẤT QUANG CỦA THỦY TINH

2.3.1. Kiểm tra chiết suất và độ tán xạ

Người ta kiểm tra chiết suất thủy tinh bằng khúc xạ kế. Nguyên lý hoạt động của khúc xạ kế được trình bày trên hình 2.5: Cho một nguồn sáng đơn sắc đi qua mẫu thủy tinh cần kiểm tra (1), tia sáng sẽ bị khúc xạ khi đi qua lăng kính chuẩn (2) của khúc xạ kế.



Hình 2.5. Nguyên lý hoạt động của khúc xạ kế.

Với giá trị góc ε đo được, có thể xác định chiết suất của vật liệu mẫu thủy tinh bằng công thức:

$$n = \sin\varphi \sqrt{N^2 - \sin^2 \varepsilon} - \cos\varphi \sin\varepsilon \quad (2.13)$$

trong đó:

- n - chiết suất của vật liệu mẫu thủy tinh;
- N - chiết suất của vật liệu lăng kính khúc xạ kẻ;
- ε - góc khúc xạ của tia ló qua lăng kính khúc xạ kẻ;
- φ - góc của lăng kính khúc xạ kẻ.

Để thuận tiện hơn trong tính toán, người ta có thể sử dụng khúc xạ kẻ có góc lăng kính $\varphi = 90^\circ$. Lúc đó chiết suất của vật liệu thủy tinh mẫu được xác định bằng:

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \varepsilon} \quad (2.14)$$

Độ tán xạ trung bình cũng được xác định bằng cách đo chiết suất khi sử dụng các nguồn sáng đơn sắc khác nhau. Dùng đèn khí hydro phát tia C và tia F sẽ xác định được n_C và n_F . Độ tán xạ trung bình Δn sẽ là:

$$\Delta n = n_F - n_C \quad (2.15)$$

2.3.2. Kiểm tra độ hấp thụ ánh sáng

Như đã trình bày ở trên, một phần quang năng của chùm tia sáng khi truyền qua môi trường thủy tinh sẽ bị thủy tinh hấp thụ. Hệ số hấp thụ được xác định thông qua hệ số truyền qua T và hệ số phản xạ R theo quan hệ:

$$K = 1 - T - R \quad (2.16)$$

- Hệ số truyền qua T được xác định bằng phương pháp quang điện, với:

$$T = \frac{m}{m_0} \quad (2.17)$$

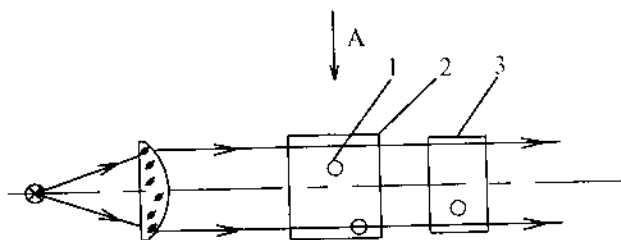
trong đó:

- m - cường độ dòng quang điện ứng với quang năng truyền qua mẫu Φ_e ;
- m_0 - cường độ dòng quang điện ứng với quang năng truyền qua vật liệu thủy tinh Φ_0 ;
- Hệ số phản xạ R được xác định bằng công thức (2.9) hoặc (2.10).

2.3.3. Kiểm tra các khuyết tật của vật liệu thủy tinh quang học

a) *Kiểm tra độ bọt*: Bọt là các khoảng không gian khép kín chứa không khí hoặc một số các chất khí khác như CO_2 nằm rải rác trong khối thủy tinh thành phẩm. Bọt là một trong những dạng khuyết tật và là dạng phổ biến nhất trong các xưởng chế tạo thủy tinh. Mặc dù bọt xuất hiện chủ yếu trong quá trình nấu, song đôi khi cũng có thể xuất hiện trong quá trình làm nguội hoặc gia công nhiệt. Tuy đã có nhiều biện pháp trong quá trình nấu như khuấy hoặc dùng hoá chất nhưng cũng không thể loại bỏ hoàn toàn bọt ra khỏi thủy tinh. Kích thước của bọt có thể dao động trong khoảng 0,002 - 5 mm, tuy nhiên bọt có kích thước từ 3 - 5 mm ít gặp hơn. Bọt làm giảm khả năng cho ánh sáng xuyên qua của thủy tinh. Người ta phân cấp chất lượng thủy tinh căn cứ vào số lượng và kích thước bọt cho phép trong khối thủy tinh.

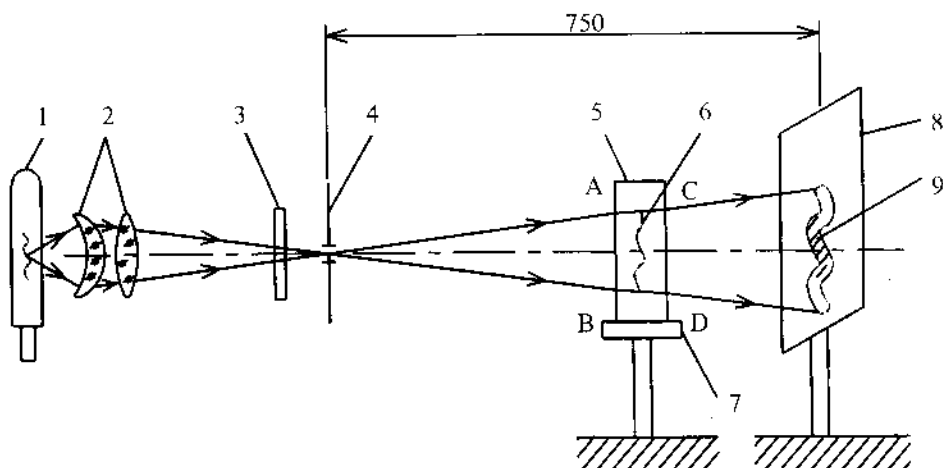
Để kiểm tra độ bọt người ta dựa vào tính chất tán xạ của bọt khí có tia sáng xuyên qua. Hình 2.6 thể hiện sơ đồ nguyên lý thiết bị kiểm tra độ bọt. Cho một chùm sáng song song đi qua mẫu thủy tinh cần kiểm tra (2). Các tia sáng khi gặp các bọt (1) sẽ bị tán xạ. Nhờ có một màn tối được kẻ ô vuông với kích thước xác định đặt vuông góc với phương chiếu sáng (A) người ta có thể quan sát và xác định được số lượng, kích thước bọt trên một đơn vị khối lượng vật liệu. Người ta cũng có thể so sánh độ bọt của vật liệu thủy tinh cần kiểm tra với độ bọt của phiên thủy tinh chuẩn được mài bóng (3) đặt trong thiết bị.



Hình 2.6. Sơ đồ kiểm tra độ bọt của vật liệu thủy tinh.

b) *Kiểm tra vân trong thủy tinh quang học*: Trong một khối thủy tinh thường có một phần nào đó có chiết suất cục bộ khác với chiết suất của cả khối. Những phần đó thường có dạng sợi hoặc mạng và được gọi là vân (những vết nhân cục bộ). Vân làm giảm tính đồng nhất của vật liệu thủy tinh.

Hình 2.7 thể hiện sơ đồ thiết bị xác định độ vẩn của thủy tinh. Nguồn sáng từ đèn thủy ngân 1 qua tụ quang 2 và kính mờ 3 sẽ đi qua vòng chắn sáng 4 trước khi chiếu lên màn hình 8. Mẫu cần xác định độ vẩn 5 được đặt lên bàn đo 7. Ván 6 sẽ tạo ảnh 9 lên màn ảnh 8. Dịch chuyển bàn đo cho đến khi ảnh của vẩn có thể quan sát được bằng mắt thường. Bằng cách xác định khoảng cách từ màn ảnh đến vị trí của vật mẫu, với đường kính xác định của vòng chắn sáng người ta có thể xác định được độ vẩn.



Hình 2.7. Sơ đồ nguyên lý thiết bị xác định độ vẩn của vật liệu thủy tinh.

c) Kiểm tra độ đồng nhất quang học

Độ đồng nhất quang học là độ đồng đều về chiết suất của thủy tinh. Chiết suất không đồng đều làm giảm khả năng phân giải của thủy tinh.

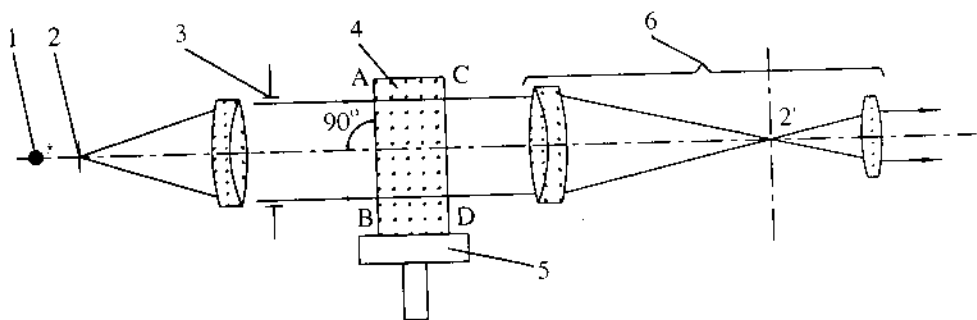
Độ đồng nhất quang học của thủy tinh được đánh giá bằng tỷ số giữa góc phân giải nhỏ nhất $\varphi_{\min}$ của thiết bị khi có mẫu cần kiểm tra và góc phân giải lý thuyết φ_{li} của thiết bị khi không có mẫu.

Hình 2.8 thể hiện sơ đồ nguyên lý của thiết bị kiểm tra độ đồng nhất quang học của thủy tinh. Đặt mẫu cần kiểm tra 4 có hai mặt phẳng song song AB và CD đã được mài hoặc đánh bóng lên bàn 5 của thiết bị. Hai mặt phẳng AB và CD phải được đặt vuông góc với hướng của các tia sáng. Điều chỉnh bàn đặt mẫu và đường kính vòng chắn sáng 3 sao cho ảnh 2' của đĩa vạch chuẩn 2 nằm trong trường quan sát của ống quan sát 6. Căn cứ vào số nhóm vạch chuẩn nhỏ

nhất có thể quan sát được để xác định góc phân giải nhỏ nhất $\varphi_{\min}$. Độ đồng nhất quang học của vật liệu thủy tinh được xác định biểu thức:

$$\frac{\varphi_{\min}}{\varphi_{0\min}}$$

Chất lượng của thủy tinh được xác định căn cứ vào giá trị của tỷ số này (tỷ số này dao động trong khoảng 1 ÷ 2).



Hình 2.8. Sơ đồ nguyên lý thiết bị đo độ đồng nhất của thủy tinh.

Tùy thuộc vào giá trị của tỷ số đó độ đồng nhất vật liệu thủy tinh được phân thành các cấp khác nhau. Cấp độ đồng nhất quang học của vật liệu thủy tinh được thể hiện trong bảng 2.6.

Bảng 2.6. Cấp độ đồng nhất của thủy tinh

Cấp độ đồng nhất quang học	1 và 2	3	4	5
Tỷ số $\varphi_{\min} / \varphi_{lt}$	1,0	1,1	1,2	1,5

Chương 3

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TẠO HÌNH BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG

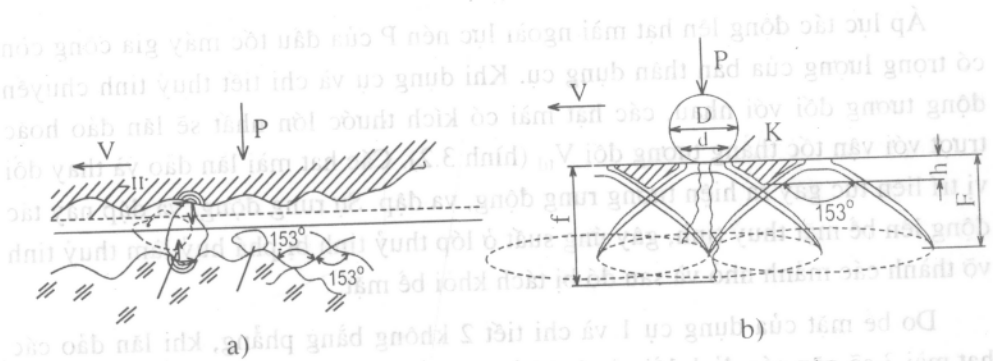
Để tạo hình bề mặt chi tiết quang có nhiều phương pháp. Có thể kể đến một số phương pháp như: phương pháp ép, các phương pháp gia công cắt gọt như tiện, phay, phương pháp gia công bằng hạt... Trong khi các phương pháp ép hoặc cắt gọt cho phép đạt độ chính xác thấp thường chỉ dùng để tạo phôi thì phương pháp gia công bằng hạt mặc dù đã được ứng dụng từ rất lâu nhưng cho đến nay vẫn được coi là phương pháp duy nhất cho phép đạt độ chính xác cao và trong nhiều trường hợp là rất cao vì vậy vẫn được sử dụng rộng rãi.

Hạt được sử dụng trong quá trình gia công thuỷ tinh chủ yếu cho hai nguyên công chính là mài nghiền và đánh bóng, vì vậy hạt ở đây được hiểu là hạt mài hoặc hạt đánh bóng. Trong quá trình gia công hạt có thể ở dạng tự do hay dính kết ngay trên bề mặt dụng cụ. Phần sau đây sẽ trình bày cơ sở lý thuyết tạo hình bề mặt chi thuỷ tinh quang học bằng hạt mài tự do và hạt mài dính kết.

3.1. QUÁ TRÌNH MÀI MÒN BỀ MẶT THỦY TINH BẰNG HẠT MÀI TỰ DO

Khi gia công, các hạt mài thấm nước được đưa vào giữa bề mặt thuỷ tinh và bề mặt dụng cụ theo mô hình được mô tả trên hình 3.1a. Dụng cụ và bề mặt thuỷ tinh chuyển động tương đối với nhau theo vận tốc tương đối V và chịu tác động của áp lực P . Dưới tác dụng của lực ma sát, các hạt mài lăn đảo giữa bề mặt dụng cụ và thuỷ tinh, tác động lẫn nhau. Nhờ đó các hạt mài phá vỡ bề mặt thuỷ tinh, mài mòn dụng cụ và tự nghiền vỡ.

Để hiểu rõ hơn quá trình phá vỡ bề mặt thuỷ tinh, người ta tiến hành làm thí nghiệm sau: Gia tải lên một viên bi thép đứng yên đặt trên bề mặt thuỷ tinh. Đến một áp lực nào đó bề mặt thuỷ tinh sẽ xuất hiện các vết nứt hình tròn (hình 3.1b).



Hình 3.1. Sơ đồ phá huỷ tĩnh bề mặt thủy tinh.

Khi viên bi lăn sẽ tạo nên một lưới vết nứt. Đây là nguyên nhân chính tạo nên lớp bề mặt bị phá huỷ của thủy tinh.

Khi hạt mài tự do phá huỷ bề mặt thủy tinh dưới tác dụng của áp lực mài, bề mặt thủy tinh sẽ tách thành các mảnh nhỏ và hình thành các lớp nổi có chiều sâu h nhỏ hơn 2 đến 3 lần chiều sâu vết nứt F.

Giá trị góc α ở đỉnh lớp nổi được xác định bằng $150^\circ \div 153^\circ$ và không phụ thuộc vào kích thước hạt. Tuy nhiên, khi gia công các mác thủy tinh có thành phần hoá học khác nhau thì chiều sâu vết nứt cũng khác nhau. Ví dụ, đối với thủy tinh thạch anh thì góc $\alpha = 109^\circ$, đối với các mác thủy tinh TK3, TF3, K8 thì tương ứng với các góc α là $134^\circ, 103^\circ, 150^\circ$. Đối với các thủy tinh có chiều sâu vết nứt lớn hơn thì có góc α nhỏ hơn.

Như vậy, yếu tố cơ bản của sự phá huỷ bề mặt thủy tinh khi mài nghiền bằng hạt tự do không chỉ là sự cào xước hay sự cắt gọt bằng các cạnh sắc của hạt mài, mà là do hạt mài tạo ra các vết nứt sau đó các mảnh thủy tinh bị tách khỏi bề mặt gia công.

Người ta cũng đã xác định được rằng do kích thước không bằng nhau, ban đầu áp lực từ dụng cụ chỉ truyền qua khoảng $5 \div 15\%$ số hạt mài có kích thước lớn hơn. Một số hạt khác không tham gia vào quá trình làm việc, chúng có thể bị nước cuốn khỏi bề mặt làm việc của chi tiết và dụng cụ hoặc va chạm lẫn nhau, tự nghiền vỡ. Các hạt bị nghiền vỡ cùng với các mảnh vỡ của thủy tinh cũng sẽ bị nước cuốn trôi. Số hạt còn lại sẽ lần lượt tham gia vào quá trình mài khi có kích thước hoặc vị trí thích hợp.

Áp lực tác động lên hạt mài ngoài lực nén P của đầu tốc máy gia công còn có trọng lượng của bản thân dụng cụ. Khi dụng cụ và chi tiết thủy tinh chuyển động tương đối với nhau, các hạt mài có kích thước lớn nhất sẽ lăn đảo hoặc trượt với vận tốc thẳng tương đối V_{td} (hình 3.2). Các hạt mài lăn đảo và thay đổi vị trí liên tục gây ra hiện tượng rung động, va đập. Sự rung động, va đập này tác động lên bề mặt thủy tinh, gây ứng suất ở lớp thủy tinh bị phá hủy làm thủy tinh vỡ thành các mảnh nhỏ và sau đó bị tách khỏi bề mặt.

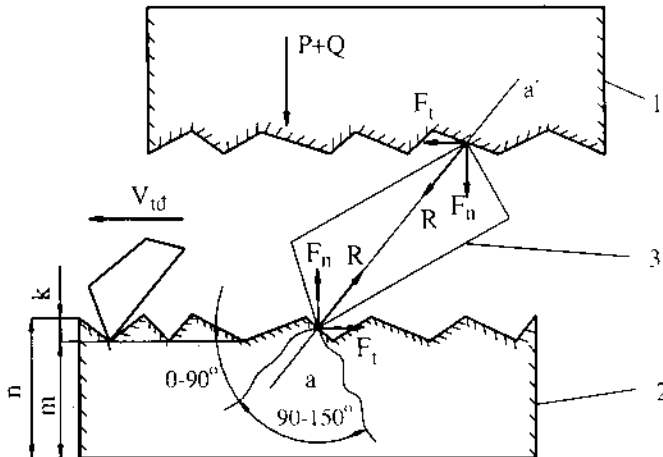
Do bề mặt của dụng cụ 1 và chi tiết 2 không bằng phẳng, khi lăn đảo các hạt mài 3 sẽ gặp các đỉnh lồi của hai bề mặt (hình 3.2).

Tải trọng đặt lên các hạt mài riêng biệt có thể mô tả như sau:

Lực động học R hướng theo đường aa' nối hai đỉnh của hạt mài. Một đỉnh gắn tức thời vào dụng cụ, đỉnh kia tác động lên thủy tinh. Lực R có thể phân tích thành các thành phần:

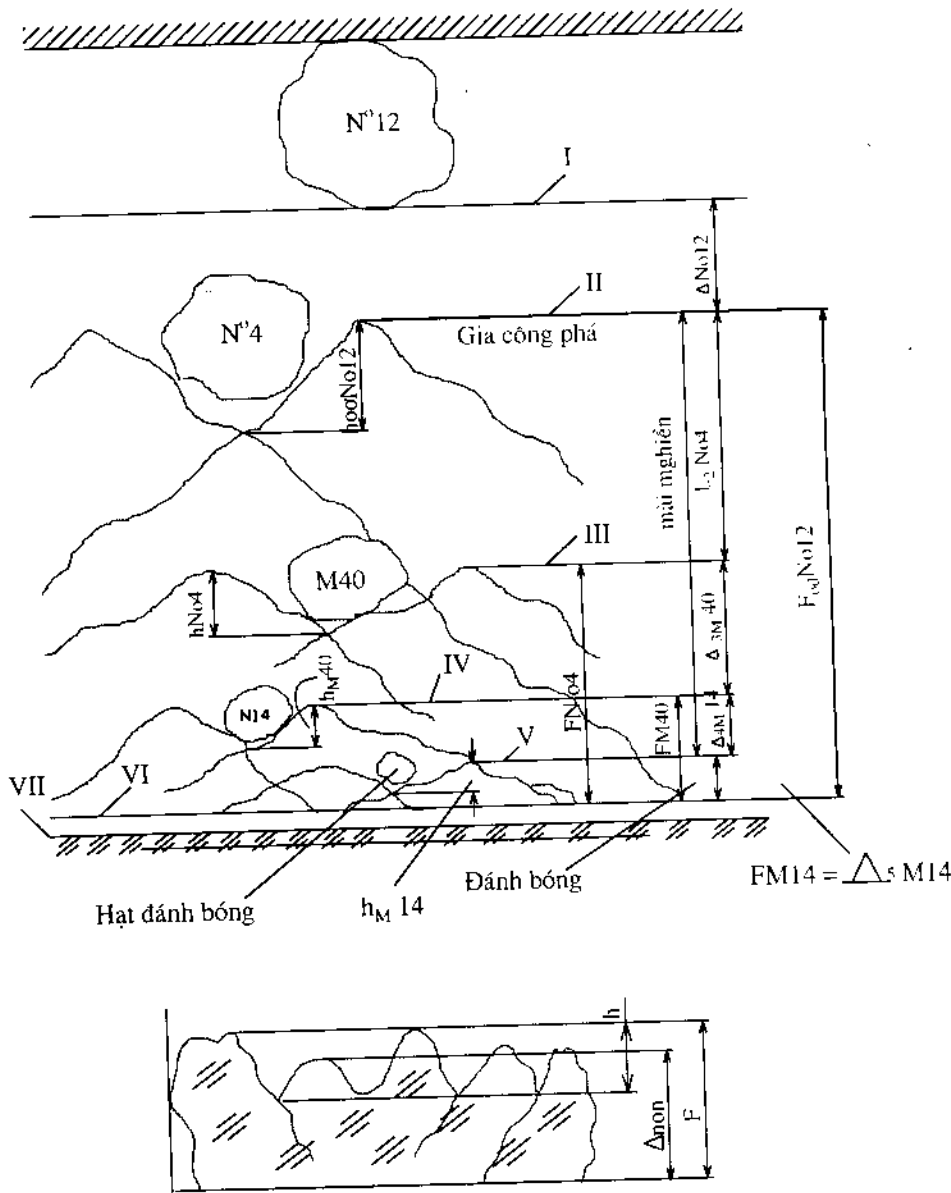
- Lực F_n có phương vuông góc với vectơ vận tốc tương đối V_{td} nhằm đảm bảo tiếp xúc giữa dụng cụ, hạt mài và thủy tinh, đồng thời gây biến dạng đàn hồi trên bề mặt dụng cụ và nén vỡ các đỉnh lồi của bề mặt thủy tinh.

- Lực F_t có phương tiếp tuyến với bề mặt gia công, nén vỡ các đỉnh nhấp nhô bề mặt của thủy tinh và làm mòn bề mặt dụng cụ. Lực F_t còn tạo thành ngẫu lực làm lăn đảo hạt mài, gây nên lực va đập làm vỡ bề mặt thủy tinh đồng thời tách các mảnh vỡ thủy tinh ra khỏi bề mặt.



Hình 3.2. Sơ đồ tác động của hạt mài tự do lên bề mặt thủy tinh.

Lớp phá huỷ của thủy tinh có chiều dày n bao gồm lớp nổi k có chiều dày khoảng $1/4 \div 1/3$ kích thước trung bình của hạt mài và lớp nứt m có chiều sâu gấp $2 \div 4$ lần lớp nổi k .



Hình 3.3. Sơ đồ quá trình mài thủy tinh bằng hạt mài tự do.

Trong quá trình gia công, người ta lần lượt giảm dần kích thước hạt mài làm cho chiều cao của các lớp nổi giảm dần (hình 3.3). Khi chiều cao các lớp nổi chỉ còn cỡ $1 \div 0,5 \mu\text{m}$, chi tiết được chuyển sang nguyên công đánh bóng. Khi bề mặt chi tiết trở nên trong suốt thì quá trình gia công được hoàn thành.

Nguyên nhân chính của sự phá hủy bề mặt thủy tinh bằng hạt mài tự do là việc tạo thành các vết nứt. Tuy nhiên đây không phải là yếu tố duy nhất, mà còn một số yếu tố không kém phần quan trọng khác tham gia vào quá trình phá hủy này. Trong số đó phải kể đến ảnh hưởng của chất lỏng.

Nếu tiến hành gia công thủy tinh bằng bột mài mà không có chất lỏng thì thời gian gia công bị kéo dài, bề mặt gia công lại rất thô. Trong thực tế người ta thường dùng hỗn hợp bột mài với chất lỏng được gọi là huyền phù. Trường hợp dùng hạt mài dính kết thì phải cấp thêm chất lỏng. Chất lỏng được dùng trong gia công thủy tinh phải có độ nhớt thấp. Chất lỏng thường dùng là nước. Chất lỏng có độ nhớt cao (thí dụ như dầu hỏa, dầu thông...) sẽ cản trở quá trình lăn đảo của hạt mài làm giảm hiệu quả mài.

Chất lỏng dùng trong quá trình gia công thủy tinh có các tác dụng cơ bản sau:

- Khi gia công bằng hạt mài tự do, chất lỏng tạo môi trường thuận tiện để hạt mài lăn đảo và dàn đều trên bề mặt gia công.
- Tách các hạt thủy tinh và đưa phoi ra khỏi bề mặt gia công.
- Bôi trơn và làm mát bề mặt gia công.

Một số nghiên cứu còn cho rằng, trong quá trình gia công, nước thấm vào các vết nứt của thủy tinh, tác dụng với thủy tinh tạo ra keo oxit silic SiO_2 có thể tích lớn hơn thủy tinh. Keo này giống các nêm chèn vào các vết nứt làm tăng quá trình phá hủy thủy tinh.

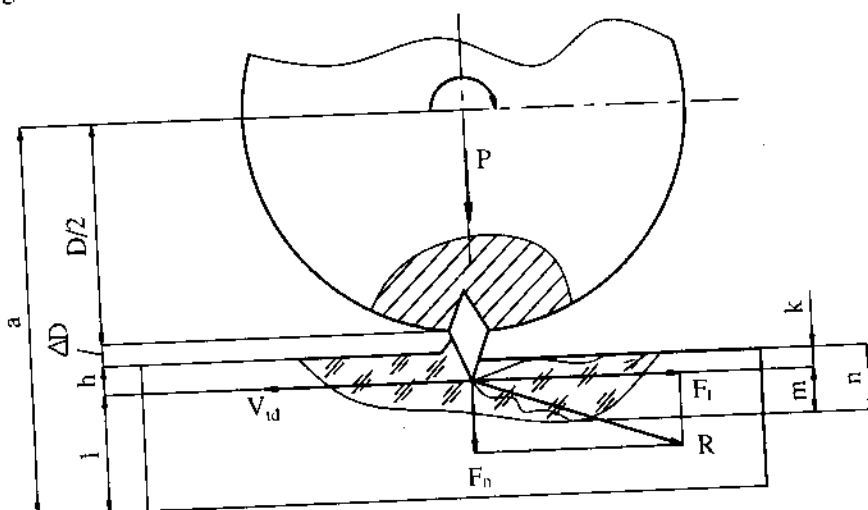
3.2. SỰ MÀI MÒN BỀ MẶT THỦY TINH BẰNG HẠT MÀI DÍNH KẾT

Bản chất vật lý của quá trình gia công thủy tinh bằng hạt mài dính kết gần giống với quá trình cắt gọt kim loại.

Hạt kim cương, côrundôn và những hạt mài khác được dính kết trên bề mặt dụng cụ gây tác động cơ học lên thủy tinh. Cường độ của tác động đó xác định bởi chế độ gia công, như: vận tốc, áp lực, chiều sâu và bước cắt.

Hình 3.4 thể hiện sơ đồ tác động của hạt dính kết lên thủy tinh. Chiều sâu lớp nổi k , chiều sâu lớp cắt m và lớp bị phá hủy n phụ thuộc vào kích thước và độ cứng hạt.

Hình 3.4 cho thấy lực R có hướng gần như tiếp tuyến với bề mặt gia công. Điều đó cho phép tách một lượng lớn phoi thủy tinh. Lực F_t lớn hơn lực F_n rất nhiều. Vì vậy, chiều sâu lớp nứt được tạo thành sẽ nhỏ hơn so với tác dụng nén vuông góc lên bề mặt gia công của hạt mài tự do.



Hình 3.4. Sơ đồ tác động của hạt dính kết lên bề mặt thủy tinh.

Hạt dính kết mòn dần theo thời gian, lực cắt đặt vào đó tăng lên làm hạt mài bong ra khỏi liên kết. Ở những vị trí đó xuất hiện những hạt mới cùng kích thước. Bằng cách đó dụng cụ tự mài sắc. Thể tích lượng dư bị bóc đi tỷ lệ thuận với độ hạt, độ bền, độ cứng, độ dính kết và cường độ gia công. Gia công thủy tinh bằng hạt mài dính kết nhanh gấp gần 20 lần bằng hạt tự do.

Cường độ mài bằng hạt dính kết so với hạt tự do được giải thích như sau:

- Hạt dính kết không gây ra các vết vỡ từng điểm mà tạo ra các vết xước liên tục. Hạt dính kết làm việc như các lưỡi cắt.
- Hạt dính kết chỉ bị phá hỏng khi tác động vào thủy tinh còn hạt tự do bị phá hỏng do tự cọ sát vào nhau.
- Áp lực làm việc của dụng cụ tập trung trên một số ít hạt nhô ra khỏi liên kết nên có giá trị lớn.

- Vận tốc cắt đạt được $15 \div 25$ m/s, áp lực làm việc đạt được đến 1.10^6 Pa, trong khi đó hạt tự do chỉ đạt được $5 \div 7$ m/s và áp lực 2.10^4 Pa.

- Quá trình gia công chỉ xảy ra với những cạnh sắc nhọn nhô ra từ liên kết nên tránh được hiện tượng không đồng nhất kích thước hạt.

- Việc cấp chất lỏng vừa có tác dụng bôi trơn, vừa có tác dụng rửa trôi vụn thủy tinh và làm nguội vùng gia công.

- Khi cấp bột tự do có thể gây ra sóng bề mặt do sử dụng hạt có kích thước lớn.

Qua việc nghiên cứu về phương pháp gia công thủy tinh bằng hạt tự do và hạt dính kết có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Chất lượng bề mặt chi tiết gia công bằng hai phương pháp gần giống nhau.

Cấu trúc bề mặt gia công không phụ thuộc vào công nghệ gia công mà chỉ xác định bằng trạng thái thủy tinh và độ cứng tương đối khi mài. Tính đồng nhất của cấu trúc bề mặt khi gia công bằng hai phương pháp tạo ra những điều kiện tán xạ ánh sáng như nhau. Vì vậy, tính chất quang của bề mặt khi gia công bằng hai phương pháp thực tế là như nhau.

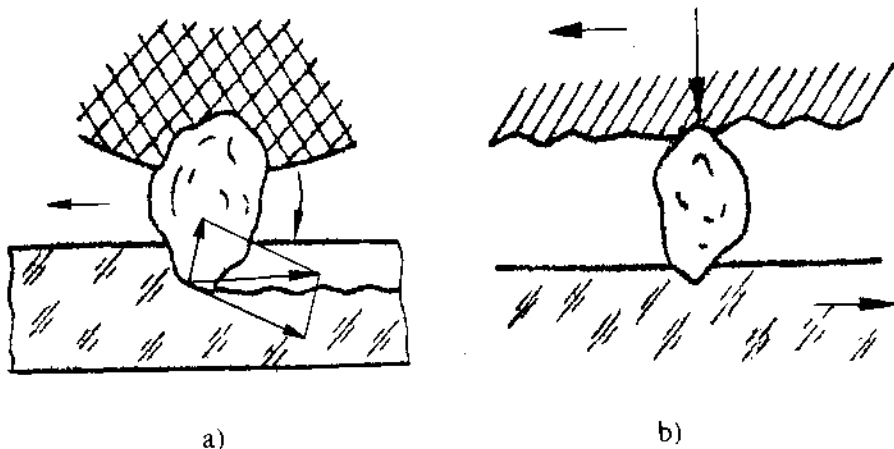
- Năng suất gia công bằng hạt dính kết cao hơn hạt tự do khi gia công với cùng kích thước hạt và cùng một chế độ.

So sánh tác động của hạt dính kết và hạt tự do lên bề mặt thủy tinh khi gia công với cùng một giá trị áp lực và dịch chuyển với cùng một vận tốc dài tương đối có thể thấy trên hình 3.5.

Trong hạt dính kết luôn xuất hiện ứng suất nén, uốn và cắt (hình 3.5a). Trong khi đó hạt tự do chỉ có lực nén và ma sát (hình 3.5b).

Lực nén có tác dụng giữ các hạt tự do và truyền cho nó khả năng thực hiện công tương tự như hạt dính kết, tức là cào xước. Khi dụng cụ và phôi thủy tinh dịch chuyển tương đối với nhau thì hạt bị trượt và sự tương tác của lực nén (ma sát) truyền cho hạt mômen quay, buộc nó lăn đảo giữa các bề mặt và sinh ra rung động, va đập.

Hạt dính kết chỉ thực hiện chuyển động trượt nên với cùng một lực tác động lên dụng cụ, áp suất lên hạt dính kết lớn hơn hạt tự do. Do đó lượng thủy tinh bị tách ra sẽ lớn hơn, năng suất gia công sẽ cao hơn.



Hình 3.5. Sơ đồ so sánh tác động của hạt mài dính kết và hạt mài tự do lên bề mặt thủy tinh khi gia công:

a) tác động của hạt mài dính kết; b) tác động của hạt mài tự do.

Khi nghiên cứu tác động của một số hạt dính kết và hạt tự do làm việc với cùng một cường độ có thể nhận thấy:

- Sự va đập lẫn nhau của hạt tự do trong khi gia công làm hạt chóng vỡ. Vì chiều sâu lớp nứt bề mặt tỷ lệ với kích thước hạt, nên khi giảm kích thước hạt sẽ làm giảm lượng thủy tinh bị bóc đi và tăng hao tổn hạt.

- Hạt dính kết chỉ bị phá vỡ khi tác dụng với thủy tinh. Vì vậy, với cùng chế độ gia công, hạt dính kết sẽ hiệu quả hơn.

So sánh tác động của hạt dính kết và dụng cụ kim loại không mang hạt cho thấy đặc tính tác động lên thủy tinh của dụng cụ kim loại khi không mang hạt (lưỡi cắt, lưỡi khoan...) khác biệt nhiều với quá trình phá hủy thủy tinh bằng hạt. Thực tế, tác động của hạt dính kết lên thủy tinh tạo nên chiều sâu vết nứt nhỏ hơn rất nhiều so với dụng cụ kim loại. Vì vậy, năng suất gia công thủy tinh bằng dụng cụ kim loại cao hơn nhưng chất lượng bề mặt kém hơn.

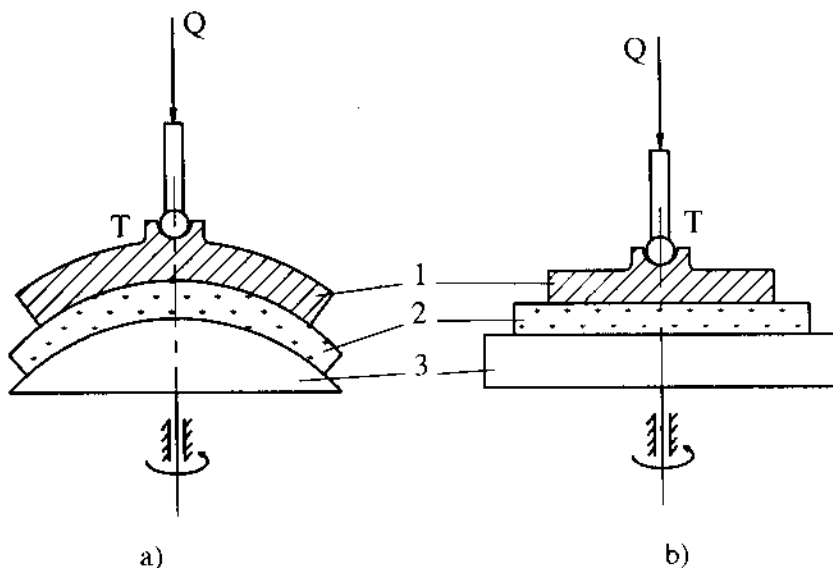
3.3. ĐỘNG HỌC CỦA QUÁ TRÌNH MÀI NGHIỀN VÀ ĐÁNH BÓNG BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG BẰNG HẠT TỰ DO

Mô hình động học của quá trình mài nghiền - đánh bóng bề mặt chi tiết quang bằng hạt tự do được thể hiện trên hình 3.6.

Trước khi đưa vào mài nghiền- đánh bóng, phôi và dụng cụ được tạo hình sơ bộ dạng mặt cầu hoặc mặt phẳng tùy theo mục đích gia công. Chúng được đặt trong khớp động học, thông qua đầu tốc T của khâu trên 1 tác dụng lên khâu dưới 3 một lực nén Q. Chi tiết gia công 2 có thể gắn lên khâu trên hoặc khâu dưới. Đầu tốc T có chuyển động lắc qua lại và truyền chuyển động đó cho khâu trên 1. Khâu dưới 3 được gắn trên trục chính và có chuyển động quay tròn cùng với trục chính.

Nhờ có liên kết khớp cầu giữa đầu tốc T và khâu 1, đồng thời dưới tác dụng của lực nén Q và lực ma sát với khâu dưới, khâu trên 1 thực hiện chuyển động quay tự do tương đối trên bề mặt của khâu dưới 3 quanh khớp cầu. Như vậy, sơ đồ động học của quá trình mài nghiền - đánh bóng bao gồm đồng thời ba chuyển động tương đối độc lập: chuyển động lắc và quay tự do của khâu trên, chuyển động quay tròn của khâu dưới.

Khi gia công mặt cầu, bề mặt cầu của khâu trên tiếp xúc tự lựa trên bề mặt cầu của khâu dưới sao cho tâm quay của nó đi qua tâm khớp cầu và tâm của mặt cầu cần gia công. Khi gia công mặt phẳng thì tâm quay của khâu trên song song với tâm quay của khâu dưới.



Hình 3.6. Sơ đồ động học của quá trình gia công thủy tinh quang học:

a) sơ đồ gia công bề mặt cầu; b) sơ đồ gia công bề mặt phẳng.

Sơ đồ động học trên cho thấy để có thể xảy ra quá trình mài nghiền - đánh bóng bề mặt chi tiết quang bằng hạt tự do cần đảm bảo các điều kiện sau:

- Bề mặt phôi và dụng cụ tiếp xúc tự lựa với nhau. Một trong hai bề mặt là chuẩn định vị của bề mặt kia. Đây là điểm đặc biệt của phương pháp này. Có được khả năng định vị tự do giữa hai bề mặt là nhờ hai khớp cầu: khớp cầu ở đầu tốc và khớp cầu ở bề mặt gia công.

- Bề mặt dụng cụ phải tiếp xúc với bề mặt phôi trên một diện tích đủ lớn. Nếu tiếp xúc giữa hai bề mặt không đủ lớn thì trên bề mặt gia công sẽ tồn tại các vết gia công hoặc sai số hình dạng bề mặt. Độ lớn cần thiết ít nhất của diện tích tiếp xúc giữa hai bề mặt sẽ được đề cập đến ở phần 3.4.

- Tiếp xúc bề mặt của cặp động học dụng cụ – phôi được duy trì bằng lực nén. Khi duy trì tiếp xúc bằng lực nén, độ chính xác chế tạo của thiết bị không ảnh hưởng đến sai số gia công. Trên thực tế độ chính xác bề mặt gia công của chi tiết quang cao hơn nhiều độ chính xác của chính thiết bị gia công.

- Có chuyển động tương đối giữa bề mặt phôi và dụng cụ để tạo ra lực tác động của hạt lên bề mặt gia công.

- Giữa bề mặt phôi và dụng cụ cần có một lớp bột mài (hoặc bột đánh bóng) với kích thước phù hợp với từng nguyên công.

3.4. CƠ CHẾ MÀI MÒN CÁC SÓNG NHẤP NHÔ TRÊN BỀ MẶT PHÔI VÀ DỤNG CỤ

Thực tế cho thấy, bề mặt dụng cụ và bề mặt phôi khi bắt đầu tham gia mài nghiền đều có sai số hình dạng rất lớn. Trên cả hai bề mặt tồn tại các sóng nhấp nhô với những bước sóng khác nhau. Sau một thời gian gia công các sóng nhấp nhô trên hai bề mặt sẽ mài mòn lẫn nhau và cùng nâng cao dần độ chính xác hình dạng hình học. Đây là quá trình sửa đúng lẫn nhau. Quá trình này diễn ra theo khuynh hướng nâng cao dần độ chính xác của cả hai bề mặt tham gia gia công.

Có thể đưa ra một phương pháp nhằm giải thích khuynh hướng và quy luật mài mòn giữa hai bề mặt khi tham gia mài nghiền chi tiết quang.

Lấy ví dụ khi mài nghiền mặt cầu chi tiết thủy tinh quang với mô hình được mô tả trên hình 3.6a.

Trong đó giả thiết mặt cầu dụng cụ là A, mặt cầu phôi chi tiết thủy tinh quang là B. Trong quá trình mài nghiền để tiến tới mặt cầu lý tưởng, trên bề mặt dụng cụ và phôi thủy tinh luôn tồn tại các sai lệch hình dáng hình học. Tại một thời điểm gia công, trên một lát cắt bất kỳ qua tâm, sai lệch prôfin thực của các bề mặt tham gia gia công có thể mô tả dưới dạng phân giải theo chuỗi Fourier:

$$R_t = R_0 + \Delta R_0 + \Delta_1 \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) + \Delta_2 \sin\left(\frac{2\pi x}{L} + \varphi_2\right) + \dots + \Delta_n \sin\left(n \frac{2\pi x}{L} + \varphi_n\right) + \dots$$

trong đó:

R_t - prôfin thực của lát cắt qua tâm;

R_0 - bán kính cần đạt tới của mặt cầu lý tưởng;

ΔR_0 - sai số hệ thống của bán kính ;

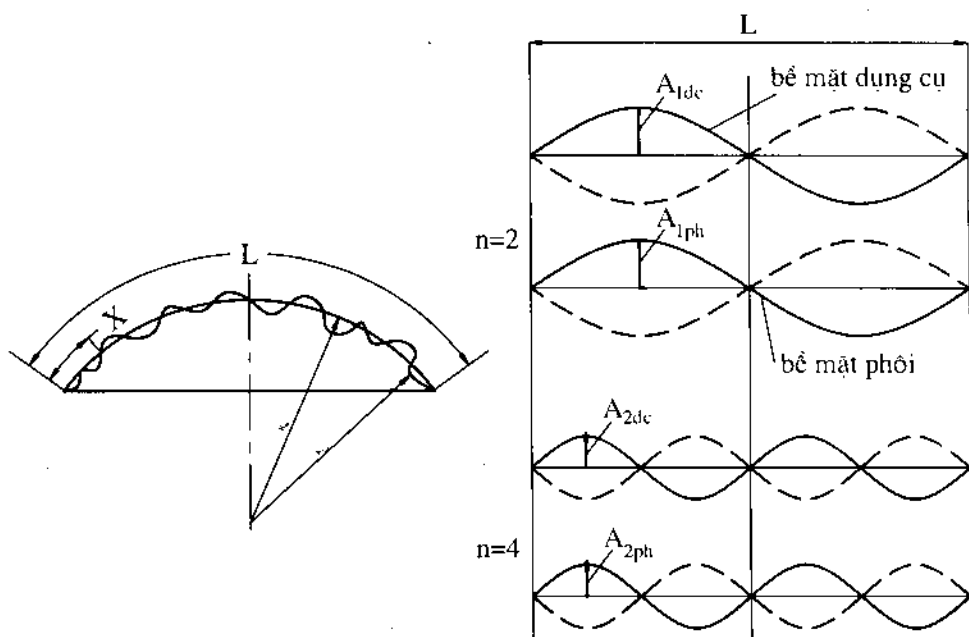
$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n, \dots$ - biên độ của các nhấp nhô bề mặt có chiều dài bước sóng tương ứng là $L, L/2, L/3, \dots, L/n, \dots$;

L - chiều dài cung trên miền đối diện giữa bề mặt phôi và bề mặt dụng cụ;

x - chiều dài cung đang xét ;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n, \dots$ - góc lệch pha của từng loại sóng.

Tại thời điểm đang xét, có một miền đối diện giữa bề mặt dụng cụ A và bề mặt chi tiết B. Nếu đặt lên miền đối diện đó một hệ lưới có kích thước θ , tương ứng với mỗi chiều dài sóng, thì miền này sẽ được chia thành n vùng. Tại mỗi vùng đều có khả năng “cao” hoặc “thấp” tương ứng với cực trị của sóng bề mặt đang xét. Sự mài mòn lẫn nhau để giảm biên độ các sóng chỉ xảy ra khi “cao” của A gặp “cao” của B. Sự mài mòn tiếp diễn với xác suất càng cao thì biên độ các sóng giảm càng nhanh, cho đến khi biên độ giảm đến 0 thì được mặt cầu lý tưởng. Có thể xác định xác suất P_n của sự kiện này theo biến số n .



Hình 3.7. Mô tả Furiê sóng bề mặt và phôi dụng cụ.

- Khi có một cặp điểm: $n = 1$

Mặt A có hai khả năng “cao” hoặc “thấp” ta gọi là C_A và T_A .

Mặt B cũng có khả năng tương tự, ta gọi là C_B và T_B .

Sẽ có 4 khả năng phối hợp, hay 4 khả năng chập đôi:

$$C_A \text{ gặp } C_B \quad \text{gọi là sự kiện} \quad (1)$$

$$C_A \text{ -- } T_B \quad \text{--} \quad (2)$$

$$T_A \text{ -- } C_B \quad \text{--} \quad (3)$$

$$T_A \text{ -- } T_B \quad \text{--} \quad (4)$$

Xác suất của (1) là xác suất mài mòn: $P_1 = 1/4$

- Khi có hai cặp điểm: $n = 2$

Tại cặp điểm thứ nhất có 4 khả năng, tại cặp điểm thứ hai cũng có 4 khả năng. Như vậy, sẽ có $4 \times 4 = 16$ khả năng chập đôi của các sự kiện (1), (2), (3). Có thể biểu diễn các chập đôi đó qua ma trận sau:

$$\left| \begin{array}{cc} (1) & (1) \\ (2) & (2) \\ (3) & (3) \\ (4) & (4) \end{array} \right| \longrightarrow \left| \begin{array}{cccc} 1-1 & 1-2 & 1-3 & 1-4 \\ 2-1 & 2-2 & 2-3 & 2-4 \\ 3-1 & 3-2 & 3-3 & 3-4 \\ 4-1 & 4-2 & 4-3 & 4-4 \end{array} \right|$$

Sẽ xảy ra sự kiện đỉnh cao gặp đỉnh cao ở các trường hợp có (1) tham gia, tức là các trường hợp 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 3-1, 4-1 với xác suất 7/16. Có thể viết:

$$P_2 = \frac{4+3}{16} = \frac{1}{4} + \left(\frac{3}{4}\right)^2$$

Các trường hợp còn lại chỉ chứa (2), (3), (4) không xảy ra khi mài mòn.

- Khi có 3 cặp điểm: $n = 3$

Ta có ba cặp điểm, tại mỗi cặp điểm có 4 khả năng. Như vậy ta sẽ có 64 khả năng tổ hợp chập 3 của các sự kiện (1), (2), (3), được biểu diễn qua ma trận sau:

$$\left| \begin{array}{ccc} (1) & (1) & (1) \\ (2) & (2) & (2) \\ (3) & (3) & (3) \\ (4) & (4) & (4) \end{array} \right| \longrightarrow \left| \begin{array}{cccccc} 1-1-1 & 1-2-1 & 1-3-1 & 1-4-1 & \dots & 1-4-4 \\ 2-1-1 & 2-2-1 & 2-3-1 & 2-4-1 & \dots & 2-4-4 \\ 3-1-1 & 3-2-1 & 3-3-1 & 3-4-1 & \dots & 3-4-4 \\ 4-1-1 & 4-2-1 & 4-3-4 & 4-4-1 & \dots & 4-4-4 \end{array} \right|$$

Sẽ xảy ra mài mòn những sự kiện có ít nhất một số 1 và nhiều nhất ba số 1. Như vậy:

$$P_3 = \frac{16 + 3 \times (4+3)}{64} = \left(\frac{1}{4}\right)^2 * [4^2 + 3 \times (4+3)] = \frac{1}{4} + \frac{3}{4^2} + \frac{3}{4^2}$$

Bằng cách tương tự, có thể xác định được xác suất mài mòn khi có 4 cặp điểm:

$$P_4 = \left(\frac{1}{4}\right)^4 * \{4^2 + 3 \times [4^2 + 3 \times (4+3)]\} = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} + \frac{3^2}{4^3} + \frac{3^3}{4^4}$$

và 5 cặp điểm:

$$\begin{aligned} P_5 &= \left(\frac{1}{4}\right)^5 * \{4^4 + 3 \times [4^3 + 3 \times (4^2 + 3 \times (4+3))]\} \\ &= \frac{1}{4} + \frac{3}{4^2} + \frac{3^2}{4^3} + \frac{3^3}{4^4} + \frac{3^4}{4^5} \end{aligned}$$

Từ đó suy ra công thức cho trường hợp cho n cặp điểm:

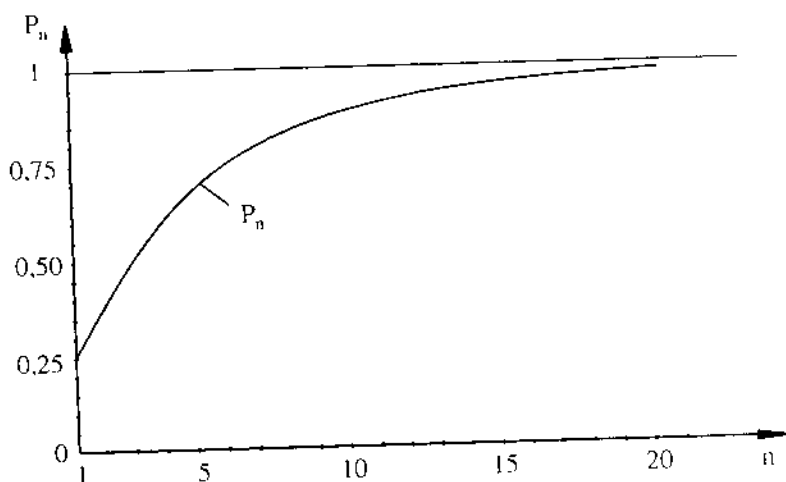
$$P_n = \frac{1}{4} + \frac{3}{4^2} + \frac{3^2}{4^3} + \dots + \frac{3^{n-1}}{4^n} = \sum_{i=1}^n \frac{3^{i-1}}{4^i} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \left(\frac{3}{4}\right)^i \quad (3.2)$$

Sơ đồ biểu diễn xác suất khi “mài mòn” theo số cặp điểm n của hai bề mặt A và B trong quá trình mài nghiền biểu diễn trên hình 3.8.

Từ kết quả khảo sát xác suất mài mòn của bề mặt phôi và dụng cụ theo chiều dài bước sóng của nhấp nhô bề mặt có thể rút ra các nhận xét sau:

1- Các nhấp nhô có bước sóng nhỏ thì số cặp điểm tiếp xúc n lớn, xác suất mài mòn lớn, vì vậy sẽ bị san phẳng nhanh hơn các nhấp nhô có bước sóng lớn. Thí dụ: khi $n = 1$ thì $P_1 = 0,25$; khi $n = 20$ thì $P_{20} = 0,9968$ và khi $n > 20$ thì $P_{n>20} \Rightarrow 1$.

2- Để bảo đảm cho quá trình “mài mòn” các nhấp nhô phát triển theo chiều dương thì số cặp điểm tiếp xúc phải từ 3 ($n = 3$) trở lên. Vì với $P_1 = 0,578$ thì có thể nói rằng khả năng “mài mòn” các nhấp nhô đang bắt đầu chiếm đa số. Trong khi chỉ cần $n = 2$ thì $P_2 = 0,44$, nghĩa là chiếm không tới một nửa.



Hình 3.8. Xác suất mài mòn nhấp nhô bề mặt theo cặp điểm n.

3- Trường hợp khó khăn nhất xảy ra đối với nhấp nhô đầu tiên trong chuỗi khai triển Furiê. Lúc đó kích thước $\theta = L/2$, khi bề mặt dụng cụ và phôi hoàn toàn đối tiếp thì $n = 4$, khi dụng cụ lắc ra xa nhất để tâm dụng cụ trùng biên chỉ

tiết thì n chỉ còn bằng 1 hoặc bằng 2. Từ những nhận xét trên có thể ứng dụng để chỉ đạo công nghệ như sau:

- Về cuối quá trình gia công, các sai số có bước sóng lớn có nhiều khả năng tồn tại hơn các sai số có bước sóng nhỏ. Muốn tăng khả năng sửa những sai số này nên giảm biên độ lắc của khâu trên tức là tăng n để hỗ trợ cho việc sửa nhanh sai số hình dạng còn lại. Nghĩa là bảo đảm cho bề mặt chi tiết đạt cả độ nhẵn lẫn độ cầu.

3.5. ĐIỀU KIỆN ĐỊNH VỊ ỔN ĐỊNH KHI MÀI NGHIÊN - ĐÁNH BÓNG BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG

Trở lại mô hình mài nghiên hình 3.6a. Theo đó mặt A ép vào mặt B nhờ một lực tập trung Q đặt tại khớp cầu T, nằm cao hơn bề mặt tiếp xúc một khoảng h . Muốn thực hiện mài nghiên thì phải gây lên chuyển động trượt tương đối giữa hai bề mặt bằng cách tác dụng một lực đẩy ngang P tại khớp T, với $P \geq f$. (f - hệ số ma sát giữa hai bề mặt). Tổng hợp của lực P và Q là lực F , tác dụng tại giao điểm M của tia F với bề mặt gia công. Khi A có chuyển động lắc theo mọi phương thì các tia F tạo thành một mặt nón gọi là nón ma sát. Các giao điểm M nằm trên vòng tròn có bán kính (hình 3. 9):

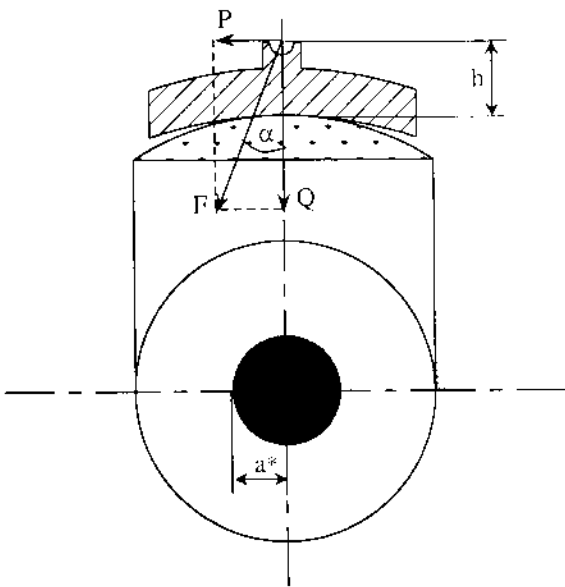
$$a^* \approx h.tg\alpha = h.f_{ms} \quad (3.3)$$

Xét trạng thái tiếp xúc giữa hai bề mặt dưới tác dụng của lực F khi mài nghiên.

Tại mỗi thời điểm, giữa A và B có một số điểm tiếp xúc. Nếu những điểm này tạo thành một chân đế chứa gọn đáy nón ma sát bán kính a^* bên trong nó thì sự mài mòn của các điểm tất yếu sẽ dẫn đến sự tiếp xúc và mài mòn các điểm thuộc đáy nón ma sát. Kể từ lúc toàn bộ đáy nón ma sát tham gia tiếp xúc trở đi, giữa A và B chỉ còn chuyển động trượt tương đối, mà không xảy ra hiện tượng “bập bênh” khi lực đẩy ngang đổi chiều.

Nhờ vậy các điểm tiếp xúc làm mòn nhau theo hướng loang rộng ra, nghĩa là một điểm trên chân đế cũ sẽ bị mòn thấp xuống làm xuất hiện các điểm tiếp xúc mới lân cận điểm đó. Nhờ vậy chân đế từ dạng điểm sẽ trở thành dạng mặt và diện tích chân đế không ngừng tăng lên. Đến một lúc toàn bộ miền đối tiếp trở thành miền tiếp xúc thì quá trình mài nghiên mặt cầu hoàn thành. Nhờ vào việc phối hợp chuyển động lắc của khâu A và chuyển động quay của khâu B, mà mọi điểm trên A đều có thể đến đối diện với mọi điểm trên B. Nếu ở bất kỳ vị

trí nào của miền đối tiếp mọi điểm trên A đều tìm thấy điểm tiếp xúc trên B thì cả A và B đích thực là mặt cầu. Chân lý đó của hình học đã được thử nghiệm trong mô hình mài nghiêng mặt cầu.



Hình 3.9. Sơ đồ xác định nón ma sát.

Điều kiện chân đế của các điểm tiếp xúc bao gọn dây nón ma sát bên trong nó gọi là điều kiện định vị ổn định khi mài nghiêng mặt cầu.

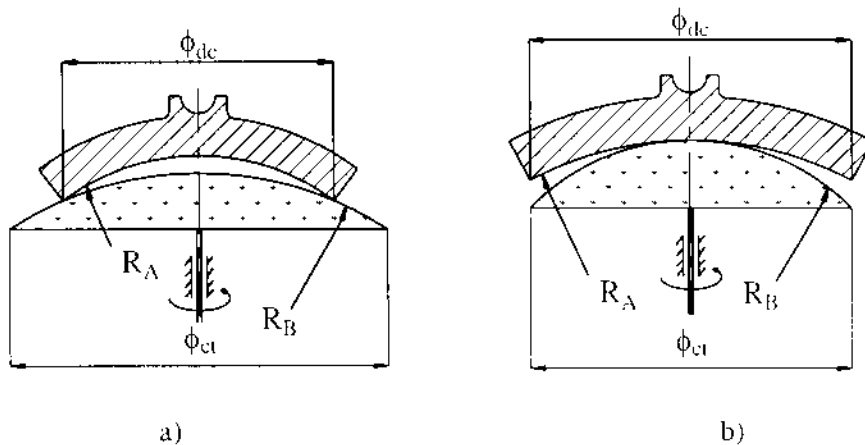
Đó cũng chính là điều kiện để sự mài mòn và sửa chữa lẫn nhau giữa bề mặt phôi và bề mặt dụng cụ phát triển theo hướng tạo thành hai mặt cầu lý tưởng.

Có thể khai thác điều kiện định vị ổn định sâu hơn để chỉ đạo quá trình công nghệ mài nghiêng mặt cầu.

Trường hợp $R_A \neq R_B$ có thể xảy ra hai khả năng (hình 3.10):

1/ $R_A < R_B$ (Hình 3.10a)

Thấy ngay rằng, ban đầu A tiếp xúc với B theo vòng tròn rộng nhất bằng đường kính ϕ_{dc} . Nếu $\phi_{dc} \geq 2 a^*$ thì định vị của A trên B là định vị ổn định. Vết tiếp xúc sẽ phát triển từ vành ngoài vào trong. Quá trình mài nghiêng luôn ổn định cho đến khi tiếp xúc toàn bộ.



Hình 3.10. Các trường hợp bán kính $R_A \neq R_B$:
a - trường hợp $R_A < R_B$; b - trường hợp $R_A > R_B$.

Từ đây có thể rút ra điều kiện xác định bán kính phôi và dụng cụ có thể mài nghiền trên máy là:

$$\phi_{\min} \geq 2 \cdot h \cdot f \quad (3.4)$$

Muốn mài nghiền được phôi nhỏ hơn thì cần hạ thấp chiều cao h của đầu tốc T và giảm bớt hệ số ma sát f giữa hai bề mặt.

2/ $R_A > R_B$ (hình 3.10b)

Trường hợp này điều kiện định vị ổn định không được bảo đảm vì giữa A và B, theo lý thuyết, chỉ có một điểm tiếp xúc. Tuy nhiên khi có lực ép Q thì có thể xuất hiện khả năng định vị ổn định. Điều đó được mô tả như sau:

Theo Hec, nếu bề mặt A có bán kính R_A , mô đun đàn hồi E_A , bề mặt B có bán kính R_B , mô đun đàn hồi E_B , chịu áp lực Q , thì điểm tiếp xúc sẽ phát triển thành mặt tiếp xúc hình tròn có bán kính a tính theo công thức:

$$a = \sqrt{\frac{Q \left(\frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_B} \right)}{\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B}}} \quad (3.5)$$

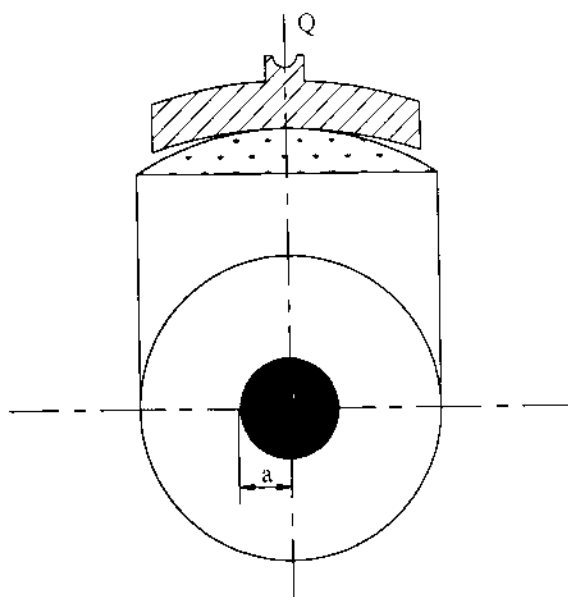
Nếu mặt tiếp xúc này chứa được đầy nón ma sát thì có điều kiện định vị ổn định.

Nghĩa là điều kiện định vị tồn tại khi :

$$a \geq a^* \quad (3.6)$$

Do có mặt tiếp xúc bán kính a , sự mài mòn trước hết xảy ra trên vùng bề mặt đó. Khi các điểm tiếp xúc trên vùng đó bị mài thấp xuống sẽ xuất hiện các điểm tiếp xúc mới nằm ngoài vòng tròn bán kính a . Cứ như vậy vết tiếp xúc loang càng rộng ra cho đến khi toàn bộ bề mặt tham gia tiếp xúc. Các bán kính R_A và R_B đều có sự thay đổi đến một trị số bán kính R chung. Quá trình biến chuyển của R_A và R_B đến R gọi là sự “trôi” bán kính. Tùy thuộc vào diện tích của hai bề mặt A và B , độ cứng vật liệu của chúng, mà trị số trôi bán kính sẽ khác nhau. Có thể xác định sự trôi bán kính bằng thực nghiệm.

Có thể khai thác sâu hơn điều kiện $a \geq a^*$ để đưa ra các thông số công nghệ hợp lý.



Hình 3.11. Diện tích tiếp xúc giữa bề mặt phôi và dụng cụ khi có áp lực Q .

Cụ thể:

- Nếu lực ép Q đã xác định thì có thể không chế sai lệch bán kính cho phép giữa phôi và dụng cụ theo điều kiện (3.5) và (3.6):

Gọi sai lệch bán kính giữa phôi và dụng cụ là $R_B - R_A = \Delta R$ và coi $R_A \cdot R_B \approx R^2$, thì từ biểu thức (3.5) có thể xác định quan hệ giữa bán kính vết tiếp xúc a và sai lệch bán kính ΔR (hình 3.12). Để đảm bảo điều kiện (3.6) thì các sai lệch bán kính chỉ có thể $\leq [\Delta R_{\max}]$. Thí dụ: với $Q = 50 \text{ N}$, $R = 100 \text{ mm}$, $E_A = 1 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2$, $E_B = 0,823 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2$, $a^* = 3 \text{ mm}$, thì $[\Delta R_{\max}] = 0,28 \text{ mm}$.

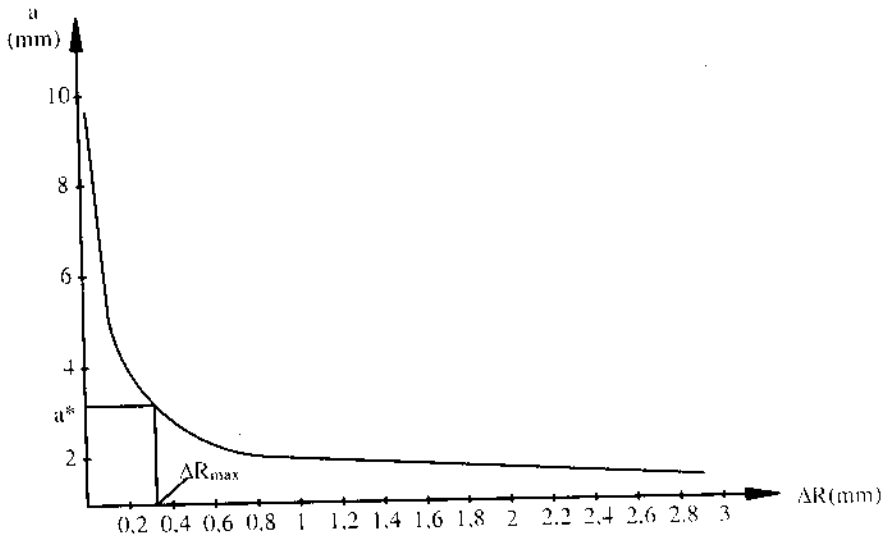
Như vậy, dung sai chế tạo bán kính phôi và dụng cụ sẽ là:

$$\Delta R_A + \Delta R_B \leq [\Delta R_{\max}] \quad (3.7)$$

- Nếu xác định ΔR khi kết hợp với điều kiện (3.3), (3.6) dưới dạng biểu thức:

$$\Delta R \leq \frac{0,881^3 \times \left(\frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_B} \right) QR^2}{h^3 f^3} \quad (3.8)$$

có thể thấy rằng, khi giảm chiều cao h có thể tăng trị số sai lệch cho phép của R_A và R_B .



Hình 3.12. Đồ thị quan hệ giữa bán kính vòng tiếp xúc a và chênh lệch bán kính ΔR .

- Nếu biết trước R_A và R_B có thể xác định được lực ép cần thiết để đảm bảo điều kiện ổn định. Từ (3.8) có thể suy ra:

$$Q \geq \frac{h^3 f^3 \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right)}{0,881^3 \left(\frac{1}{E_A} + \frac{1}{E_B} \right)} \quad (3.9)$$

Thấy rằng chênh lệch bán kính giữa R_A và R_B càng lớn thì cần lực ép càng lớn.

Thí dụ : với $h = 10 \text{ mm}$, $f = 0,3$ thì :

$$\text{khi } \Delta R = 0,50 \text{ mm} \quad Q \geq 90 \text{ N} ;$$

$$\Delta R = 0,28 \text{ mm} \quad Q \geq 50 \text{ N} ;$$

(Tuy nhiên, Q không được vượt quá giới hạn nén vỡ hạt và khả năng làm việc của thiết bị).

- Căn cứ vào các điều kiện đã nêu có thể giới hạn được bậc thay đổi cỡ hạt từ nguyên công trước sang nguyên công sau sao cho sự chênh lệch không vượt quá giới hạn định vị ổn định.

Thí dụ: Khi gia công với cỡ hạt λ_1 , ta có:

$$R_B + \lambda_1 = R_A \quad (3.10)$$

Khi chuyển sang nguyên công có cỡ hạt λ_2 nhỏ hơn, thì:

$$R_B + (\lambda_2 + \Delta R) = R_A \quad (3.11)$$

Như vậy, chênh lệch kích thước hạt ($\lambda_1 - \lambda_2$) và chênh lệch bán kính ($R_B - R_A$) không được vượt quá $[\Delta R_{\max}]$ đã được xác định ở trên.

- Để đảm bảo điều kiện bán kính chân đế các điểm tiếp xúc ít nhất phải lớn hơn bán kính đáy nón ma sát thì giới hạn nhỏ nhất của đường kính dụng cụ phải là:

$$\phi_{dc \min} \geq 2 a^* \quad (3.12)$$

Chương 4

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ CƠ BẢN ĐẾN QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH BỀ MẶT CẦU VÀ BỀ MẶT PHẪNG CHI TIẾT QUANG

Độ chính xác tạo hình bề mặt chi tiết quang chủ yếu do nguyên công mài nghiền và đánh bóng quyết định. Hai nguyên công này có thể được thực hiện theo cùng một nguyên lý tạo hình và trên cùng một thiết bị nên động học của quá trình gia công là giống nhau. Việc khảo sát các yếu tố công nghệ tác động đến hai nguyên công này như vận tốc tương đối, áp lực, kích thước và sự phân bố hạt mài và hạt đánh bóng... có nhiều điểm tương đồng. Do tính chất của nguyên lý tạo hình, các yếu tố đó tác động không đều và rất ngẫu nhiên lên bề mặt gia công làm bề mặt gia công mòn không đều và vì vậy gây ra sai số về kích thước và hình dạng của bề mặt gia công. Đi sâu nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến quá trình tạo hình bề mặt nhằm nâng cao năng suất và chất lượng gia công luôn là vấn đề cần được quan tâm.

4.1. ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC THĂNG TƯƠNG ĐỐI

Vận tốc thăng tương đối là một trong những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến quá trình tạo hình bề mặt gia công. Các điểm khác nhau có vận tốc thăng tương đối khác nhau, do đó tác động của nó đối với bề mặt gia công cũng khác nhau. Có thể xác định độ lớn của vận tốc thăng tương đối V_0 của các điểm trên bề mặt gia công theo hai cách:

1. Vận tốc của một điểm cho trước đi hết quãng đường S xác định trong khoảng thời gian t được xác định bằng công thức:

$$V_0 = \frac{S}{t} \quad (4.1)$$

2. Hoặc theo công thức:

$$V_0 = \omega_0 l_1 \quad (4.2)$$

trong đó: ω_0 - vận tốc góc tương đối của điểm chuyển động,

l_1 - khoảng cách từ điểm đã cho đến tâm quay tức thời.

Độ mài mòn trên bề mặt chi tiết gia công và bề mặt dụng cụ, ngoài các yếu tố khác, phụ thuộc vào sự thay đổi vận tốc thẳng tương đối của các điểm khác nhau trên bề mặt đó. Độ mòn này gọi là độ mòn động học và có thể xác định thông qua hàm của quãng đường S mà các điểm đi được trong khoảng thời gian xác định:

$$\Delta = f(s) \quad (4.3)$$

hoặc bằng hàm của vận tốc tương đối:

$$\Delta = f(v_{td}) \quad (4.4)$$

4.1.1. Ảnh hưởng của vận tốc thẳng tương đối khi gia công mặt phẳng

a) Trường hợp bề mặt chi tiết và dụng cụ phủ hoàn toàn (hình 4.1a)

Độ mòn động học của một điểm bất kỳ trên bề mặt gia công, ví dụ điểm A, tỷ lệ với vận tốc thẳng tương đối:

$$v_{td} = r_A \cdot \omega_{td} \quad (4.5)$$

trong đó: r_A - khoảng cách từ tâm quay của đĩa 1 và 2 đến điểm A;

ω_{td} - vận tốc góc tương đối của điểm A, trong trường hợp này được tính bằng hiệu đại số giữa vận tốc góc ω_1 của đĩa 1 và vận tốc góc ω_2 của đĩa 2, (với giả thiết đĩa 1 là đĩa mài, đĩa 2 là chi tiết gia công).

Biểu đồ độ mòn động học của đĩa 1 và 2 được xác định theo các công thức (4.4) và (4.5) và được thể hiện bằng các đoạn thẳng $O_{1,2}K_1$ và $O_{1,2}K_2$ (hình 4.1a). Độ nghiêng của các đoạn thẳng này so với mặt phẳng sẽ khác nhau phụ thuộc vào độ cứng của vật liệu.

Giá trị độ cao của biểu đồ tỷ lệ với độ mòn động học ở điểm tương ứng của bề mặt thủy tinh hoặc đĩa mài. Biểu đồ cho thấy độ mòn ở vùng biên lớn hơn ở vùng tâm do ở vùng biên có vận tốc tương đối lớn hơn.

b) Trường hợp một trong hai bề mặt có kích thước nhỏ hơn

Giả sử bề mặt chi tiết 2 có kích thước nhỏ hơn kích thước đĩa mài 1. Lúc đó bề mặt chi tiết chỉ phủ lên một phần của đĩa 1 (hình 4.1b). Trong quá trình gia công đĩa mài 1 cố định, còn bề mặt ABC của chi tiết chuyển động tịnh tiến với vận tốc tương đối V_{td} . Độ mòn động học của tất cả các điểm trên bề mặt ABC đều bằng nhau và tỷ lệ với thời gian dịch chuyển của chi tiết. Trong khi đó, với cùng một thời gian dịch chuyển của bề mặt ABC phần bề mặt đĩa chịu tác động của điểm B mòn ít hơn phần bề mặt chịu tác động của đoạn AC có độ dài l . Như

c) Trường hợp chi tiết đứng yên, đĩa mài quay với vận tốc góc ω_1

Khảo sát độ mòn động học của các điểm trên bề mặt chi tiết 2 và đĩa mài 1 trên mặt cắt qua tâm MM khi quay đĩa 1 một góc φ . Nhận thấy rằng, độ mòn động học lớn nhất của chi tiết ở điểm 4' và nhỏ nhất ở điểm 1' (hình 4.1c), do độ mòn động học tỷ lệ với vận tốc tương đối như đã được xác định ở công thức (4.4) và (4.5). Khi quay đĩa mài một góc φ các điểm 1, 2, 3 của đĩa mài sẽ tiếp xúc với bề mặt chi tiết theo các cung ab, cd, ef... Độ mòn động học lớn nhất của đĩa mài sẽ ở điểm 2, do cung cd là cung có độ dài tiếp xúc (hay còn gọi là cung phủ) lớn nhất. Biểu đồ độ mòn động học của đĩa mài thể hiện trên hình (4.1c).

d) Trường hợp đĩa mài và chi tiết đều quay

Chi tiết gắn trên đĩa 2 quay với vận tốc góc ω_2 , đĩa mài 1 quay với vận tốc góc ω_1 . Giả thiết hai đĩa quay vận tốc bằng nhau $\omega_1 = \omega_2$ và có đường kính bằng nhau $D_1 = D_2 = D$. Nếu đĩa 2 lệch tâm so với đĩa 1 tạo nên các vùng vành khăn có bán kính r_1, r_2, r_3 được phủ hoàn toàn thì độ mòn động học trong vùng này là đều nhau và lớn nhất, vì vận tốc tương đối tại các điểm O_1 và O_2 là bằng nhau và được tính bằng $V_{td} = e.\omega_1 = e.\omega_2$ (với e - độ lệch tâm).

Như vậy, độ mòn động học phụ thuộc vào cung phủ: khi tăng độ lệch tâm e sẽ làm giảm vùng mòn đều và ngược lại.

4.1.2. Ảnh hưởng của vận tốc thẳng tương đối khi gia công mặt cầu

Giả sử nắm mài (2) quay với vận tốc góc ω_1 . Bloc (1) đặt trên nắm (2) dưới tác động của đầu tốc T sẽ quay quanh trục O_1O_2 . Vector vận tốc góc $\vec{\omega}_1$ được phân tích thành hai thành phần: thành phần $\vec{\omega}_2$ hướng dọc theo trục quay O_1O_2 của bloc, thành phần $\vec{\omega}_0$ vuông góc với trục. Vận tốc ω_0 là vận tốc góc tương đối của bloc hay dụng cụ tương đối với đường tâm tức thời II. Tâm này đi qua điểm O_1 , song song với vector $\vec{\omega}_0$ và vuông góc với đường tâm O_1O_2 (trên hình vẽ đường này trùng với đường JJ). Do bị gắn với đầu tốc T, bloc không thể quay quanh đường tâm II, nên chỉ có thể quay quanh O_1O_2 với vận tốc:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \cos \vartheta \quad (4.7)$$

trong đó:

ϑ - góc tạo bởi đường tâm của bloc và dụng cụ.

Có thể xác định:

$$\omega_0 = \omega_1 - \omega_2 \quad (4.8)$$

$$\omega_0 = \omega_1 \cdot \cos \vartheta \quad (4.9)$$

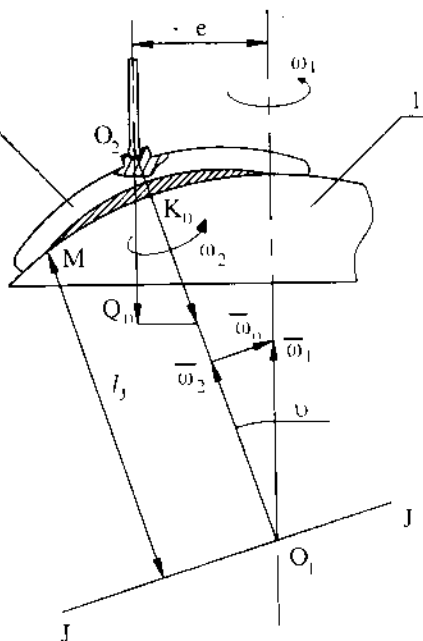
Độ mòn động học của một điểm bất kỳ trên bề mặt bloc tỷ lệ với vận tốc thẳng tương đối:

$$V_M = \omega_0 l_j \quad (4.10)$$

l_j - đường vuông góc nối từ điểm M đến đường tâm tức thời II.

Hình (4.2) cho thấy với chiều dài l_j lớn nhất tại điểm K_0 ($l_j = R$) độ mòn động học sẽ lớn nhất. Độ mòn này sẽ giảm dần đối xứng về hai phía và có giá trị nhỏ nhất ở biên của bloc.

Công thức (4.9) cho thấy khi tăng góc lệch ϑ tức là tăng độ lệch tâm e , vận tốc góc tương đối tăng. Như vậy, khi tăng độ lệch tâm e năng suất gia công tăng, nhưng đồng thời làm giảm độ đồng đều vì lúc đó ω_2 càng lớn hơn ω_1 . Khi gia công mặt cầu trên máy có dầu mài chuyển động lắc qua lại độ mòn động học trên bề mặt sẽ đều hơn. Đường gia công càng dài thì lượng mài mòn ở tâm tăng, ở biên giảm. Khi đường gia công giảm sẽ cho kết quả ngược lại.



Hình 4.2. Sơ đồ độ mòn động học bề mặt cầu của chi tiết và dụng cụ.

4.1.3. Sự phủ bề mặt

Khả năng và cường độ tác động của các vùng khác nhau trên bề mặt dụng cụ đối với bề mặt phôi trong một chu kỳ gia công còn được thể hiện qua hệ số phủ giữa hai bề mặt.

Giả sử bề mặt bloc phôi được phủ bằng một dụng cụ hình vành khăn có chiều rộng $\Delta R = R_2 - R_1$ (hình 4.3).

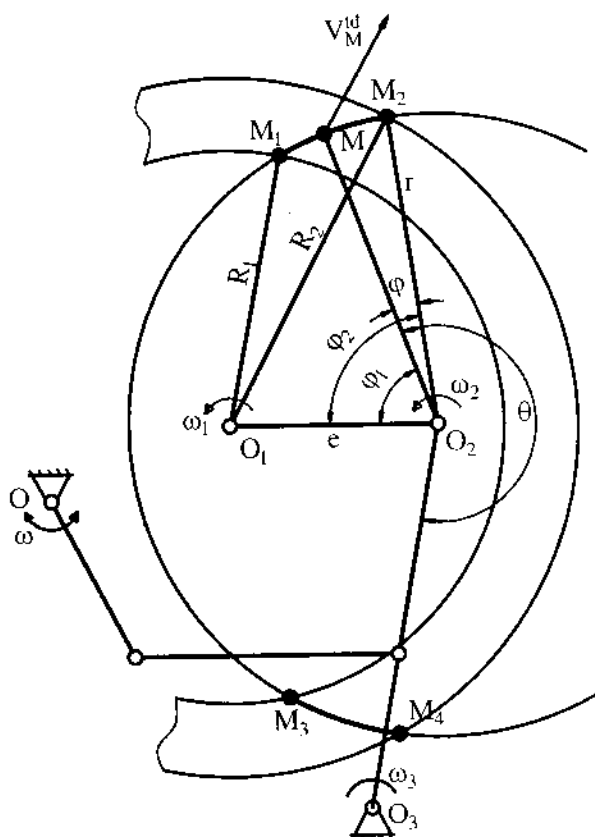
Xét trường hợp đơn giản nhất khi thiết bị đứng yên, đầu tốc của khâu trên nằm ở tâm O_2 cách tâm O_1 của khâu dưới một khoảng $O_1 O_2 = e = \text{const}$. Miền vành của phôi có bán kính r chỉ được dụng cụ phủ trong phần cung tròn $M_1 M_2 = \varphi_r$.

Tỷ số chiều dài của cung tròn này và chiều dài nửa vòng tròn gọi là hệ số phủ:

$$S_r = \frac{M_1 M_2}{\pi r} = \frac{\varphi}{\pi} \quad (4.11)$$

Với
trong đó:

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \arccos \frac{e^2 + r^2 - R_2^2}{2re} \\ \varphi_1 &= \arccos \frac{e^2 + r^2 - R_1^2}{2re} \end{aligned} \quad (4.12)$$



Hình 4.3. Sơ đồ xác định hệ số phủ.

Khi khâu trên lắc, tâm O_2 sẽ chuyển động tương đối so với tâm O_1 . Lúc đó độ lệch tâm e và hệ số phủ S_r sẽ là một đại lượng thay đổi theo thời gian: $e = f(t)$

và $S = f(t)$. Chiều dài cung M_1M_2 cũng thay đổi theo thời gian trong một chu kỳ quay. Khi khâu trên chuyển động, hệ số phủ S_r được xác định bằng giá trị trung bình trong một chu kỳ quay của tay quay và được xác định theo công thức:

$$\bar{S}_r = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\phi}{\pi} dt \quad (4.13)$$

trong đó: T - thời gian một chu kỳ quay của tay quay.

$\bar{S}_r$ - xác định trong giới hạn $0 \leq \bar{S}_r < 1$.

Khi $S_r = \bar{S}_r = 1$ vành tròn bán kính r được phủ hoàn toàn, khả năng tiếp xúc giữa phôi và dụng cụ là tốt nhất.

Khi $S_r = \bar{S}_r = 0$ dụng cụ không phủ lên phôi, nghĩa là dụng cụ không có khả năng tiếp xúc với phôi, vì vậy không xảy ra sự mài mòn.

4.1.4. Hệ số vận tốc

Hệ số vận tốc biểu thị ảnh hưởng của vận tốc chuyển động tương đối của dụng cụ đến cường độ gia công phôi trong miền cung M_1M_2 .

Xét điểm M bất kỳ trên đường M_1M_2 (hình 4.3), vectơ vận tốc tương đối của điểm M ($\overline{V_M^{td}}$) là tổng của 3 vectơ vận tốc: vận tốc quay của dụng cụ $\overline{\omega_1 MO_1}$, vận tốc quay của phôi: $\overline{\omega_2 MO_2}$, vận tốc lắc của phôi $\overline{\omega_3 MO_3}$.

Nghĩa là:

$$\overline{V_M^{td}} = \overline{\omega_1 MO_1} + \overline{\omega_2 MO_2} + \overline{\omega_3 MO_3} \quad (4.14)$$

$\overline{V_M^{td}}$ chỉ có ý nghĩa vật lý trong miền phủ bán kính r , còn các phần khác thì không, vì không có sự tác động tương hỗ giữa dụng cụ và phôi.

Nếu phôi không dịch chuyển (trường hợp phôi được gắn lên khâu trên), vận tốc $\overline{\omega_3 MO_3} = 0$. Khi đó giá trị của vectơ vận tốc $\overline{V_M^{td}}$ thay đổi trên đoạn M_1M_2 , nhưng không thay đổi theo thời gian. Vì vậy, cường độ nghiền không phụ thuộc vào hướng của vectơ vận tốc tương đối $\overline{V_M^{td}}$ và tỷ lệ với giá trị trung bình của $\overline{V_r^{td}}$ dọc theo đường M_1M_2 .

Tỷ số giữa giá trị trung bình của vectơ vận tốc tương đối $\overline{V_r^{td}}$ trong miền bán kính r được dụng cụ phủ lên và giá trị lớn nhất của vận tốc dài V_{max}^{td} ở vùng mép của dụng cụ được gọi là hệ số vận tốc.

$$V_r = \frac{\overline{V_r^{td}}}{V_{r \max}} \quad (4.15)$$

ở đây:
$$V_{r \max} = \frac{\omega_l D_l}{2}$$

Khi khâu trên không dịch chuyển, giá trị trung bình của vectơ vận tốc tương đối được xác định bằng biểu thức:

$$\overline{V_r^{td}} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} V_M^{td} . d\theta \quad (4.16)$$

trong đó: θ là sự dịch chuyển độc lập được chọn tùy ý.

Khi khâu trên dịch chuyển, đường $M_1 M_2$ thay đổi sau thời gian chu kỳ, khi đó giá trị vận tốc trung bình được xác định:

$$\overline{V_r^{td}} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_0^T V_M^{td} . d\theta . dt}{T . \pi . S_r} \quad (4.17)$$

Giả thiết $\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_{td} = \pi \overline{S_r}$ thì $\overline{V_r^{td}}$ là giá trị trung bình theo đường $M_1 M_2$ và phụ thuộc vào thời gian t , còn vận tốc tương đối V_M^{td} tỷ lệ tuyến tính trong miền r .

Hệ số vận tốc khi khâu trên dịch chuyển với $e = f(t)$ sẽ là:

$$\overline{V_r} = \frac{\overline{V_r^{td}}}{V_{\max}} \quad (4.19)$$

Giá trị V_r và $\overline{V_r}$ phụ thuộc vào hệ số phủ S_r và $\overline{S_r}$. Khi $S_2 = \overline{S_r} = 0$ thì $V_r = \overline{V_r} = 0$.

Giá trị hệ số vận tốc V_r và $\overline{V_r}$ biểu thị cho giá trị của vận tốc làm việc trong các vùng khác nhau của bán kính r .

4.2. ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP LỰC MÀI

4.2.1. Ảnh hưởng áp lực mài khi gia công mặt phẳng

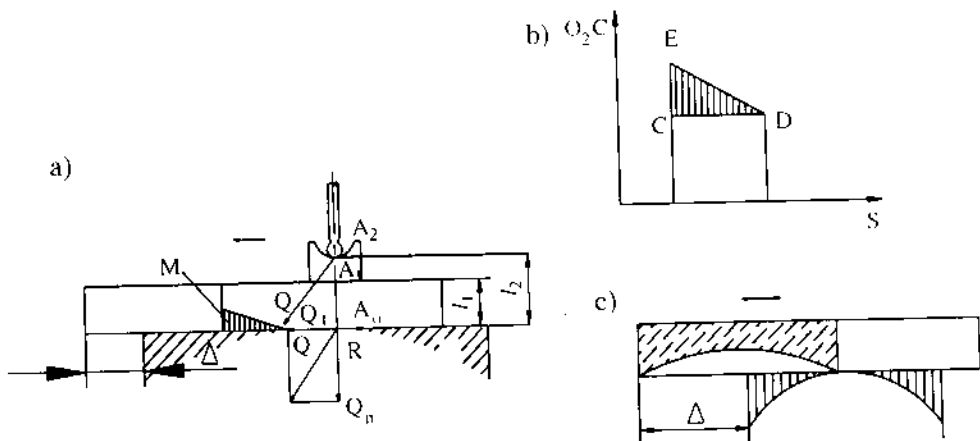
Sơ đồ động học gia công mặt phẳng thủy tinh quang học thể hiện trên hình

4.4. Chi tiết 1 ép lên bề mặt dụng cụ 2 nhờ áp lực Q có điểm đặt tại A_0 . Lực Q được phân tích thành lực pháp tuyến Q_n cân bằng và ngược hướng với hợp lực ma sát ΣR và lực tiếp tuyến Q_t cân bằng với hợp lực các phản lực trên bề mặt dụng cụ. Thực tế điểm đặt của lực Q không nằm trên bề mặt gia công mà đặt tại điểm đầu trục A_1 . Vì vậy, luôn tồn tại một khoảng cách l từ điểm đặt lực đến bề mặt gia công. Điều này sẽ tạo nên mômen ($M = Q.l$) ép phần phía trước của chi tiết vào bề mặt dụng cụ khi chuyển động qua lại, làm mép chi tiết mòn nhanh hơn gây ra hiện tượng vát mép (hình 4.4a). Có thể hạn chế hiện tượng này bằng cách:

- Tạo ra mômen ngược với mômen $Q.l$ ở mép chi tiết;
- Giảm mômen $Q.l$ bằng cách hạ điểm đặt lực Q xuống sát bề mặt gia công;
- Giảm thời gian tiếp xúc của mép chi tiết với dụng cụ bằng cách cho chi tiết vượt quá một lượng Δ so với bề mặt dụng cụ.

Hai cách trên khó thực hiện và không thực tế. Vì vậy, người ta thường sử dụng cách thứ ba. Lúc này, áp lực Q chỉ còn tác dụng lên vùng giữa của bề mặt chi tiết làm vùng này được gia công nhiều hơn so với phần mép nhô ra. Nhờ đó ảnh hưởng của mômen $Q.l$ được bù trừ.

Cần lưu ý rằng, khi sử dụng lượng vượt quá Δ , phần biên dụng cụ sẽ bị mài mòn nhiều hơn ở giữa do ảnh hưởng của vận tốc dài ở vùng biên lớn hơn (hình 4.4b,c).



Hình 4.4. Ảnh hưởng của áp lực khi gia công mặt phẳng.

4.2.2. Khi gia công mặt cầu

Để đơn giản hoá việc khảo sát áp lực mài trên bề mặt cầu giữa dụng cụ và chi tiết, người ta chia mặt cầu thành những mặt cắt qua tâm I-I, II-II, III-III... và xét các thành phần lực trên mỗi mặt cắt mà lúc này được coi là các mặt trụ (hình 4.5). Lúc đó lực tác dụng Q đặt tại điểm A, được tách làm hai thành phần: lực nằm ngang Q_T và lực thẳng đứng Q_N . Lực thẳng đứng Q_N gây ra các phản lực q_r trên bề mặt gia công. Tổng các phản lực q_r cân bằng với Q_N và có chiều ngược lại, ta có:

$$\overline{Q_N} = \sum \overline{q_r} \quad (4.20)$$

Mỗi một q_r lại được tách thành hai thành phần :

- Lực pháp tuyến q_n tác dụng vuông góc với bề mặt gia công và được xác định bằng công thức:

$$q_n = q_r \cdot \cos \gamma \quad (4.21)$$

Với γ là góc nghiêng tạo bởi đường pháp tuyến và đường tâm của block. Càng xa đường tâm góc γ càng lớn do đó q_n càng giảm.

- Lực tiếp tuyến q_t tác dụng theo các hướng khác nhau và đối xứng từng cặp qua đường tâm của block. Tổng các cặp lực q_{nt} và q_{tp} tạo thành các phản lực cân bằng với Q_N .

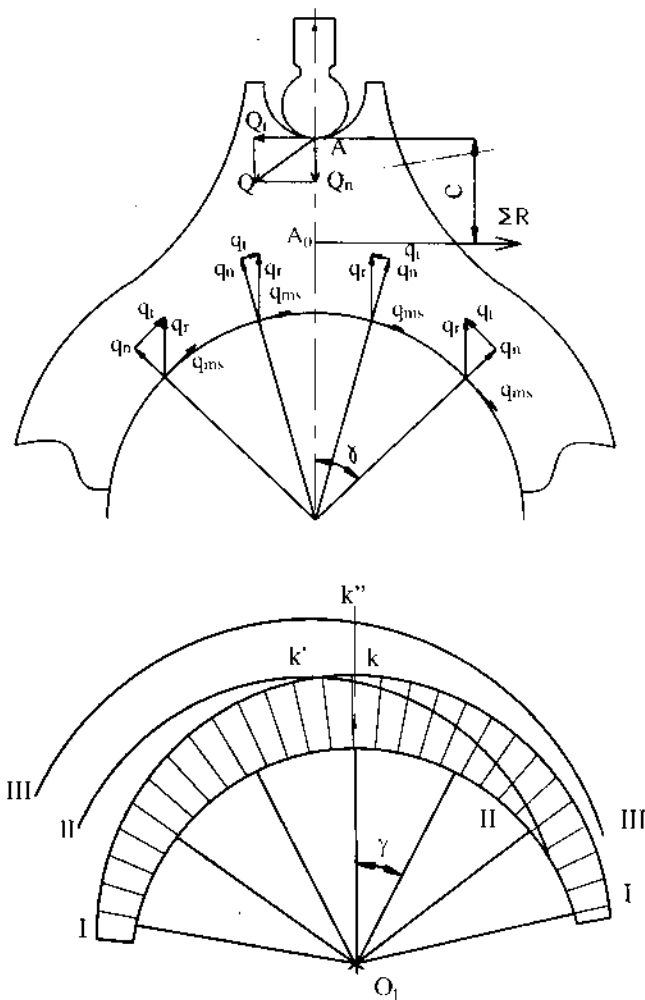
Lực pháp tuyến q_n gây ra lực ma sát trên bề mặt gia công:

$$q_{ms} = q_n \cdot f, \quad \text{với } f \text{ là hệ số ma sát} \quad (4.22)$$

Lực ma sát cũng phân thành các cặp đối xứng bên trái q_{mst} và bên phải q_{msp} (xem hình 4.5a). Khi bát mài chuyển động từ trái qua phải, lực ma sát bên trái q_{mst} có xu hướng nâng mép bát mài lên, trong khi đó lực ma sát bên phải q_{msp} lại có xu hướng ép mép bát mài xuống; khi bát mài chuyển động từ phải sang trái sẽ xảy ra hiện tượng ngược lại. Vì vậy, trong quá trình gia công, khi bát mài thực hiện chuyển động lắc qua lại, hiện tượng này có thể gây va đập dẫn đến vỡ mép chi tiết.

Bằng cách xác định lực cân bằng của các cặp lực ma sát q_{mst} , q_{msp} và sau đó là tổng tất cả các cặp lực ta có lực cân bằng tổng ΣR có điểm đặt tại A_0 cách điểm đặt lực Q một khoảng C . Cũng giống như khi gia công mặt phẳng, mômen $Q_N C$ có xu hướng ép bát mài xuống mép bên trái, tạo nên biểu đồ lực II-II có

66



Hình 4.5. Ảnh hưởng của áp lực khi gia công mặt trụ.

Khi xét trên toàn bộ mặt cầu, cần lần lượt xác định lực cân bằng ma sát trên từng mặt cắt I-I, II-II, III-III: $\sum R_{I+p}^I$, $\sum R_{I+p}^{II}$, $\sum R_{I+p}^{III}$. Sau đó xác định lực cân bằng chung của tất cả các lực ma sát trên mặt cầu $\sum R_{I+II+III+\dots+N}$.

Cũng giống như trường hợp gia công mặt phẳng, do điểm đặt lực không nằm trên bề mặt gia công, nên khi bát mài dịch chuyển qua lại sẽ xuất hiện mômen có xu hướng ép phía trước của bát mài xuống theo hướng chuyển động làm cho phần biên được gia công nhiều hơn, đồng thời ảnh hưởng đến sự tiếp xúc ổn định giữa hai bề mặt (xem 3.4). Để khắc phục hiện tượng này người ta vẫn sử dụng lượng vượt quá của bát mài so với năm mài hoặc giảm bớt khoảng cách C sao cho điểm đặt lực A của điểm đầu tốc nằm gần bề mặt gia công nhất có thể.

4.3. ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ VÀ SỰ PHÂN BỐ HUYỀN PHÙ MÀI

Khi mài nghiền thủy tinh, hạt mài đóng vai trò như các lưỡi cắt. Để có thể cắt gọt bề mặt thủy tinh, người ta thường dùng các loại hạt có độ cứng cao như hạt coranđôn (Al_2O_3), cacbit silic (SiC), cabít Bo (B_4C), cát thạch anh (SiO_2), enbo, kim cương tự nhiên hoặc nhân tạo.

Hạt mài được sử dụng trong mài nghiền thủy tinh thường ở dạng hỗn hợp với chất lỏng được gọi là huyền phù. Chất lỏng được dùng khi mài nghiền thủy tinh là nước. Vì khi dùng các chất lỏng có độ nhớt cao hơn sẽ cản trở chuyển động của hạt mài, làm giảm năng suất mài. Thừa hoặc thiếu chất lỏng đều gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng gia công bề mặt. Nếu thừa chất lỏng, số lượng hạt mài giảm, làm tăng áp lực lên mỗi hạt mài, hạn chế chuyển động của nó, làm cào xước bề mặt thủy tinh. Nếu thiếu chất lỏng số lượng hạt mài cũng tăng, hạt mài chen ép lên nhau, chuyển động tự do cũng bị hạn chế và vì vậy cũng gây xước bề mặt.

Chất lỏng đóng vai trò quan trọng quá trình phá hủy thủy tinh. Chất lỏng không những có tác dụng bôi trơn, giảm ma sát, phân phối hạt mài, giảm nhiệt, mà còn đào sâu các vết nứt, đẩy nhanh việc tách các mảnh thủy tinh ra khỏi bề mặt gia công.

Nồng độ huyền phù là tỷ lệ giữa khối lượng hạt mài và khối lượng hỗn hợp có ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng mài nghiền. Tỷ lệ này được xác định bằng biểu thức:

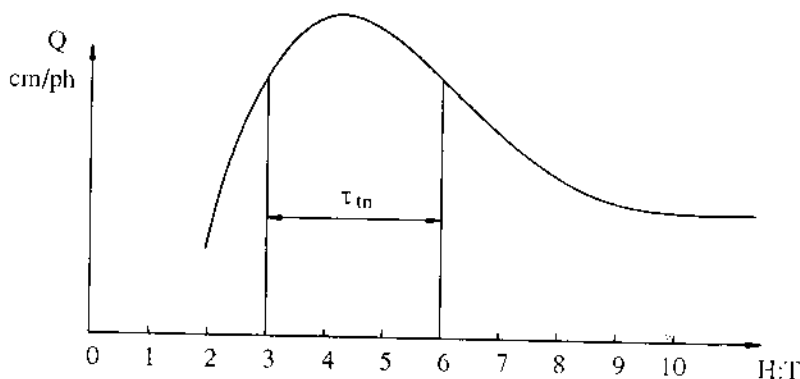
$$\tau = \frac{T}{T + H} 100\% = \frac{1}{1 + \frac{H}{T}} 100\% , \quad (4.23)$$

trong đó: τ - nồng độ huyền phù;

T - khối lượng bột mài;

H- khối lượng nước.

Khoảng tối ưu của tỷ lệ giữa nước và bột là $H : T = 3 \div 6$. Với tỷ lệ này, cường độ gia công TT là lớn nhất (hình 4.6). Tỷ lệ này có thể thay đổi khi dùng các kích thước hạt khác nhau: Với kích thước hạt từ $30 \div 50 \mu\text{m}$ thì $H : T = 40 \div 14 \mu\text{m}$ và nhỏ hơn thì $H : T = 3 \div 5$.



Hình 4.6. Quan hệ giữa tỷ số H:T và cường độ gia công.

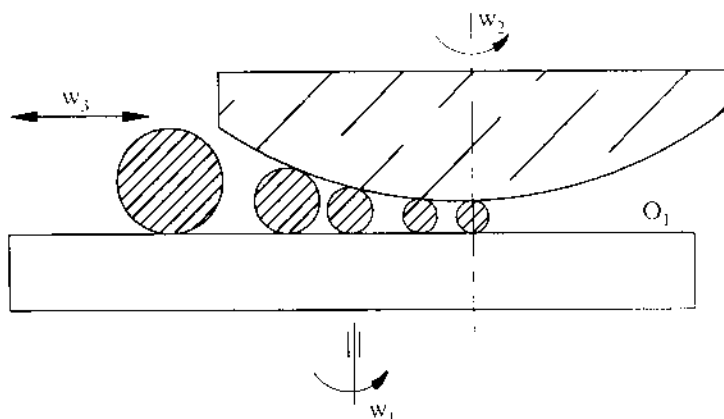
Kích thước hạt mài cũng có ảnh hưởng lớn đến năng suất và chất lượng gia công. Điều dễ hiểu là độ hạt càng lớn thì lượng mài mòn thủy tinh càng nhiều, nhưng chất lượng bề mặt càng xấu.

Do kích thước của một loạt hạt mài không hoàn toàn bằng nhau, nên lúc đầu áp lực từ dụng cụ chỉ truyền qua những hạt có kích thước lớn. Đó là những nơi có sự tiếp xúc giữa dụng cụ và phôi thông qua hạt mài. Nếu trong một loạt hạt mài các hạt có kích thước lớn hơn gấp 4 lần kích thước hạt cơ bản chiếm nhiều hơn 5% thì chúng sẽ gây xước bề mặt, nếu ít hơn 5% thì chúng sẽ nhanh chóng bị nghiền vỡ. Sự tiếp xúc lúc này sẽ xảy ra ở những điểm nhô cao nhất trên mỗi bề mặt.

4.4. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ NGHIÊN VỠ HẠT MÀI

Khi gia công, do có sự vượt quá của mép chi tiết so với bề mặt dụng cụ, vùng tâm chi tiết được gia công nhiều hơn. Trong vùng gia công hạt mài bị nghiền vỡ nhanh hơn vùng biên. Trong khi đó, dưới tác dụng của lực ly tâm, các hạt có kích thước lớn có xu hướng văng ra phía ngoài. Vì vậy, ở vùng biên sẽ có

nhiều hạt lớn làm tăng sự mài mòn ở mép chi tiết (hình 4.7). Để hạn chế hiện tượng này người ta dùng phương pháp cấp huyền phù vào tâm dụng cụ.



Hình 4.7. Sơ đồ mài mòn bề mặt chi tiết do hạt mài bị nghiền vỡ không đều.

4.5. ẢNH HƯỞNG CỦA PHÂN BỐ LƯỢNG DƯ GIA CÔNG

Khi gia công mặt cầu, bề mặt phôi ban đầu có bán kính khác với bán kính chi tiết cần gia công một lượng bằng lượng dư. Lượng dư này bị giới hạn bởi hai mặt cầu: mặt cầu của phôi ban đầu và mặt cầu của chi tiết đã gia công xong.

Có ba trường hợp phân bố lượng dư giữa các nguyên công (hình 4.8). Gọi hàm phân bố lượng dư là $Z = f(\lambda)$, $\lambda = (0 \div \theta)$, với θ là góc mở của mặt cầu ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), tương ứng sẽ có:

- Lớp lượng dư có giá trị nhỏ nhất ở biên (hình 4.8a): $Z = Z_{\min}$ khi $\lambda = \theta$;
- Lớp lượng dư có giá trị nhỏ nhất ở đỉnh (hình 4.8b): $Z = Z_{\min}$ khi $\lambda = 0$;
- Lớp lượng dư đồng đều (hình 4.8c): $Z = Z_{\min} = \text{const.}$

Lượng dư giữa các nguyên công $Z_{\min}$ luôn lớn hơn lượng dư cần thiết phải lấy đi ở mỗi nguyên công Z_k , được xác định bởi chiều sâu phá hủy bề mặt từ nguyên công trước để lại: $Z_{\min} > Z_k$.

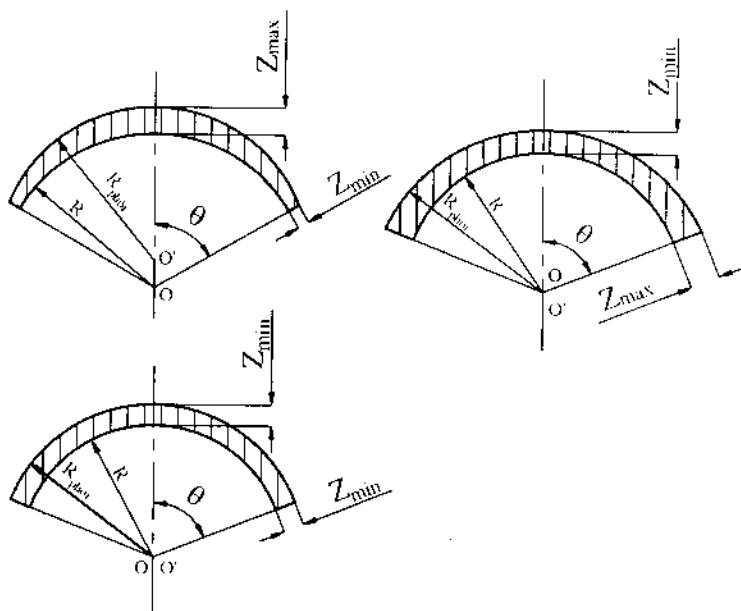
Trong quá trình gia công, tâm hình học của bề mặt gia công luôn biến đổi và có xu hướng tiến về phía tâm chi tiết:

$$(R_{\text{phôi}} - R) \rightarrow 0; \text{ trong khi } 00' < R \text{ rất nhiều.}$$

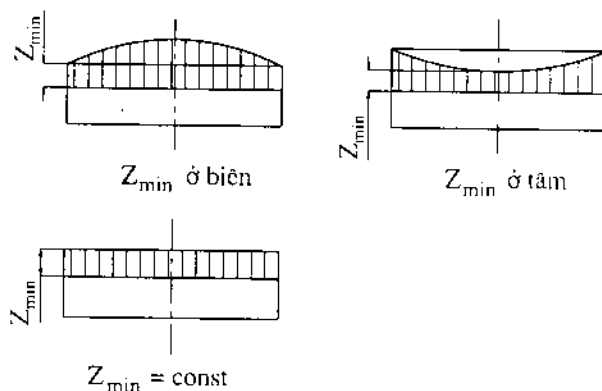
Nếu lớp lượng dư $Z_{\min}$ đồng đều ở mọi giá trị của θ thì thể tích lớp lượng dư phải lấy đi sẽ là ít nhất (hình 4.8c).

Khi gia công mặt phẳng (lúc đó $R = \infty$ và $\theta = 0$) cũng sẽ có ba trường hợp phân bố lượng dư (hình 4.9): $Z_{\min} = \text{const}$; $Z_{\min}$ ở biên và $Z_{\min}$ ở đỉnh.

Người ta thường dùng phân bố lượng dư như một yếu tố điều chỉnh quá trình công nghệ bằng cách chủ động tạo ra phân bố cường độ mài mòn phù hợp với phân bố lượng dư. Ví dụ, trong trường hợp $Z = Z_{\min}$ khi $\lambda = \theta$, người ta sẽ tăng cường độ mài mòn ở đỉnh, trường hợp $Z = Z_{\min}$ khi $\lambda = 0$ sẽ tăng cường độ mài mòn ở biên. Với cách làm này có thể nhanh chóng đạt độ chính xác hình dạng hình học của chi tiết.



Hình 4.8. Sơ đồ phân bố lượng dư đối với mặt cầu.



Hình 4.9. Sơ đồ phân bố lượng dư đối với mặt phẳng.

4.6. ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ SỐ ĐIỀN ĐẦY BỀ MẶT

Căn cứ vào sơ đồ phân bố lượng dư được lựa chọn từ trước, người ta sẽ lựa chọn kích thước và hình dạng của phần diện tích làm việc thực tế trên bề mặt dụng cụ và bề mặt phôi. Bề mặt dụng cụ và bề mặt phôi có thể là các bề mặt liên tục hoặc bị cắt khuyết một số vùng. Những vùng không bị cắt khuyết gọi là những vùng được điền đầy và khả năng tiếp xúc thực tế giữa bề mặt dụng cụ và bề mặt phôi chỉ có thể xảy ra ở những vùng này.

Để tạo thành những vùng điền đầy, trên dụng cụ người ta gấn guốc nghiêng hoặc các tấm ní nghiêng hoặc đánh bóng; trên đĩa gá, phôi được gấn thành bloc (trong trường hợp gia công đồng thời nhiều chi tiết). Các guốc nghiêng và phôi được sắp xếp theo các miền vành đối xứng qua tâm (hình 4.10a, b và hình 4.11).

Gọi diện tích của bề mặt guốc nghiêng là δ_r trong trường hợp gia công mặt phẳng và δ_λ trong trường hợp gia công mặt cầu, có thể xác định hệ số điền đầy theo công thức:

- Đối với mặt phẳng:

$$\eta_r = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_r}{2\pi r \Delta r} \quad (4.24)$$

- Đối với mặt cầu: do $r = R \sin \lambda$ (hình 4.11b) nên:

$$\eta_r = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_r}{2\pi \Delta \lambda \sin \lambda} \quad (4.25)$$

trong đó:

N , δ_r và δ_λ - số và diện tích guốc nghiêng;

r , Δr - bán kính trung bình và chiều rộng của miền vành.

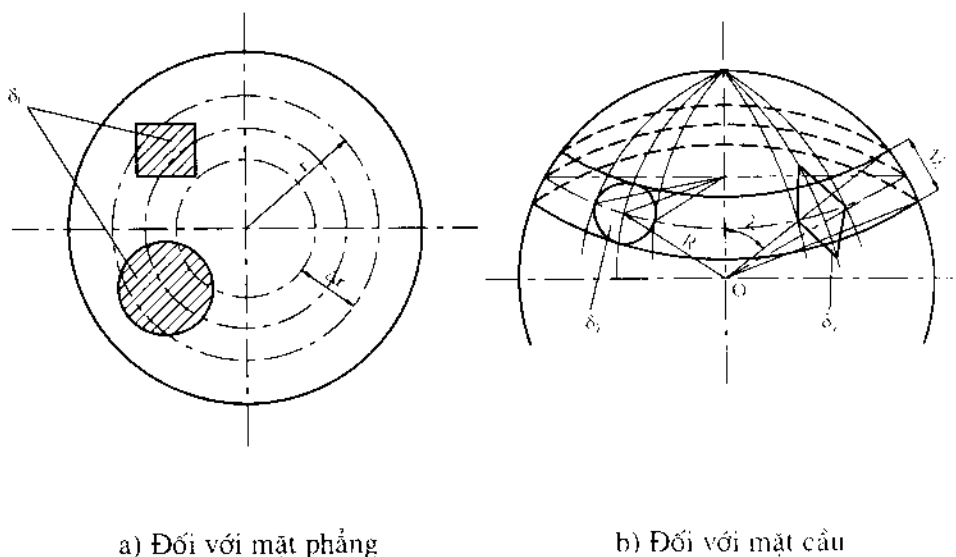
Hệ số điền đầy là đại lượng không thứ nguyên và xác định trong giới hạn:
 $0 \leq \eta_r \leq 1$.

- Khi $\eta_r = 1$: Bề mặt của phôi và dụng cụ là liên tục (bề mặt được điền đầy hoàn toàn), khả năng tiếp xúc lớn nhất;

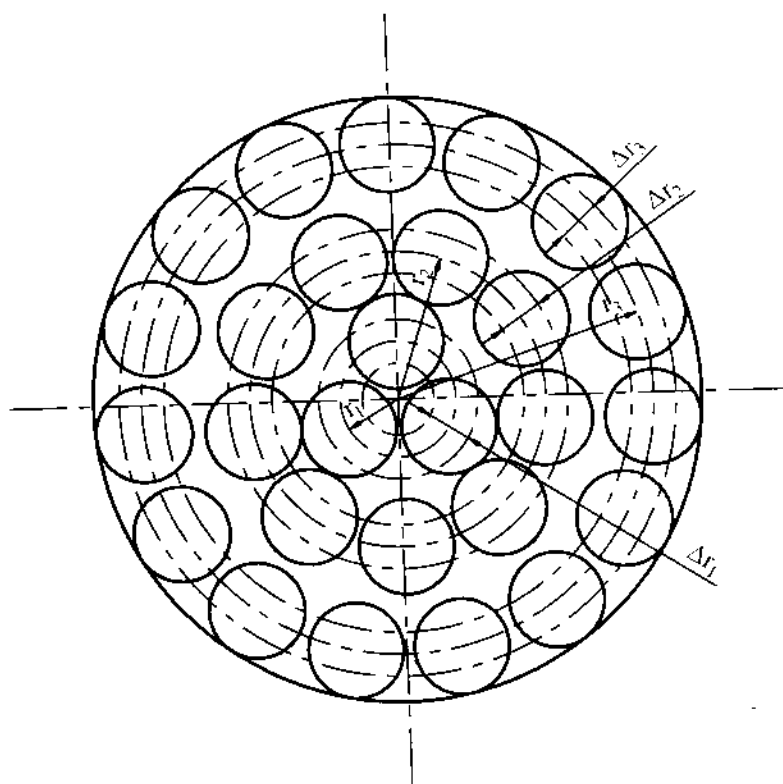
- Khi $\eta_r < 1$: Bề mặt phôi và dụng cụ bị cắt khuyết, khả năng tiếp xúc kém hơn;
- Khi $\eta_r = 0$: Bề mặt phôi hoặc dụng cụ bị cắt khuyết hoàn toàn, không có khả năng tiếp xúc giữa hai bề mặt.

Để hệ tính số diện đầy, người ta chia bề mặt dụng cụ hoặc bề mặt đĩa gá thành những vành đồng tâm có chiều rộng bằng nhau. Căn cứ vào quy luật phân bố gờ nghiền hoặc béc phôi trên đĩa gá xác, định tổng diện tích của các vùng diện đầy $\sum_{i=1}^n \delta_r$.

Bằng cách thay đổi hệ số diện đầy có thể làm tăng hay giảm khả năng tiếp xúc giữa bề mặt dụng cụ và bề mặt phôi, do đó có thể điều chỉnh được lượng mài mòn trên bề mặt gia công. Vì vậy hệ số diện đầy được sử dụng làm yếu tố điều chỉnh cường độ mài mòn rất có hiệu quả.



Hình 4.10. Sơ đồ xác định hệ số diện đầy.



Hình 4.11. Sơ đồ phân bố phôi theo các vùng trên trên gá.

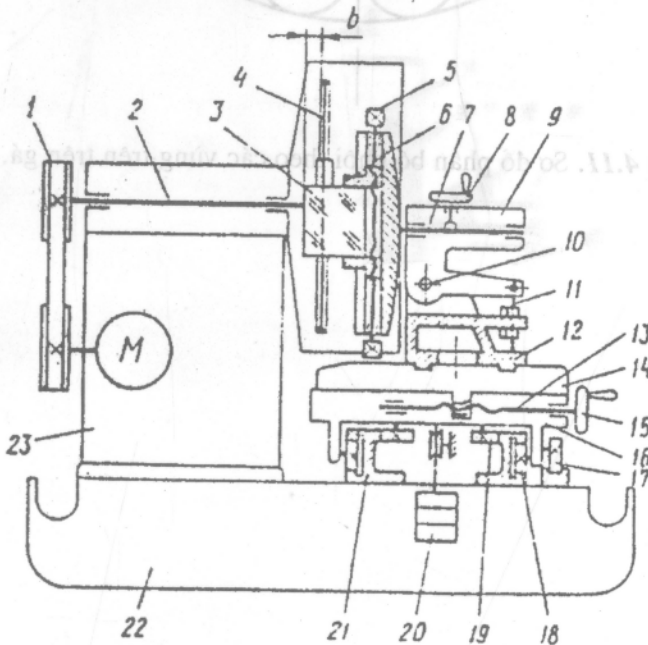
Chương 5

THIẾT BỊ GIA CÔNG

Trong dây chuyền sản xuất các chi tiết quang, người ta thường sử dụng ba nhóm máy chính: máy tạo phôi và gia công sơ bộ; nhóm máy mài nghiền và đánh bóng; nhóm máy phục vụ các nguyên công phụ như chỉnh tâm, vát mép, làm sạch. Chương này sẽ giới thiệu một số kết cấu máy trong các nhóm trên.

5.1. MÁY CƯA THUỖ TINH

Máy cưa thủy tinh dùng để cắt các phôi thủy tinh dạng khối hoặc tấm thành các miếng phôi nhỏ hơn có kích thước và hình dạng xác định phù hợp trước khi chuyển sang các nguyên công tạo hình mặt phẳng hoặc cầu. Các miếng phôi thường được cắt thành các khối hộp chữ nhật, khối hộp vuông hoặc tam giác (để gia công các lăng kính).



Hình 5.1. Sơ đồ nguyên lý máy cưa phôi

Trên hình 5.1 thể hiện sơ đồ của một loại máy cưa thủy tinh khối. Khối thủy tinh 3 được kẹp trên một giá kẹp di động 6. Đĩa kim cương 4 lắp trên trục chính 2 và quay với tốc độ được xác định để cắt thủy tinh.

Áp lực cắt được tạo ra nhờ đối trọng 20 và cũng nhờ nó mà bàn máy mang khối thủy tinh tiến dần về phía lưỡi cưa để cắt ra một lát mỏng thủy tinh. Sau khi cắt lát thứ nhất, nhờ vítme 13, bàn máy 14 dịch chuyển cùng khối thủy tinh để điều chỉnh lát cắt thứ hai và cứ tiếp tục như thế cho các lát cắt tiếp theo.

5.2. MÁY PHAY THỦY TINH

5.2.1. Nguyên tắc chung

Mặt cầu chi tiết được phay sơ bộ trên máy phay theo nguyên lý tạo mặt cầu bằng dao kim cương có dạng ống hoặc châu, trục quay của nó đi qua tâm bề mặt cầu chi tiết và nghiêng một góc α .

Dao phay hình trụ bán kính a có lưỡi cắt đặt trên mặt đầu của nó. Trục quay 2 của dao phay trụ đặt nghiêng với trục 1 mang phôi một góc α . Hai trục 1 và 2 cắt nhau tại O – cách mặt đầu dao một khoảng b (hình 5.2). Khi phôi và dao quay quanh trục của nó thì sẽ gia công được một chòm cầu có tâm là O và bán kính được xác định theo công thức:

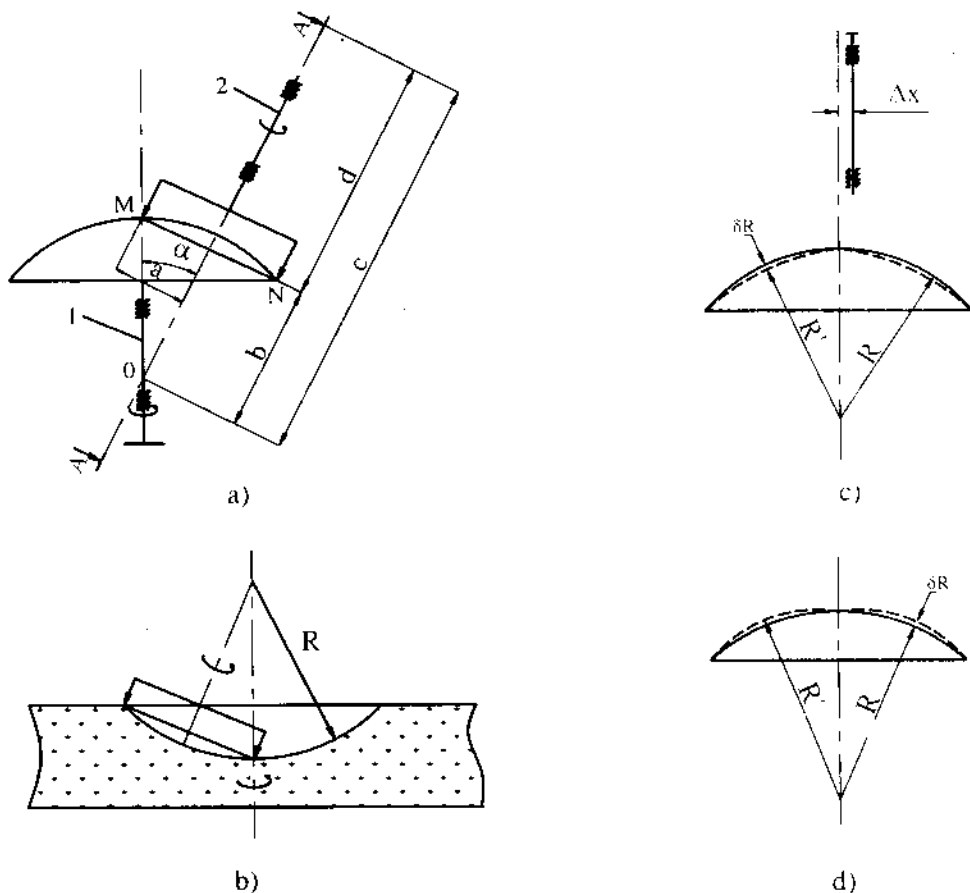
$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.1)$$

Điều kiện cắt hết chòm cầu là điểm M của dao ít nhất ra đến đỉnh phôi, còn điểm N ra đến mép phôi.

Với cùng một dao bán kính a , có thể gia công được các chòm cầu có bán kính R khác nhau bằng cách điều chỉnh khoảng cách b , khi khoảng cách d là cố định do kết cấu của trục dao thì thay đổi kích thước c bằng cách tịnh tiến cả hệ thống mang dao dọc theo trục 2 để đạt được:

$$c - d = b = \sqrt{R^2 - a^2} \quad (5.2)$$

theo yêu cầu. Ngoài ra khi chòm cầu lớn, có thể quay cả hệ thống mang dao quanh trục O để lưỡi phay cắt hết bề mặt phôi. Theo nguyên tắc đó, nhiều máy phay mặt cầu đã thể hiện các thiết kế có kết cấu quay quanh O và tịnh tiến dọc theo trục 2.



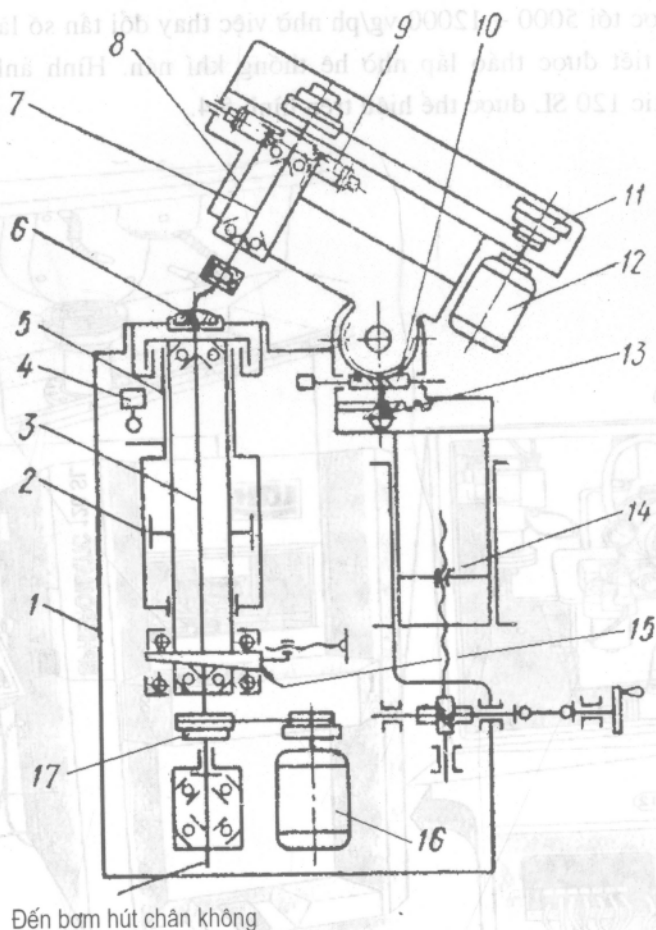
Hình 5.2. Sơ đồ nguyên lý phay chi tiết quang.

5.2.2. Một số dạng máy phay

5.2.2.1. Máy phay vạn năng kiểu đứng

Trên hình 5.3 là sơ đồ động của máy phay vạn năng kiểu đứng. Dao phay dạng ống trụ được lắp trên trục 7 và được truyền chuyển động từ động cơ 12 thông qua bộ truyền đai 11. Chi tiết 6 được lắp trên trục 3 và được truyền chuyển động quay từ động cơ 16 thông qua bộ truyền đai 17. Trục chính mang dao có thể dịch chuyển dọc trục nhờ truyền động trục vít bánh vít 9, chuyển động này để điều chỉnh dao theo bán kính chi tiết gia công và bồi thường cho độ mòn dao phay. Khi mở máy thì trục mang phôi quay với tốc độ 500 vg/ph. Đồng thời khí nén với áp suất lớn tác động vào pittông 2 đẩy nhanh nòng 5 lên trên cho đến

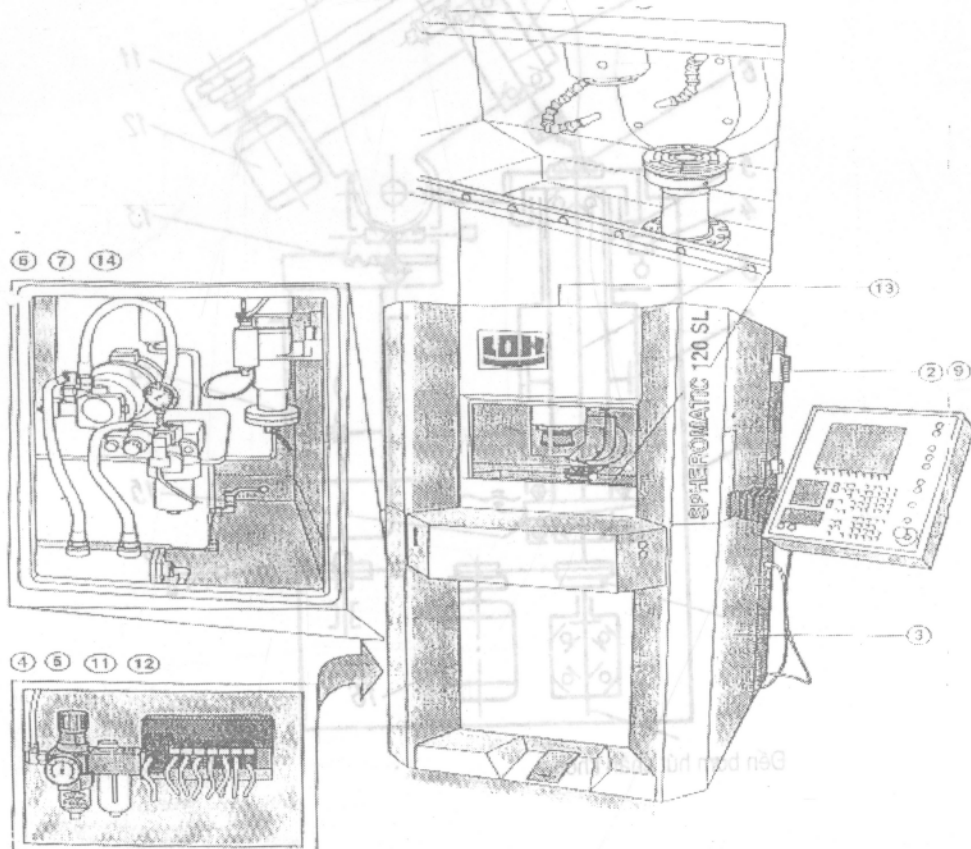
khi con lăn tỳ vào mặt nệm. Sự dịch chuyển nệm tiếp tục đẩy nòng trục phối đi lên với tốc độ xác định (tốc độ chạy dao) tùy thuộc vào góc nệm và tốc độ dịch chuyển của nó. Ở cuối quá trình gia công, cữ tỳ gắn trên nòng trục phối sẽ tỳ vào công tắc cuối hành trình 4 ngắt nam châm điện của van điều khiển khí nén; không khí nén đi ra khỏi xi lanh. Nòng 5 lại quay trở về vị trí ban đầu và quá trình gia công kết thúc.



Hình 5.3. Sơ đồ động của máy phay vạn năng.

5.2.2.2. Máy phay Spheromatic 120SL

Máy phay Spheromatic 120 SL có tiền thân là máy phay vạn năng kiểu đứng, nó đã được số hoá và tự động điều chỉnh các thông số khoảng cách a, b, c, d và góc nghiêng α của trục dao so với trục gá (hình 5.2) theo giá trị đặt trước nhờ phần mềm điều khiển chu trình làm việc của máy, do vậy nó có thể tự động đạt được bán kính cầu R theo mong muốn. Các cơ cấu chấp hành dịch chuyển dao và chi tiết đến vị trí gia công được thay thế bằng hệ thống xy lanh thủy lực (tốc độ của chúng được điều chỉnh bằng các van tiết lưu); Vận tốc của dao có thể đạt được tới $5000 \div 12000$ vg/ph nhờ việc thay đổi tần số làm việc của dòng điện; Chi tiết được tháo lắp nhờ hệ thống khí nén. Hình ảnh của máy phay Spheromatic 120 SL được thể hiện trên hình 5.4.



Hình 5.4. Hình ảnh của máy phay Spheromatic 120 SL.

5.2.3. Nhận xét về phương pháp phay

Phương pháp phay mặt cầu bằng dao phay trụ có một số ưu, nhược điểm sau:

- Ưu điểm:

- + Dụng cụ dạng ống có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo.
- + Có thể gia công các chi tiết có bán kính khác nhau với cùng một dao.
- + Kết cấu máy đơn giản, tạo điều kiện cho việc tự động hoá quá trình công nghệ.

- Nhược điểm:

- + Độ chính xác tạo hình phụ thuộc vào độ chính xác chế tạo của thiết bị.

Giả sử trục quay của dụng cụ có sai số Δx so với trục quay của dao thì sẽ gây ra độ không cầu δR (hình 5.2c, d):

$$\delta R = \frac{a}{R} \cdot \Delta x \quad (5.3)$$

Mặt khác, nếu khâu a , c , d có chứa các sai số Δa của bán kính dao, Δc của kích thước máy và Δd của kích thước trục dao thì theo quan hệ:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a^2 + (c-d)^2} \quad (5.4)$$

Ta có thể xác định được sai số bán kính của chòm cầu được chế tạo theo công thức:

$$\Delta R = \frac{a}{R} \cdot \Delta a + \frac{c}{R} \cdot \Delta c + \frac{d}{R} \cdot \Delta d \quad (5.5)$$

+ Sai số do vị trí tương đối giữa dao và chi tiết gia công cũng tạo nên sai số trên bề mặt gia công: Khi điểm M của dao vượt quá đỉnh cầu sẽ tạo nên đỉnh cầu bị lõm, ngược lại khi điểm M chưa tới đỉnh cầu phần đỉnh cầu sẽ không được gia công hết, đỉnh cầu sẽ bị lồi.

+ Do thành mỏng, trong quá trình gia công thường tạo thành các nhấp nhô trên bề mặt chi tiết, độ nhẵn bề mặt thấp.

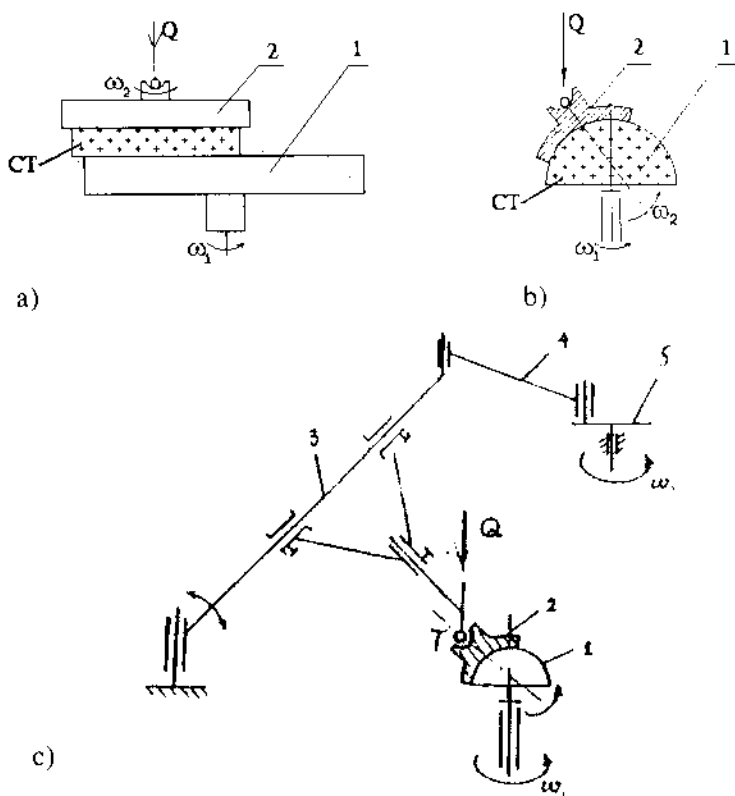
Có thể đưa ra một số nhận xét chung về phương pháp phay thủy tĩnh:

- Bằng cách phối hợp chuyển động quay của phôi và dao cho phép tạo ra mặt cầu lồi hoặc lõm một cách dễ dàng và có thể nâng cao năng suất gia công trong các trường hợp tăng vận tốc quay của dao.

- Bản chất của phương pháp cho thấy độ chính xác tạo hình hoàn toàn phụ thuộc vào độ chính xác chế tạo và lắp ráp của các khâu trong hệ thống gia công. Mặc dù hiện nay các máy phay thủy tinh đã đạt được khả năng tự động hoá và có độ chính xác khá cao, nhưng trong những trường hợp các chi tiết gia công yêu cầu độ chính xác rất cao sẽ đặt ra cho quá trình chế tạo cơ khí một khó khăn lớn. Vì vậy, phương pháp này thường dùng cho các nguyên công tạo phôi hoặc gia công những chi tiết có yêu cầu độ chính xác không quá cao.

5.3. MÁY MÀI NGHIỀN VÀ ĐÁNH BÓNG THỦY TINH

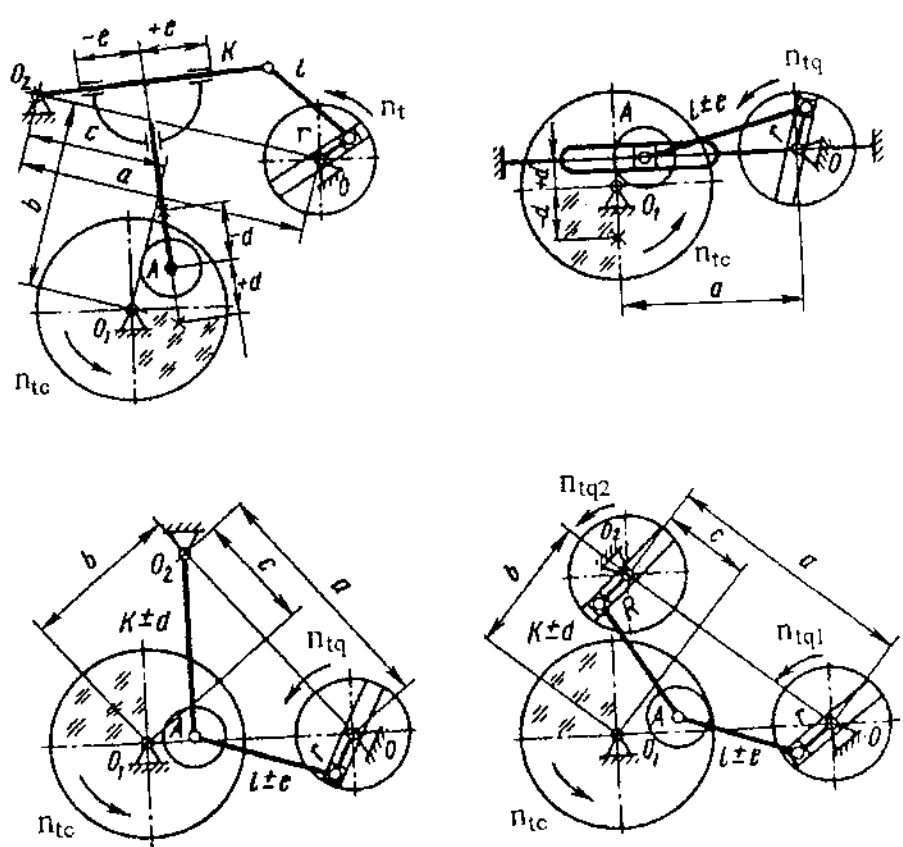
Quá trình mài tạo hình và đánh bóng bề mặt chi tiết quang theo phương pháp mài nghiền bằng hạt tự do được tiến hành trên cùng một thiết bị. Đó là máy mài và đánh bóng thủy tinh. Sơ đồ nguyên lý của phương pháp này được trình bày trên hình 5.5.



Hình 5.5. Sơ đồ nguyên lý mài nghiền và đánh bóng bề mặt phẳng và bề mặt cầu chi tiết quang.

Theo sơ đồ trên, chi tiết cần gia công có thể được gắn lên khâu dưới 1 hoặc khâu trên 2. Như vậy khâu trên hoặc khâu dưới đều có thể là khâu mang phôi hoặc mang dụng cụ. Khâu dưới có chuyển động quay tròn với vận tốc ω_1 , khâu trên có chuyển động lắc nhận từ thanh lắc 3, đồng thời có chuyển động quay theo do ma sát với khâu dưới và hạt mài. Đĩa lệch tâm 5 quay với vận tốc ω_2 truyền chuyển động cho thanh lắc 3 và thanh truyền 4 (hình 5.5c).

Máy mài nghiêng có nhiều loại, chúng chỉ khác nhau ở phương thức tạo ra chuyển động tương đối giữa khâu trên và khâu dưới. Trên hình 5.6 trình bày nguyên lý làm việc của một số cơ cấu cụm trên có sử dụng cơ cấu đòn bẩy để của máy mài nghiêng và đánh bóng chi tiết quang.

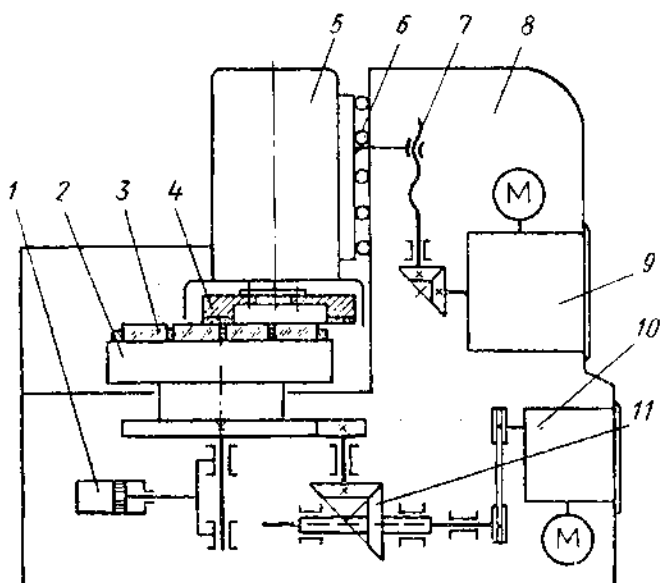


Hình 5.6. Một số dạng cơ cấu cụm trên có sử dụng cơ cấu đòn bẩy.

Các dạng và quy luật chuyển động lắc phụ thuộc vào dạng sơ đồ cấu trúc, kích thước hình học, dạng đặc tính động học của cơ cấu cụm trên, cũng như phụ thuộc vào các khoảng cách a, b, c của nó so với tâm O_1 của cơ cấu cụm dưới.

Quá trình nghiền được bắt đầu kể từ lúc truyền cho chi tiết và dụng cụ một chuyển động tương đối và đảm bảo sự tiếp xúc giữa bề mặt chi tiết gia công và dụng cụ dưới tác dụng của áp lực, đồng thời giữa hai bề mặt phải có một lớp huyền phù mài. Áp lực nghiền được tạo ra nhờ quả nặng, lò xo, hoặc khí nén. Huyền phù được cấp liên tục hoặc gián đoạn vào bề mặt chi tiết gia công và dụng cụ nghiền với các cấp độ hạt khác nhau tùy theo từng nguyên công.

Trên hình 5.7 là sơ đồ một loại máy mài phẳng chi tiết quang. Các chi tiết thủy tinh 3 được gá trên phiến gá bằng thép rồi đặt trên bàn từ tròn 2. Đá mài mặt đầu 4 lắp trên trục chính máy và quay với tốc độ lớn để mài bề mặt chi tiết. Chuyển động chạy dao là chuyển động quay tròn của bàn từ 2. Chuyển động ăn dao được thực hiện nhờ vítme 7, làm hạ đầu máy cùng với đá mài xuống một lượng tương ứng với chiều dày mài. Tốc độ quay của bàn từ khoảng vg/ph . Vận tốc quay của đá khoảng 25 mm/s . Vận tốc dịch chuyển ăn dao của đầu mài là $0,015 \div 1,5\text{ mm/ph}$.



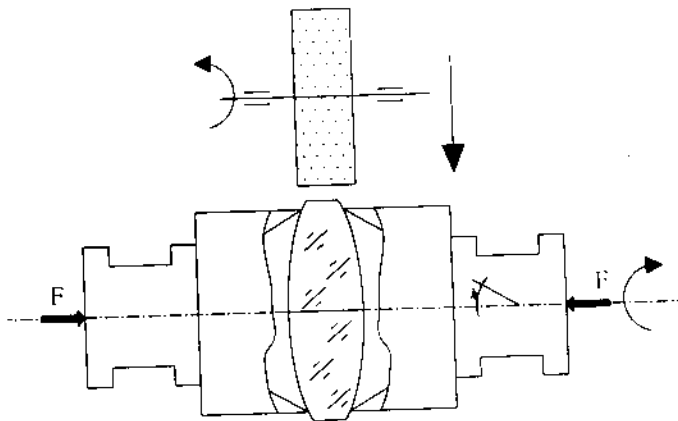
Hình 5.7. Sơ đồ cấu tạo máy mài phẳng chi tiết quang.

5.4. MÁY MÀI TRÒN TÍNH NGOÀI VÀ VÁT MÉP CHI TIẾT QUANG (HAY CÒN GỌI LÀ MÁY CHỈNH TÂM VÁT MÉP)

Để nâng cao chất lượng tạo ảnh của hệ quang và để dàng khi lắp ghép các chi tiết quang vào hệ quang, trong quy trình công nghệ gia công thấu kính quang học người ta bố trí thêm nguyên công lăn tròn tính ngoài và vát mép.

5.4.1. Nguyên lý gia công

Chi tiết được định vị 5 bậc tự do nhờ hai vành tròn song song với nhau; hai vành tròn định vị này cùng vuông góc với đường nối tâm của chúng (đường tâm trục gá của máy), khi đó trục quang học của chi tiết quang cần mài tròn ngoài và vát mép sẽ trùng với tâm trục gá của máy. Một trong hai vành tròn vừa có tác dụng kẹp chặt vừa có tác dụng định vị (hình 5.8).



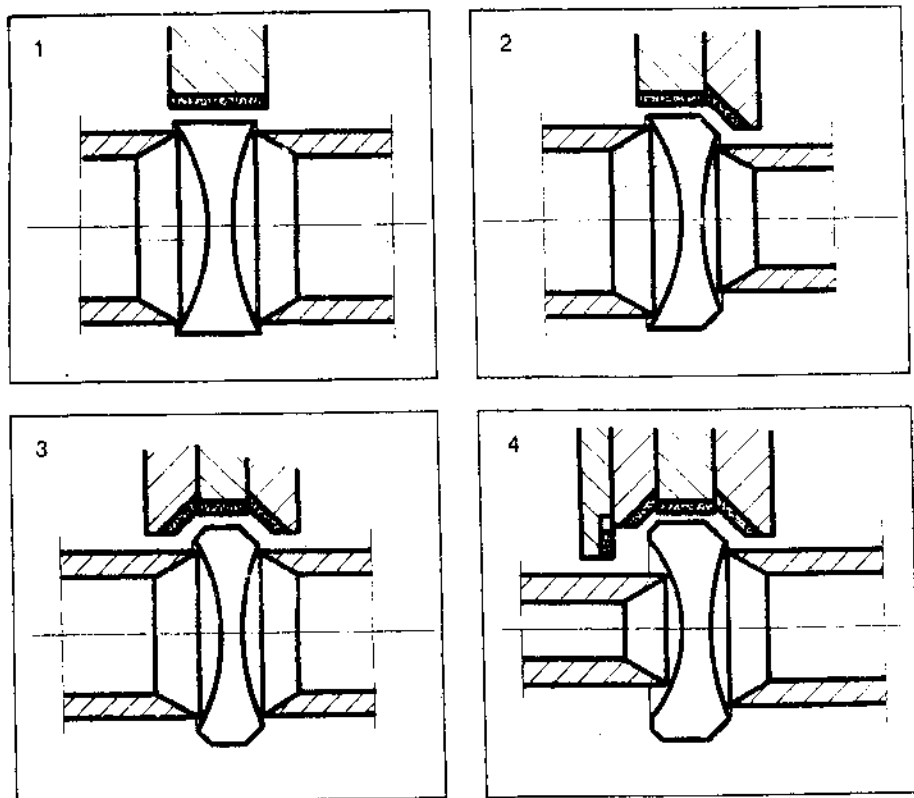
Hình 5.8. Sơ đồ nguyên lý gia công của máy lăn tròn tính ngoài và vát mép.

Chuyển động cắt là chuyển động quay quanh tâm của trục gá phôi và trục dao, chúng được dẫn động từ động cơ điện thông qua các bộ truyền cơ khí; chuyển động chạy dao là chuyển động tịnh tiến của trục dao theo hai phương (hướng trục và hướng kính chi tiết) được thực hiện nhờ hệ thống cam định hình.

Nhờ việc phối hợp chuyển động cắt và chuyển động chạy dao, có thể làm cho trục hình học của chi tiết (đường tâm của trụ lắp ghép) trùng với đường tâm của trục gá và do đó nó trùng với trục quang của chi tiết (chúng đều trùng với đường tâm của trục gá).

5.4.2. Khả năng công nghệ

Tùy thuộc vào hình dạng của dao (đá mài) có thể thực hiện được nguyên công mài tròn ngoài hay vát mép hoặc cả mài tròn ngoài và vát mép. Hình 5.9 thể hiện các khả năng công nghệ của máy.



Hình 5.9. Khả năng công nghệ của máy.

Kích thước và hình dạng của chi tiết được hình thành và quyết định bởi kích thước và hình dạng của hai cam dẫn động chạy dao theo phương hướng kính và phương hướng trục. Hình 5.10 là sơ đồ thứ tự các bước trong nguyên công mài tròn ngoài và vát mép hai bên chi tiết quang:

Bước 1: Cam dịch dao nhanh (cam a) đưa dao vào vị trí gia công, khi đó cam dịch dao hướng kính (cam b) và hướng trục (cam c) chưa làm việc.

Bước 2: Cam dịch dao hướng kính b bắt đầu hoạt động và điều khiển dao cắt hết lượng dư gia công của bước mài tròn ngoài, lúc này cam hướng trục c và cam dịch dao nhanh vẫn quay nhưng không tham gia điều khiển chuyển động của đá mài, lúc này bước lăn tròn tinh ngoài đã cơ bản hoàn thành.

Bước 3: Cam dịch dao hướng trục c bắt đầu hoạt động và điều khiển cam hướng tâm đẩy dao ra xa tâm và chuyển dao đến vị trí vát mép bên trái của chi tiết, lúc này cam dịch dao nhanh vẫn quay nhưng không tham gia điều khiển chuyển động của đá mài.

Bước 4: Cam dịch dao hướng trục điều khiển dao cắt hết lượng dư vát mép bên trái của chi tiết. Như vậy, sau bước 4 đạt được góc vát mép bên trái của chi tiết theo yêu cầu.

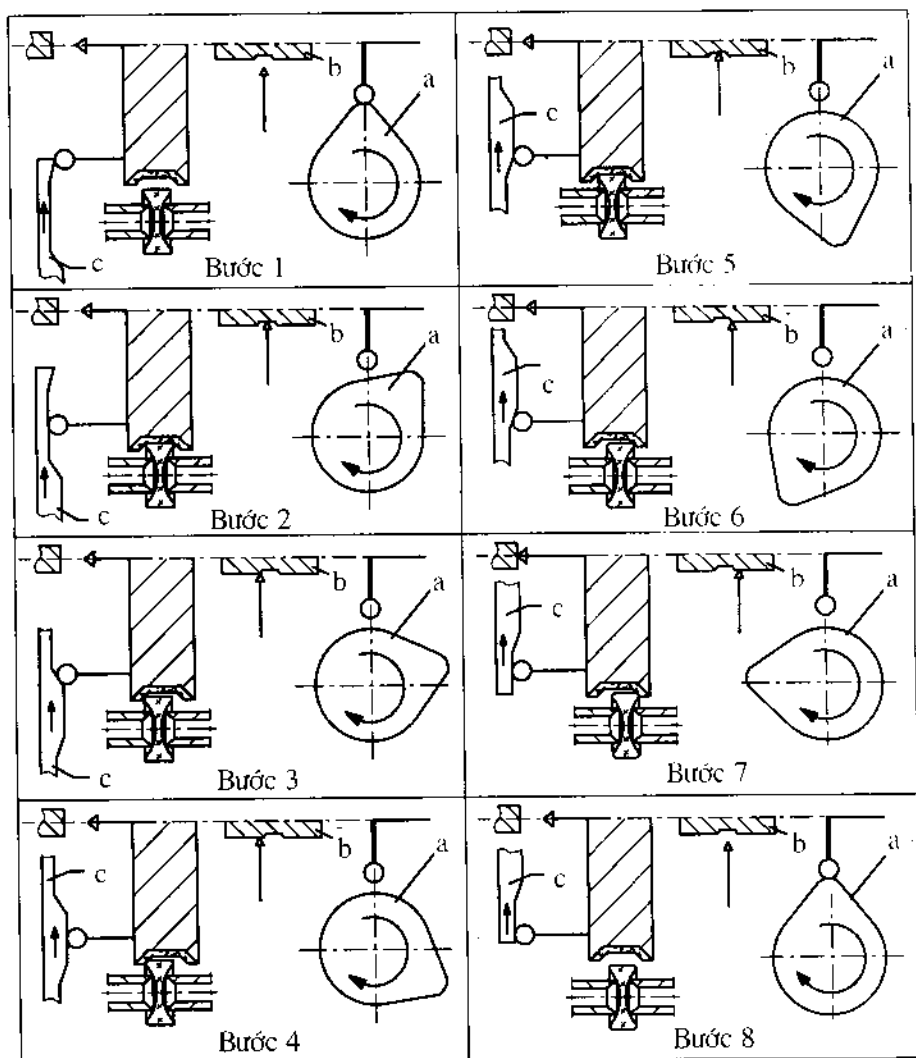
Bước 5: Cam dịch dao hướng trục điều khiển dao tiến sang phải và cam điều khiển dao hướng trục cắt nốt lượng dư gia công tròn ngoài ở bước 2 còn lại.

Bước 6: Cam dịch dao hướng trục điều khiển dao dịch sang vị trí gia công vát mép phải của chi tiết, đồng thời điều khiển cam hướng kính tách dao khỏi bề mặt tròn ngoài.

Bước 7: Cam dịch dao hướng trục điều khiển dao cắt hết lượng dư vát mép bên phải của chi tiết. Như vậy, sau bước 6 đạt được góc vát mép bên phải của chi tiết theo yêu cầu.

Bước 8: Cam dịch dao nhanh a hoạt động hết một chu kỳ trở về vị trí ban đầu đẩy dao nhanh ra khỏi vị trí gia công giúp cho việc tháo lắp chi tiết được dễ dàng.

Như vậy, để gia công được các đường kính khác nhau của chi tiết thì máy sẽ dịch chuyển cả hệ thống cam hướng kính ra xa hoặc lại gần tâm của trục gá. Để có được các góc vát và vị trí vát khác nhau của chi tiết thì phải thay đổi hình dạng và kích thước của cam hướng trục và cam hướng kính.



Hình 5.10. Sơ đồ thứ tự các bước trong nguyên công mài tròn ngoài và vát mép chi tiết quang.

Chương 6

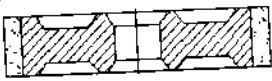
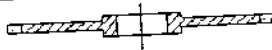
DỤNG CỤ GIA CÔNG VÀ GẮN GÁ

Giống như các phương pháp gia công khác, để gia công chi tiết quang cũng cần có các dụng cụ chuyên dùng. Tùy theo chức năng sử dụng, dụng cụ dùng trong công nghệ gia công chi tiết quang được chia thành các loại: dụng cụ mài, dụng cụ đánh bóng và dụng cụ gắn gá.

6.1. DỤNG CỤ MÀI

6.1.1. Dụng cụ kim cương

Dụng cụ kim cương hiện nay được sử dụng rộng rãi nhằm nâng cao năng suất gia công. Dụng cụ được chế tạo chủ yếu từ hạt kim cương nhân tạo thiêu kết thành các đĩa kim cương hoặc các mảnh kim cương có kích thước khác nhau được gắn trên thân kim loại. Hình 6.1. thể hiện một số loại dụng cụ kim cương và phạm vi sử dụng của chúng.

Dạng dụng cụ	Phạm vi sử dụng
	Mài nghiền thô và tinh mặt phẳng và mặt cầu
	Mài tròn ngoài và chỉnh tâm thấu kính
	Mài thô và tinh mặt phẳng
	Cưa thủy tinh và tinh thể
	Cưa thủy tinh và tinh thể bán dẫn

Hình 6.1. Một số loại dụng cụ kim cương và phạm vi sử dụng.

Hình dạng và kích thước dụng cụ phụ thuộc vào hình dạng, kích thước bề mặt của chi tiết gia công, kết cấu và công suất máy, các dụng cụ thường được tiêu chuẩn hoá và sản xuất hàng loạt.

Để cưa thuỷ tinh người ta thường dùng các loại đĩa kim loại. Vành đĩa được sẻ rãnh và gắn các loại hạt có độ cứng cao như kim cương hoặc một số hạt kim loại khác. Vật liệu đĩa cưa cần có các đặc điểm: có khả năng gắn hạt, không cần độ cứng quá cao để dễ gia công, giá thành rẻ.

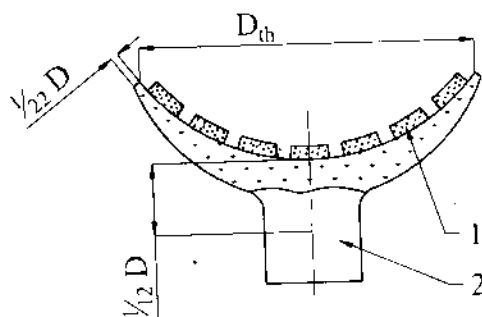
Đĩa cưa thuỷ tinh thường có các dạng sau:

- Đĩa kim loại gắn bột kim cương: Vành đĩa loại này thường được sẻ rãnh trên đó có gắn bột kim cương.
- Đĩa kim loại có gắn bột kim cương và bột kim loại lên vành ngoài: Bột kim cương kết hợp với một số kim loại khác (đồng 86 %, thiếc 8 %, chì 6 %) được ép và thiêu kết lên vành đĩa cưa.
- Đĩa kim loại có gắn hạt mài: Trên các đĩa loại này có gắn hạt silic cacbua kết hợp với xeramic và bakelit. Đường kính các đĩa này dao động từ 200 ÷ 500 mm, chiều dày khoảng 2,5 ÷ 5 mm.
- Đĩa kim loại có sẻ rãnh, bột mài tự do được cấp trong quá trình gia công: Trong một số trường hợp, người ta có thể dùng các đĩa sẻ rãnh nhưng không gắn hạt. Khi cưa, bột mài thấm nước được cấp vào vùng gia công. Đĩa cưa loại này được làm từ thép tấm hoặc tôn có chiều dày 1,5 ÷ 2 mm. Hiện nay, đĩa cưa loại này ít được sử dụng do có năng suất thấp, mặt cưa không đều nên khó tạo ra các miếng phôi có kích thước đồng đều.

Để nghiền tinh bề mặt cầu và phẳng người ta sử dụng dụng cụ có dạng nắm, bát hoặc đĩa phẳng. Bề mặt làm việc của dụng cụ được gắn một lớp kim cương dạng viên, hình 6.2.

Viên kim cương thường có đường kính $d = 6 \div 14$ mm, chiều dày $b = 3 \div 5$ mm, mức bột kim cương ACH, mật độ từ 10 ÷ 25%.

Để mài nghiền các khối hoặc chi tiết có kích thước lớn thường dùng bột kim cương có độ hạt 28/20 đến 14/10, đối với kích thước nhỏ dùng bột có độ hạt 14/10 ÷ 10/7.



Hình 6.2. Dụng cụ gắn kim cương dạng viên.

Bề mặt dụng cụ phải được điền đầy bởi các viên kim cương với hệ số điền đầy được xác định như sau:

- + Đối với đĩa mài: $\eta = 0,25 \div 0,3$
- + Đối với nắm, bát mài có bán kính cong nhỏ: $H/R_0 \leq 5$ thì $\eta = 0,35 \div 0,4$;
- + Đối với nắm, bát mài có bán kính cong lớn: $H/R_0 > 5$ thì $\eta = 0,45 \div 0,5$.

Dụng cụ làm việc ở tốc độ cao nên thân phải được chế tạo chính xác và phải cân bằng sau khi gắn các viên kim cương.

6.1.2. Dụng cụ mài nghiền bằng hạt mài tự do

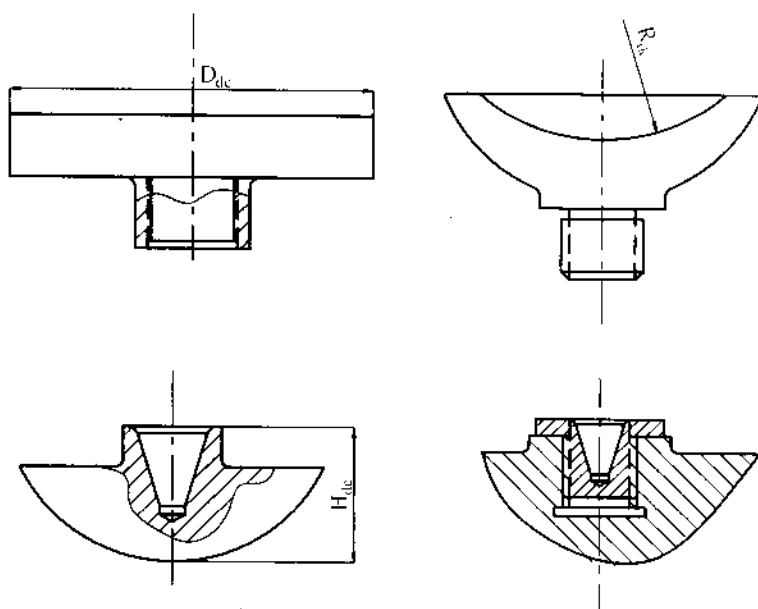
- Kết cấu dụng cụ:

Để mài nghiền mặt phẳng hoặc mặt cầu người ta sử dụng đĩa nghiền hoặc nắm, bát nghiền bằng kim loại. Hình 6.3 thể hiện một số dạng đĩa và nắm, bát nghiền.

Khi nghiền thô và nghiền tinh mặt phẳng thì đĩa nghiền thường được chế tạo bằng gang xám C4 28 - 48 và đồng thau JC59 - 1Л.

Khi gia công mặt cầu, để mài nghiền thô nắm, bát có đường kính khoảng 30 mm có thể làm bằng thép 10 và 20 hoặc gang xám C4 28 - 48, còn để mài nghiền tinh có thể làm bằng đồng thau JC - 63 và JC59 - 1Л.

Dụng cụ làm từ vật liệu gang có ưu điểm là độ bền chịu mài mòn lớn nhưng cũng có nhược điểm là độ đồng nhất không cao. Vì vậy độ rắn bề mặt không đều dẫn đến mài mòn không đều và do đó gây ra sai lệch hình dạng bề mặt gia công.



Hình 6.3. Một số dạng đĩa, bát và nắm nghiền.

Dụng cụ lắp với khâu dưới nhờ mối ghép ren M8, M4, M16, M20, M27, tùy theo độ lớn của chúng. Dụng cụ nối với khâu trên thông qua một khớp cầu (tốc và ổ đầu tốc). Để đảm bảo tính kinh tế hợp lý có thể chế tạo riêng ổ đầu tốc rồi lắp vào phần đuôi của dụng cụ.

- Kích thước dụng cụ:

+ *Đối với mài phẳng:* Đường kính đĩa mài D_{dc} được tính theo đường kính D_{bl} (hoặc đường chéo) của chi tiết gia công (hoặc bloc chi tiết) và có tính đến vị trí của dụng cụ đặt ở khâu trên hay khâu dưới.

Khi dụng cụ ở dưới: $D_{dc} = (1,1 \div 1,25) D_0$

Khi dụng cụ ở trên: $D_{dc} = (0,8 \div 0,9) D_0$

Chiều dày H của đĩa mài được tính như sau:

Khi $D_{dc} \leq 300 \text{ mm}$; $H = (0,06 \div 0,1) D_{dc}$

Khi $D_{dc} > 300 \text{ mm}$; $H = (0,03 \div 0,06) D_{dc}$

+ *Đối với mài cầu:*

Bán kính cong bề mặt của dụng cụ ở mỗi bước gia công được xác định tùy

thuộc vào bán kính cong của bề mặt chi tiết sau bước gia công R_0 , chiều sâu lớp bề mặt bị phá huỷ của bước gia công F_{Mn} và chiều dày lớp bột mài A_{Mn} của đồ hạt M_n .

Bán kính cong của bloc chi tiết sau khi mài bằng hạt mài M_n khác với bán kính cong của nó trước khi mài lượng F_{Mn} ta có:

$$R_{dc}^{Mn} = R_{bl}^{Mn} \pm A_{Mn}$$

$$R_{dc}^{Mn} = R_0 \pm (1,2F_{Mn} + A_{Mn})$$

ở đây:

- dấu (+) ứng với dụng cụ dạng bát;
- dấu (-) ứng với dụng cụ dạng nắm.

1,2 - hệ số tính đến lượng tăng chiều sâu lớp phá huỷ do kích thước hạt có thể dao động.

Chiều cao H_{dc} được xác định dựa vào chiều cao H_{bl} của bloc chi tiết. Quan hệ giữa H_{dc} và H_{bl} được cho trong bảng 6.1.

Bảng 6.1. Quan hệ giữa H_{dc} và H_{bl}

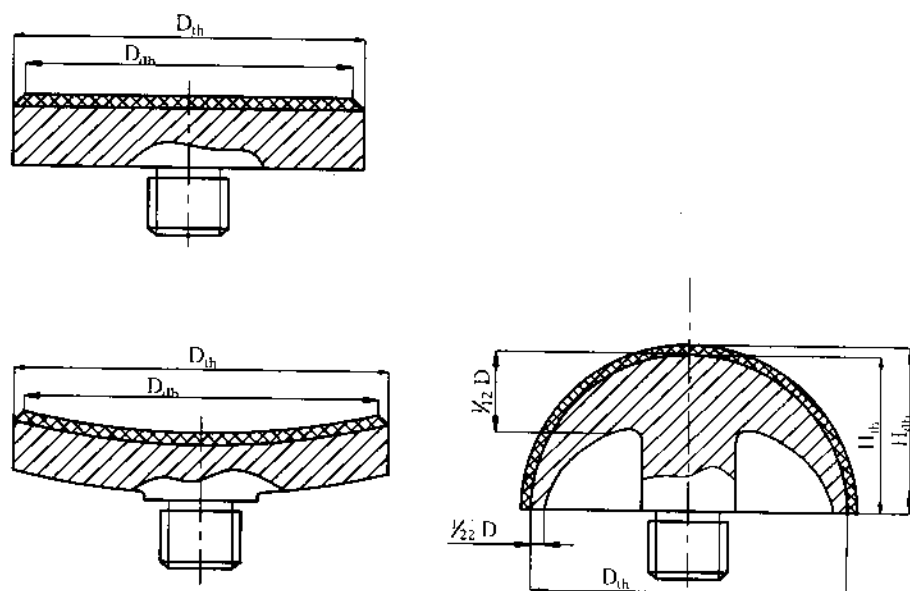
Vị trí dụng cụ	Dụng cụ ở khâu trên	Dụng cụ ở khâu dưới
Dụng cụ		
Nắm mài	$H_{db} = H_{bl}$	$H_{db} = (1,2 \div 1,4) H_{bl}$
Bát mài	$H_{db} = (0,8 \div 0,9) H_{bl}$	$H_{db} = (1,1 \div 1,2) H_{bl}$

6.2. DỤNG CỤ ĐÁNH BÓNG

6.2.1. Kết cấu dụng cụ

Dụng cụ đánh bóng được làm bằng kim loại. Trên bề mặt của nó được phủ một lớp phốt, ni hoặc nhựa đánh bóng (còn được gọi là péc đánh bóng). Hình 6.4. thể hiện kết cấu chung của một số dụng cụ đánh bóng. Yêu cầu về kết cấu của dụng cụ đánh bóng cũng giống như đối với dụng cụ mài nghiền: phải đảm bảo độ cứng vững, biến dạng nhỏ khi có lực tác động, nhẹ, bền, dễ chế tạo và có giá thành thấp.

Với kích thước $D_{dc} \leq 250$ mm thường sử dụng hợp kim kẽm UM – 4C. Với kích thước lớn có thể sử dụng các vật liệu nhẹ như hợp kim nhôm: AL2, AL9, AL11.



Hình 6.4. Kết cấu chung của một số dụng cụ đánh bóng.

Vật liệu lớp đánh bóng - nền đánh bóng được chọn tùy thuộc vào độ chính xác hình dạng, nhám bề mặt và cường độ gia công chi tiết. Thông thường đối với những bề mặt yêu cầu độ chính xác cao nên sử dụng các loại péc đánh bóng, do chúng có độ đàn hồi cao nên làm giảm sai số hình dạng hình học.

6.2.2. Kích thước của dụng cụ

- Gia công mặt phẳng:

Kích thước bề mặt đĩa đánh bóng xác định tương tự như đĩa mài:

$$\text{Khi dụng cụ ở dưới: } D_{dc} = (1,1 \div 1,25) D_0$$

$$\text{Khi dụng cụ ở trên: } D_{dc} = (0,8 \div 0,9) D_0$$

Với D_0 là đường kính hoặc đường chéo của bề mặt chi tiết gia công hoặc block chi tiết.

Nếu lớp đánh bóng bằng vật liệu không chảy dẻo như: vải len kỹ thuật, ni, phốt tằm nhựa hoặc vật liệu nhựa tổng hợp thì $D_{db} = D_{dc}$.

Nếu dùng lớp péc đánh bóng thì:

$$D_{db} = D_{dc} + 2b_0$$

b_0 - chiều dày lớp nhựa đánh bóng mới được tính theo:

$$b_0 = 0,015 D_{db} + 0,5$$

Chiều dày thân của dụng cụ H_{th} được xác định:

+ Khi không có gân tăng cứng vững: $H_{th} = \frac{1}{6} D_{dc}$.

+ Khi có gân để tăng cứng vững: $H_{th} = \frac{1}{20} D_{dc}$.

+ **Gia công mặt cầu:**

Khi gia công mặt cầu cần xác định bán kính cong của thân dụng cụ R_{th} , chiều cao nắm hoặc chiều sâu bát (H_{th}) theo bán kính cong R_0 , đường kính D_0 và chiều cao H_0 của bloc chỉ tiết.

+ **Bán kính cong của dụng cụ, R_{th}**

Đối với mặt cầu có bán kính cong tương đối $\frac{H_0}{R_0} > 0,5$ thì:

$$R_{th} = R_0 \pm b_c$$

b_c - chiều dày lớp nhựa đánh bóng ở cuối thời hạn sử dụng. Giá trị b_c tăng khi R_0 tăng và thay đổi trong giới hạn $b_c = (0,4 \div 2)$ mm.

Với mặt cầu có bán kính cong $\frac{H_0}{R_0} \leq 0,5$ thì sự khác nhau của chiều dày lớp

đánh bóng ở biên và ở tâm là nhỏ nên bán kính thân dụng cụ được tính bằng:

$$R_{th} = \pm R_0$$

Chiều dày lớp nhựa ở biên nhỏ có thể mỏng hơn đến 1/3 chiều dày ở tâm. Chiều dày lớp nhựa đánh bóng mới b_0 khi đánh bóng mặt cầu cũng được xác định như khi đánh bóng mặt phẳng.

+ **Chiều cao của dụng cụ, H_{db}**

H_{db} được xác định như đối với dụng cụ mài nghiêng cầu.

+ **Chiều cao thân bloc**, H_{th}

* Bút đánh bóng, với $\frac{H_0}{R_0} \leq 0,5$ biên của lớp đánh bóng được cắt vát 45° :

$$H_{th} = H_{db} + 2b_0$$

$$\text{với } \frac{H_0}{R_0} > 0,5: \quad H_{th} = H_{db} + b_0$$

* Nấm đánh bóng:

$$\frac{H_0}{R_0} \leq 0,5 \quad H_{th} = H_{db}$$

$$\frac{H_0}{R_0} > 0,5 \quad H_{th} = H_{db} - b_0$$

6.3. DỤNG CỤ GẮN GÁ

6.3.1. Yêu cầu đối với dụng cụ gắn gá

Để đảm bảo yêu cầu làm việc trong quá trình gia công dụng cụ gắn gá cần thảo luận các yêu cầu sau:

- Gắn được thành bloc số chi tiết nhiều nhất có thể.
- Chi tiết gắn trên bloc phải được tiếp xúc trên toàn bộ bề mặt của nó.
- Có trọng lượng nhỏ nhất để giảm tải.

6.3.2. Vật liệu

Vật liệu sử dụng kinh tế nhất là gang xám.

Nếu đường kính lớn thì sử dụng hợp lý là hợp kim nhôm hoặc kẽm để giảm trọng lượng đường kính bloc.

$D_{bl} \leq 250$ mm thì dùng gang xám C412-28

$D_{bl} > 250$ mm thì dùng hợp kim nhôm АЛ2, АЛ9, АЛ11.

6.3.3. Kích thước bloc chi tiết

Tính toán kích thước dụng cụ gắn gá phụ thuộc vào kích thước bloc chi tiết. Kích thước chi tiết bloc lại phụ thuộc vào chiều cao bloc và số chi tiết trên bloc. Vì vậy, trước hết người ta phải tính sơ bộ bloc. Trên cơ sở đó tính kích thước dụng cụ và cuối cùng tính chính xác kích thước bloc chi tiết.

6.3.3.1. Tính sơ bộ bloc

Các kích thước cơ bản của bloc bao gồm:

Bán kính cong bề mặt bloc	: R_{bl}
Đường kính sơ bộ của bloc	: D_{bl}
Chiều cao tính sơ bộ của bloc	: H_{bl}
Khoảng cách giữa hai chi tiết gắn trên bloc: b	

Bán kính cong bề mặt bloc R_{bl} phải bằng bán kính cong của bề mặt chi tiết gia công R_{cl} . Với mục đích tăng năng suất người ta muốn kích thước bloc càng lớn càng tốt. Nhưng vì kích thước bloc (D_{bl} và H_{bl}) lại phụ thuộc vào R_{bl} tức là phụ thuộc vào R_{cl} nên không thể tăng tùy ý được. Mặt khác kích thước bloc phụ thuộc vào sự phân bố chi tiết trên bề mặt bloc và số chi tiết gia công đồng thời trên bloc.

Số chi tiết tăng thì bề mặt mài của bloc cũng tăng do đó tăng áp lực mài trên trục chính dẫn tới tăng công suất mài yêu cầu. Sự tăng công suất mài không thể vượt công suất đã cho của máy. Vì vậy, kích thước của bloc gia công trên máy cũng bị giới hạn bởi công suất máy.

Kích thước sơ bộ của bloc được xác định theo công suất của máy gia công. Dựa vào công suất máy tính được kích thước cho phép lớn nhất của bloc phẳng D_{blf} rồi từ đó tính kích thước cho phép lớn nhất của bloc cầu theo công thức:

$$D_{blc} = 0,7 D_{blf}$$

Trong sản xuất sử dụng phổ biến nhất các bloc phẳng có đường kính $D_{blf} = 20 \div 500$ mm, tương ứng cũng có các bloc cầu với kích thước $D_{blc} = 14 \div 350$ mm.

Chiều cao bloc H_{bl} được xác định theo R_{bl} và D_{bl} . Theo chiều cao, có thể có 2 nhóm bloc:

- Nhóm bloc lớn nhất: $H_{bl} = R_{bl}$ dùng hợp lý khi gia công chi tiết với $R_{bl} > 75$ mm

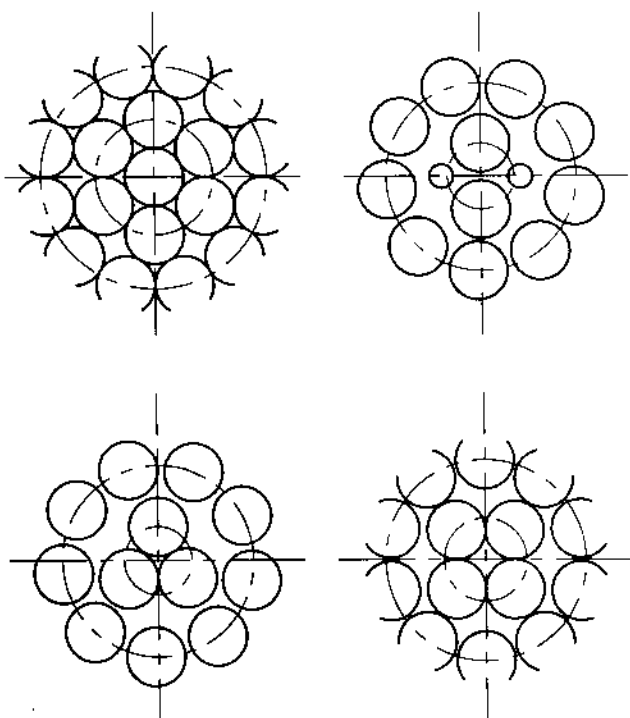
- Nhóm bloc bình thường $H_{bl} < R_{bl}$. Đa số trường hợp người ta sử dụng bloc với $H_{bl} = 0,85 R_{bl}$ (diện tích giảm 15% so với bloc lớn nhất).

Chiều cao bloc H_{bl} được xác định sơ bộ sao cho diện tích bề mặt bloc bằng diện tích bloc phẳng lớn nhất cho phép, ta có:

$$2\pi R_{bl} \cdot H_{bl} = \frac{\pi D_{blf}^2}{4} \rightarrow H_{bl} = \frac{D_{blf}^2}{8R_{bl}} \quad (6.1)$$

6.3.3.2. Sự phân bố và số lượng chi tiết trên bloc

- *Sự phân bố*: Chi tiết được phân bố bắt đầu từ tâm sau đó đến các miền vành đồng tâm. Số chi tiết ở tâm hay miền tâm phải đảm bảo sự điền đầy đồng đều các chi tiết trên bloc. Người ta thường phân bố theo các cách như trên hình 6.5. Theo đó ở tâm có thể có 1, 2, 3 hoặc 4 chi tiết;



Hình 6.5. Sự phân bố chi tiết trên bloc.

- *Số lượng chi tiết trên bloc*: Sau khi xác định phân bố trong miền đầu tiên (miền tâm), tính số chi tiết trong các miền và góc mở γ ứng với miền m của bloc (hình 6.6).

Để tính kích thước của bloc có nhiều phương pháp. Dưới đây trình bày phương pháp lượng giác. Phương pháp này được sử dụng phổ biến do tính đơn giản của nó.

6.3.3.3. Phương pháp lượng giác

Với kích thước đường kính và chiều cao của khối tính sơ bộ ta cũng xác định được góc mở γ_{bl} , góc giới hạn bởi bán kính đi qua đỉnh và biên của khối.

$$\gamma_{bl} = \arccos \left(1 - \frac{H_{bl}}{R_{hl}} \right) \quad (6.2)$$

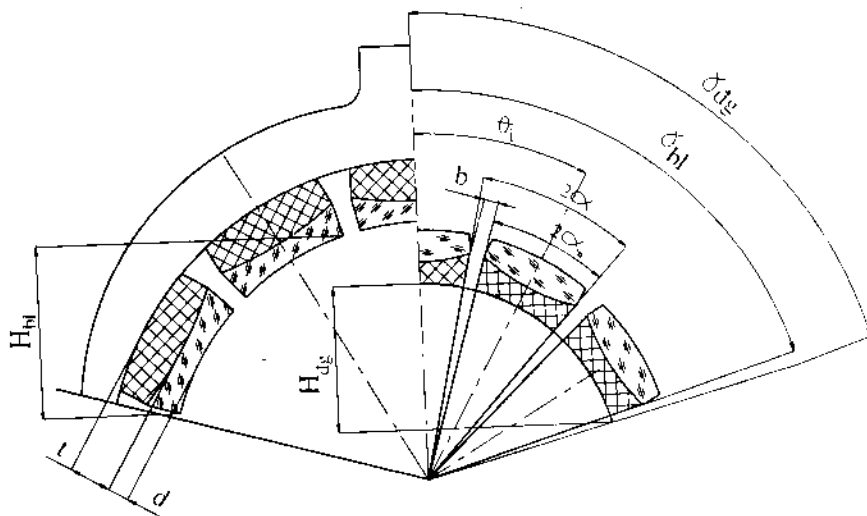
$$\text{hoặc} \quad \gamma_{bl} = \arcsin \frac{D_{bl}}{R_{hl}} \quad (6.3)$$

Cũng tương tự ta có thể tính được góc mở $2\alpha_0$ ứng với đường kính chi tiết (hình 6.6):

$$\alpha = \arcsin \frac{D_{ct}}{2R_{bl}} \quad (6.4)$$

Nếu kể cả khoảng cách b giữa hai chi tiết thì:

$$\alpha = \arcsin \frac{D_{ct} + b}{2R_b} \quad (6.5)$$



Hình 6.6. Sơ đồ tính toán và gắn gá khối cầu.

Tính toán được thực hiện theo trình tự sau:

1. Chọn dạng phân bố và xác định số miền

Để chọn dạng phân bố ta phải xác định số chi tiết trong miền tam. Việc xác định được thực hiện theo tài liệu thực nghiệm và theo công thức:

$$\frac{\gamma_{bl}}{2\alpha} + \frac{1}{2} = m + \xi = A \quad (6.6)$$

ở đây: m là miền, phần nguyên của A . Vì vậy, bên vế trái đưa vào phân phụ điều chỉnh $\frac{1}{2}$, đối với tất cả mọi trường hợp thì m luôn là 1 số nguyên.

ξ là phân lẻ của A cho phép xác định số chỉ tiết trong miền đầu tiên.

Bảng 6.2 cho các giá trị ξ với $\sin\alpha$ khác nhau:

Bảng 6.2. Bảng giá trị ξ với $\sin\alpha$ khác nhau

$\frac{\sin \alpha}{n_1}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	1,0
1	0,0														
2	0,5														
3	0,58									0,59				0,60	
4	0,71				0,72				0,73	0,74	0,76		0,78		
5	0,85		0,86		0,28	0,89			0,91	0,94		0,98		1,0	

2. Tính chính xác góc mở - γ'_b

Góc mở chính xác của bloc (hình 7.6) được tính theo công thức:

$$\text{Với} \quad \gamma'_{bl} = \theta_m + \alpha \quad (6.7)$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} + 2\alpha \quad (6.8)$$

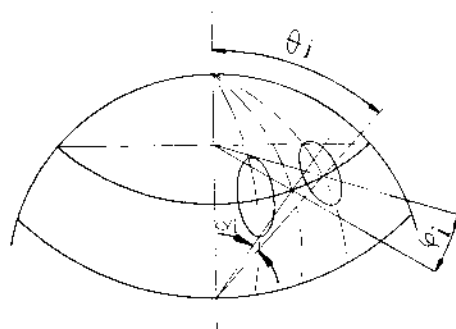
Để xác định θ_i ta phải xác định θ_1 . Từ hình (6.7) ta có:

$$\sin\varphi_i = \frac{\sin\alpha}{\sin\theta_i} \quad (6.9)$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\sin\alpha}{\sin\varphi_1} \rightarrow \theta_1 = \frac{\sin\alpha}{\sin\varphi_1} \quad (6.10)$$

Theo (6.10) tính được:

$$\theta_1 = \arcsin \frac{\sin\alpha}{\sin\varphi_1} \quad \text{với } \varphi_1 = \frac{180''}{n_1}$$



Hình 6.7. Sơ đồ tính bloc cầu theo phương pháp lượng giác.

Từ θ_1 sẽ tính được θ_m theo (6.8) và cũng xác định được góc mở chính xác của bloc theo (6.7).

3. Tính chính xác kích thước bloc

Đường kính và chiều cao chính xác của bloc D'_{bl} và H'_{bl}

$$D'_{bl} = 2R_{bl} \sin \gamma'_{bl} \quad (6.11)$$

$$H'_{bl} = R_{bl} (1 - \cos \gamma'_{bl}) \quad (6.12)$$

4. Tính số chi tiết trên bloc, N

Số chi tiết trên bloc được tính theo công thức:

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (6.13)$$

Với m là số miền, n_i là số chi tiết trong miền:

$$n_i = \frac{180^\circ}{\varphi_1} \quad (6.14)$$

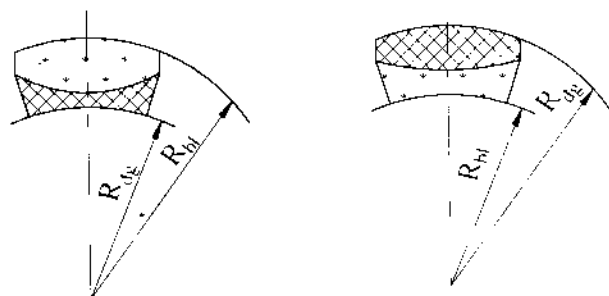
Từ (6.9) ta tính được góc φ_1 như sau:

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_1} \quad (6.15)$$

6.3.4. Kích thước dụng cụ gắn gá

Kích thước dụng cụ gắn phụ thuộc vào phương pháp gắn: gắn cứng và gắn đàn hồi.

- **Phương pháp gắn đàn hồi** (hình 6.8).



Hình 6.8. Sơ đồ gắn chi tiết lên dụng cụ bằng phương pháp đàn hồi.

Bán kính cong bề mặt dụng cụ gắn được tính theo công thức sau:

$$R_{dg} = R_{bl} \pm (d + t), \quad (6.16)$$

- dấu (+) đối với bát gắn;
- dấu (-) đối với nắm gắn;

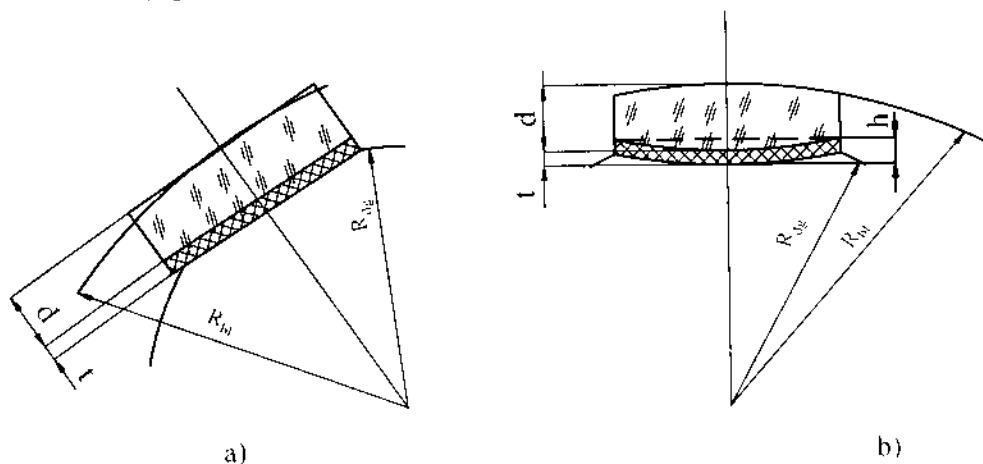
trong đó d , t là chiều dày biên chi tiết và lớp nhựa (đối với bát gá), và là chiều dày tâm chi tiết và lớp nhựa (đối với nắm gá).

Chiều dày lớp nhựa phụ thuộc vào đường kính chi tiết:

$$t = (0,1 \div 0,2) D_{ct}$$

- **Phương pháp gắn cứng** (hình 6.9).

Hình dạng bề mặt của đồ gá gắn tương ứng với hình dạng chi tiết.



Hình 6.9. Sơ đồ gắn chi tiết lên dụng cụ bằng phương pháp gắn cứng.

Bán kính cong đồ gá gắn được xác định tùy thuộc vào kết cấu và hình dạng chi tiết gia công:

+ Với dạng chi tiết như trên hình 6.9a thì:

$$R_{dg} = \sqrt{\left(\frac{D_{ct}}{2}\right)^2 + (R_{ct} - d - t)^2} \quad (6.17)$$

+ Với dạng chi tiết hình 7.9b thì:

$$R_{dg} = \sqrt{\left(\frac{D_{ct}}{2}\right)^2 + (R_{ct} - d - t + h)^2} \quad (6.18)$$

+ Với $t = 0,03 \text{ mm} \div 0,3 \text{ mm}$.

Từ bán kính cong tính được đường kính và chiều cao của đồ gá gắn:

+ Chiều cao: $H_{dg} = R_{dg} (1 - \cos \gamma_{dg})$

+ Đường kính: $D_{dg} = 2R_{dg} \cdot \sin \gamma_{dg}$

Góc mở của đồ gá gắn γ_{dg} được tính theo công thức:

$$\gamma_{dg} = \theta_{dg} + \beta$$

với $\beta = \arcsin \frac{1,2D_{ct}}{2R_{dg}}$, θ_m tính theo công thức (6.8).

Bề mặt đồ gá gắn cần được gia công chính xác với sai số bán kính cong không vượt quá $\pm 0,02 \text{ mm}$, sai số cho phép chiều cao đồ gá đến 1 mm và giá trị góc θ và φ chính xác đến $2'$.

Chương 7

VẬT LIỆU GIA CÔNG VÀ VẬT LIỆU PHỤ

Vật liệu dùng để gia công thuỷ tinh chủ yếu là các loại bột. Các loại bột này có thành phần hoá học, độ lớn của hạt và cấu trúc tinh thể khác nhau. Tính chất quan trọng nhất của bột gia công là độ cứng, độ bền, kích thước hạt, độ ổn định của thành phần hạt và khả năng nghiền vỡ các cạnh sắc nhọn của hạt.

Phụ thuộc vào mục đích gia công, các loại bột được chia làm hai nhóm chính:

- *Bột mài*: gồm các hạt có cạnh sắc nhọn, được dùng ở dạng dính kết trên các dụng cụ hoặc ở dạng huyền phù (bột trộn lẫn với nước theo tỷ lệ thích hợp). Bột mài có thể dùng để cắt, khoan, cưa, hoặc mài nghiền thuỷ tinh.

- *Bột đánh bóng*: Là các loại bột có kích thước nhỏ, có khả năng san phẳng các nhấp nhô tế vi trên bề mặt thuỷ tinh, dùng để đánh bóng thuỷ tinh làm cho bề mặt thuỷ tinh trở nên trong suốt.

Ngoài các loại bột, quá trình gia công còn cần đến các loại vật liệu phụ như các loại nhựa gắn, nhựa đánh bóng, sơn bảo vệ, chất làm sạch...

7.1. VẬT LIỆU MÀI (BỘT MÀI)

7.1.1. Đặc tính và phạm vi sử dụng

Một trong những đặc tính cơ bản nhất của bột mài là độ cứng và khả năng chịu mài mòn dưới tác dụng của áp lực.

Để gia công được thuỷ tinh bột mài phải có độ cứng cao hơn thuỷ tinh. Bột mài cũng được phân theo bảng độ cứng Mhor. Ví dụ: kim cương tự nhiên cấp 10, cacbit silic (SiC) cấp 9,5 - 9,75, thạch anh cấp 7, ...

Hình dạng hạt mài là những khối đa cạnh. Các loại bột mài khác nhau các khối đa cạnh cũng khác nhau và do vậy năng suất gia công khác nhau. Ví dụ: Hạt SiC là khối đa cạnh hình thoi cho năng suất cao hơn các hạt là khối đa cạnh hình hộp chữ nhật (hạt Al_2O_3).

Trong thực tế người ta có thể dùng các loại bột sau:

- *Kim cương*: Có thể ở dạng tự nhiên hoặc tổng hợp. Kim cương ở dạng tự nhiên có giá trị kinh tế cao, rất đắt tiền, vì vậy ít được sử dụng. Kim cương tổng hợp có thành phần hoá học, độ cứng và các đặc tính kỹ thuật gần với kim cương tự nhiên, nên trong thực tế chủ yếu chỉ dùng kim cương tổng hợp.

Kim cương có độ cứng cao nhất: cấp 10, độ cứng tế vi 1.10^{10} N/m². Tùy thuộc vào điều kiện công nghệ có thể tổng hợp được các loại kim cương có kích thước, hình dạng, đặc tính bề mặt, độ giòn,... khác nhau.

Trong gia công thuỷ tinh, kim cương thường được gắn lên dụng cụ ở dạng dính kết. Các dụng cụ này có kết cấu, kích thước, hình dạng khác nhau tùy thuộc vào mục đích sử dụng của chúng. Dụng cụ kim cương có thể dùng ở hầu hết các nguyên công, như khoan, cưa, vát mép, mài chỉnh tâm, phay... Đặc tính quan trọng nhất của dụng cụ kim cương là khả năng cắt gọt, năng suất và thời hạn sử dụng. Các đặc tính này được xác định bởi nồng độ kim cương gắn trên dụng cụ: Nồng độ 100% có chứa khoảng 4,4 cara (1 cara = 0,2 g) kim cương trong 1 cm³ lớp gắn, nồng độ 50 hoặc 25% có chứa lượng kim cương ít hơn 2 hoặc 4 lần.

Bột kim cương được chia làm hai loại: bột mài và bột mịn. Bột mài kim cương tổng hợp được ký hiệu thành năm loại: ACO, ACP, ACB, ACK, ACC (AC là ký hiệu bột kim cương tổng hợp, O, P, B, K, C là ký hiệu các loại bột khác nhau phụ thuộc vào các đặc tính cơ lý của chúng).

Bột mịn kim cương tổng hợp được ký hiệu là ACM và ACH

Cỡ hạt và thành phần của hạt mài kim cương cho trong bảng 7.1, của bột mịn kim cương cho trong bảng 7.2.

- *Cacbít silic (SiC)*: nhận được bằng cách nấu chảy cát thạch anh ở nhiệt độ 2000 – 2200⁰C. Hạt SiC là các tinh thể có dạng hình thoi có độ cứng 9,5 - 9,75, độ cứng tế vi 35.10^9 N/m². Phụ thuộc vào chế độ nấu chảy, SiC có thể có màu vàng hoặc màu đen. SiC cho năng suất cao khi gia công thô do có độ cứng cao và cạnh sắc nhọn. Tuy nhiên, cũng vì vậy các hạt SiC bị nghiền vỡ dễ gây nên các vết xước trên bề mặt gia công, nên ít được dùng khi gia công tinh.

Bảng 7.1. Cỡ hạt và thành phần của hạt kim cương

Cỡ hạt	Nhóm hạt			
	Nhóm thô		Nhóm cơ bản	Nhóm mịn
	Cần lọt qua sàng 100%	Có thể giữ trên sàng không nhiều hơn 15%	Có thể giữ trên sàng không ít hơn 70%	Có thể lọt qua sàng không nhiều hơn 3%
400/250	500	400	250	200
250/160	315	250	160	125
160/100	200	160	100	80
100/63	125	100	63	50
63/40	80	63	40	-
630/500	800	630	500	400
500/400	630	500	400	315
400/315	500	400	315	250
315/250	400	315	250	200
250/200	315	250	200	160
200/160	250	200	160	125
160/125	200	160	125	100
125/100	160	125	100	80
100/80	125	100	80	63
80/63	100	80	63	50
63/50	80	63	50	40
50/40	63	50	40	-

- *Côran điện*: là các tinh thể có chứa tới 80 - 90% oxit nhôm (Al_2O_3), nhận được bằng cách nấu chảy hỗn hợp quặng bôxít và than đá ở nhiệt độ $2000^{\circ}C$. Nhờ có chứa hàm lượng oxit nhôm cao, côranhdôn điện có độ cứng khá cao, đạt đến cấp 9 - 9,2, độ cứng tế vi đạt $20.10^9 - 25.10^9 N/m^2$. Côranhdôn được sử dụng ở dạng hạt tự do hoặc dính kết gắn trên các dụng cụ và có thể gia công hầu hết các vật liệu thủy tinh, loại trừ các vật liệu siêu cứng.

Bảng 7.2. Cỡ hạt và thành phần của hạt mịn kim cương

Cỡ hạt	Nhóm hạt, μm		
	Nhóm thô, không nhiều hơn 5%	Nhóm cơ bản, không ít hơn 65%	Nhóm mịn, không nhiều hơn 30%
60/40	80 - 60	60 - 40	40 - 20
40/28	60 - 40	40 - 28	28 - 14
28/20	40 - 28	28 - 20	20 - 10
20/14	28 - 20	20 - 14	14 - 7
14/10	20 - 14	14 - 10	10 - 5
10/7	14 - 10	10 - 7	7 - 3
7/5	10 - 7	7 - 5	5 - 2
5/3	7 - 5	5 - 3	3 - 1
3/2	5 - 3	3 - 2	2
2/1	3 - 2	2 - 1	1
1/0	2 - 1	không ít hơn 95%	-

- *Cacbit Bo (B_4C)*: là tinh thể màu đen, có độ cứng gần với kim cương: cấp 9,8, độ cứng tế vi $50 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$. B_4C nhận được cách nấu chảy hỗn hợp anhidrit Bo (B_2O_3) và cốc ở nhiệt độ 2500°C . B_4C có thể gia công được các vật liệu có độ cứng rất cao như saphia hoặc rubi. Đây là loại bột đất nhất trong các loại bột nhân tạo, có thể dùng để khoan lỗ hoặc gia công các loại vật liệu thủy tinh khác.

Khả năng mài tương đối của một số loại bột mài cho trong bảng 7.3.

Bảng 7.3. Khả năng mài tương đối của một số loại bột mài

Loại bột mài	Khả năng mài tương đối	Loại bột mài	Khả năng mài tương đối
Kim cương	1	Corun đơn	0,15 – 0,25
Nitrit bo	0,58 – 0,06	Corun điện	0,14 – 0,16
Cacbit bo	0,50 – 0,60	Cát thạch anh	0,02 – 0,03
Cacbit silic	0,25 – 0,45	—	—

7.1.2. Phương pháp phân loại và ký hiệu bột mài

Từ vật liệu hạt tự nhiên hoặc tổng hợp người ta tạo ra các loại bột mài. Đầu tiên vật liệu hạt được làm sạch khỏi các tạp chất, sau đó được tôi và nghiền vụn thành bột, cuối cùng được phân thành các nhóm hạt có kích thước xác định.

Để phân loại nhóm hạt có thể sử dụng hai phương pháp:

- *Phân loại bằng sàng*: Dùng để phân loại hạt mài có kích thước lớn hơn 40 μm . Việc phân loại được thực hiện bằng một hệ thống sàng có kích thước mắt sàng xác định. Các sàng được sắp xếp lần lượt theo thứ tự càng xuống dưới kích thước mắt sàng càng nhỏ. Sau khi sàng, hạt mài được giữ lại trên mỗi sàng có kích thước giữa kích thước mắt sàng phía trên và phía dưới.

Ví dụ: Nếu sàng dưới có kích thước mắt sàng là 100 μm , thì hạt mài trên sàng này có ký hiệu 125/100 (bảng 7.1).

- *Phân loại bằng nước*: Để phân loại hạt mài có kích thước nhỏ hơn 40 μm . Hạt mài được phân loại bằng nước theo hai phương pháp: Thủy tĩnh và thủy động.

+ *Phân loại bằng phương pháp thủy tĩnh*: được tiến hành trong bình chứa hình trụ. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc các hạt mài có tỷ trọng δ như nhau, nhưng có đường kính D khác nhau sẽ lắng đọng trong nước với vận tốc V khác nhau.

Vận tốc lắng của hạt được xác định theo công thức:

$$V = \frac{D^2 g (\delta - 1)}{18\eta} \text{ , m/s} \quad (7.1)$$

trong đó:

η - độ nhớt của nước, N.s/m^2 (ở nhiệt độ 15 $^{\circ}\text{C}$, $\eta = 0,00114 \text{ N.s/m}^2$);

g - gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

D - đường kính hạt mài, m ;

δ - tỷ trọng của hạt, kg/m^3 .

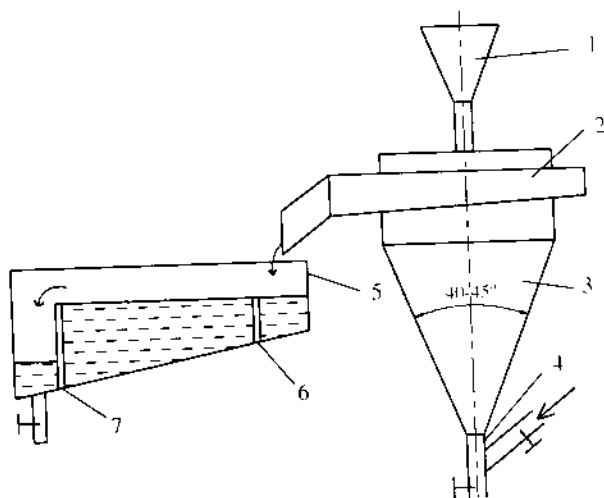
Biết được dạng hạt mài, vận tốc lắng của nó có thể xác định bằng công thức 7.1. Với chiều cao H xác định của cột nước bình chứa, có thể tính được thời gian cần thiết để các hạt lơ lửng lắng dần xuống đáy:

$$t = \frac{H}{V} \quad (7.2)$$

Công thức trên cho thấy, vận tốc lắng của hạt tỷ lệ nghịch với đường kính của nó. Bằng cách này có thể xác định được kích thước hạt theo thời gian lắng.

Phương pháp này hiện nay ít được sử dụng do hiệu quả kém và khá phức tạp.

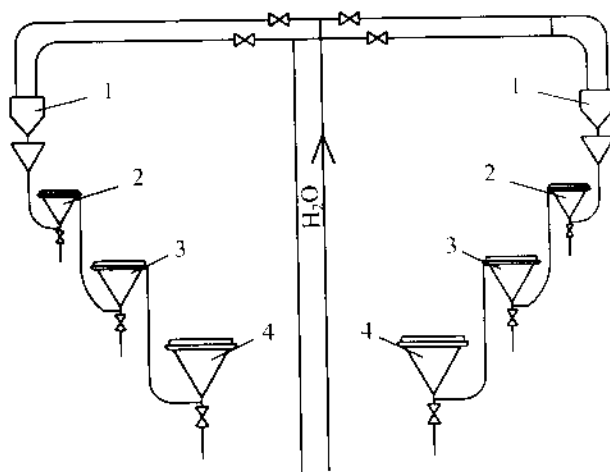
+ *Phân loại bằng phương pháp thủy động*: Phương pháp này dựa trên nguyên tắc các hạt mài có tỷ trọng như nhau nhưng có đường kính khác nhau sẽ tràn ra khỏi bình chứa với vận tốc khác nhau. Vận tốc của dòng nước chảy được xác định bằng công thức 7.1. Hình 7.1 thể hiện sơ đồ nguyên lý một thiết bị phân loại bột mài theo phương pháp thủy động. Các hạt mài cần phân loại được đổ vào thùng chứa 3 qua phễu 1. Nước được bơm vào bình chứa qua khớp nối 4 (theo chiều mũi tên). Phía dưới bình chứa có van để tháo bột và nước. Nước được bơm vào với vận tốc xác định sẽ mang các hạt có vận tốc lắng nhỏ hơn vận tốc V của dòng chảy ở phần có mặt cắt hình trụ của bể chứa. Nước cùng với hạt mài sẽ chảy theo phễu tràn 2 vào bể lắng 5. Bể lắng có tấm ngăn 6 để làm giảm cường độ dòng chảy. Sau khi hạt mài lắng xuống đáy bể lắng, nước sẽ chảy qua ngưỡng tràn 7 thoát ra ngoài. Thời gian đầu nước được bơm vào thùng chứa với vận tốc nhỏ, sau đó tăng dần. Do vậy, ban đầu những hạt có kích thước nhỏ cùng với nước tràn ra trước, rồi đến những hạt có kích thước lớn hơn.



Hình 7.1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị phân loại bột mài theo phương pháp thủy động.

Hình 7.2 thể hiện một thiết bị phân loại khác cũng dựa trên nguyên tắc thay đổi vận tốc lắng của bột trong nước. Đây là thiết bị phân loại dạng bậc thang. Diện tích phần mặt cắt hình trụ của các thùng phân loại có giá trị tăng dần. Hỗn hợp hạt mài và nước được cấp liên tục vào phễu cấp liệu 1, lần lượt chảy qua tất cả các thùng phân loại. Ở mỗi phần mặt cắt hình côn của thùng phân loại hạt mài ở trạng thái lơ lửng, sau đó lắng xuống đáy thùng. Ở phần mặt cắt hình trụ vận tốc lắng trong mỗi thùng là không đổi nhưng có giá trị khác nhau. Ở thùng thứ hai vận tốc lắng bằng vận tốc lắng của nhóm hạt cơ bản có kích thước lớn nhất. Hạt có kích thước nhỏ hơn cùng với nước chảy xuống thùng thứ 3. Ở đây vận tốc lắng có giá trị nhỏ hơn, nhóm hạt cơ bản có kích thước tương ứng bị giữ lại, các hạt có kích thước nhỏ hơn tiếp tục chảy xuống thùng thứ 4.

Thiết bị này có hai dây chuyền cùng hoạt động song song. Thời điểm dây chuyền thứ nhất tiến hành phân loại, dây chuyền thứ hai ngừng tiếp liệu mà tiếp nước để làm sạch bột đã phân loại.



Hình 7.2. Sơ đồ thiết bị phân loại bột mài theo nguyên tắc bậc thang.

Dựa vào kích thước nhóm hạt cơ bản đã được phân loại, hạt mài được chia thành ba nhóm chính: nhóm hạt mài, nhóm bột mài và nhóm bột mịn. Hạt mài được ký hiệu theo tỷ lệ phần trăm kích thước nhóm hạt cơ bản. Ví dụ: Bột M10

có kích thước nhóm hạt cơ bản đến 100 μm , bột M8 có kích thước nhóm hạt cơ bản đến 80 μm .

Đối với nhóm bột mịn có chữ “M” đặt trước chữ số thể hiện kích thước nhóm hạt cơ bản. Ví dụ, đối với bột mịn M14, nhóm hạt cơ bản có kích thước 14 μm cần chiếm tới 55%, còn các loại hạt khác như M28 không quá 3%, M20 không quá 25%, nhóm hạt M10 và M14 không ít hơn 69%, loại bột mịn M7 không quá 31%.

Ký hiệu, kích thước nhóm hạt cơ bản và phạm vi sử dụng của một số loại bột mài thể hiện trong bảng 7.4.

Bảng 7.4. Ký hiệu, kích thước nhóm hạt cơ bản và phạm vi sử dụng của một số loại bột mài

Tên nhóm bột mài	Ký hiệu hạt	Kích thước nhóm hạt cơ bản, μm	Phạm vi sử dụng
Hạt mài	25	315 - 250	Gắn trên dụng cụ gia công bằng hạt dính kết. Gia công thô bằng huyền phù.
	20	250 - 200	
	16	200 - 160	
Bột mài	12	160 - 125	Bột mài thô và trung bình.
	10	125 - 100	
	8	100 - 80	
	6	80 - 63	
	5	63 - 50	
	4	50 - 40	
	3	40 - 28	
Bột mịn	M40	40 - 28	Mài trung bình và tinh
	M28	28 - 20	
	M20	20 - 14	
	M14	14 - 10	
	M10	10 - 7	
	M7	7 - 5	
	M5	5 - 3	

7.2. VẬT LIỆU ĐÁNH BÓNG

7.2.1. Khái niệm chung về bột đánh bóng

Bột đánh bóng dùng để san phẳng các vết mài còn lại trên bề mặt thủy tinh làm cho bề mặt thủy tinh trở nên trong suốt. Do vậy, bột đánh bóng phải có khả năng nhanh chóng san phẳng các nhấp nhô bề mặt mà không gây nên các vết xước hoặc các màng mờ làm giảm độ trong suốt và tăng độ tán xạ bề mặt. Bột đánh bóng cần có một số đặc tính cơ bản để đảm bảo khả năng đánh bóng: độ cứng vào khoảng cấp 6 - 7 trong bảng độ cứng Mohr, thành phần hạt ổn định, kích thước hạt tốt nhất là từ 0,8 - 1,4 μm , không có hoặc hạn chế tối đa các tạp chất gây xước bề mặt (ví dụ SiO_2).

7.2.2. Các loại bột đánh bóng

Để san phẳng hết các nhấp nhô tế vi bề mặt chi tiết quang người ta dùng bột đánh bóng. Bột đánh bóng phải có độ cứng thấp hơn bột mài để không gây xước bề mặt, có khả năng thấm nước tốt.

Bột đánh bóng gồm một số các oxit kim loại sau:

- Oxit crom (Cr_2O_3) có màu xanh: Hạt Cr_2O_3 có kích thước khoảng 0,8 - 1,2 hoặc 0,3 - 0,4 μm , độ cứng đạt cấp 9. Thường sử dụng để đánh bóng các vật liệu có độ cứng thấp.

- Oxit sắt (Fe_2O_3) có màu đỏ: Nhận được bằng cách lắng các muối sắt, sau đó tôi biến cứng ở nhiệt độ 700°C - 800°C . Hạt oxit sắt có dạng tròn, kích thước trung bình khoảng 0,6 - 1 μm , độ cứng cấp 5 - 6. Do khả năng đánh bóng thấp hơn các loại bột đánh bóng khác nên Fe_2O_3 được dùng hạn chế hơn.

- Oxit seri (CeO_2) có màu hồng nhạt: Hạt CeO_2 có dạng tam giác với kích thước đến 5 μm . Chúng dễ bị nghiền vỡ tạo thành các mảnh vụn có cạnh sắc. Độ cứng cấp 6 - 7.

- Oxit thori (ThO_2): Hạt ThO_2 có dạng tấm với kích thước đến 10 μm . Cũng giống CeO_2 , ThO_2 giòn và dễ bị nghiền vỡ. Độ cứng cấp 6,5. Việc chế tạo ThO_2 rất khó khăn, giá thành cao, vì vậy ít được sử dụng.

Các loại bột mài và bột đánh bóng dưới dạng huyền phù được cấp gián đoạn hay liên tục vào vùng gia công.

Bảng 7.5. Khả năng đánh bóng tương đối của một số loại bột

Bột đánh bóng	Khả năng đánh bóng tương đối
Oxit crom	0,5
Oxit sắt	1,0
Oxit sery	1,5
Oxit thory	2,2
Oxit ziricon	1,0 – 2,0

Các loại bột còn được gắn lên các tấm để mỏng tạo thành các tấm mang hạt như giấy ráp. Các tấm mang hạt này được cắt thành các hình hoa thị, dán lên bề mặt dụng cụ mài hoặc đánh bóng. Khi gia công chỉ cần tiếp nước. Phương pháp này có các ưu điểm sau:

- Không cần phải pha chế huyền phù;
- Không gây ra sóng bề mặt do quá trình cấp huyền phù tạo ra;
- Việc gắn tấm mang hạt đơn giản, nhanh chóng;
- Mang những ưu điểm của phương pháp gia công bằng hạt dính kết

Tuy vậy, do khả năng đàn hồi kém, các tấm mang hạt có thể gây ra sai số hình dạng hình học trên bề mặt chi tiết gia công, do đó ít được sử dụng trong những trường hợp yêu cầu có độ chính xác rất cao.

7.3. VẬT LIỆU PHỤ

Trong công nghệ gia công thủy tinh ngoài các vật liệu mài và đánh bóng (bột mài và bột đánh bóng như đã trình bày ở trên), người ta còn sử dụng nhiều loại vật liệu khác nhau để gắn gá phôi thủy tinh lên đồ gá gia công, làm lớp đệm cho bột đánh bóng, vật liệu làm sạch và vật liệu phủ bảo vệ bề mặt chi tiết thủy tinh sau khi gia công.... Các loại vật liệu đó được gọi chung là vật liệu phụ.

7.3.1. Nhựa gắn và nhựa đánh bóng

- **Nhựa gắn:** dùng để gắn phôi thủy tinh lên đồ gá gia công. Để đảm bảo yêu cầu làm việc, nhựa gắn cần có các đặc tính sau: độ bền liên kết cao, trung hoà hoá học đối với bề mặt thủy tinh, không làm biến dạng bề mặt thủy tinh, có độ nhớt và hệ số giãn nở thể tích xác định (ở nhiệt độ 25 - 35°C nhựa gắn có độ nhớt $10^8 \div 10^{11}$ P (P - độ nhớt động lực được tính bằng Poazơ; $1P = 0,1 \text{ N.s/m}^2$).

hệ số giãn nở thể tích vào khoảng $4,3.10^{-4}$ - $4,9.10^{-4}$), dễ tách khỏi bề mặt và dễ hoà tan trong hoá chất.

Thành phần cơ bản của nhựa bao gồm: nhựa thông, sáp, parafin, nhựa cánh kiến, nhựa đường.

+ *Nhựa thông* có màu vàng nâu nhận được từ các loại cây giống lá kim bằng cách chưng cất dầu thông và một số tinh dầu khác. Ở nhiệt độ 25°C nhựa thông có độ nhớt 10^9 P và trở nên mềm ở nhiệt độ 65°C - 80°C , hoà tan trong rượu, ete, axeton và xăng. Nhựa thông có khả năng dính cao, vì vậy được dùng trong tất cả các mác nhựa gắn với tỷ lệ từ 25 - 90%. Càng tăng tỷ lệ nhựa thông, độ cứng và nhiệt độ mềm của nhựa càng tăng.

+ *Sáp ong* cũng có màu vàng nâu, không thấm nước và bền hoá học với axit, nhiệt độ nóng chảy 60°C - 70°C , hoà tan trong axeton và xăng. Tăng tỷ lệ sáp làm tăng độ dẻo của nhựa.

+ *Parafin* là chất có dạng sáp màu trắng, mềm ở nhiệt độ 48°C - 60°C , bền dưới tác dụng của kiềm và axit, hoà tan trong xăng, benzen và ete.

+ *Nhựa cánh kiến* là một loại nhựa màu vàng - da cam, nóng chảy ở nhiệt độ 45°C - 70°C , hoà tan trong kiềm và rượu, hầu như không hoà tan trong ete và xăng. Trong thành phần của một số mác nhựa, cánh kiến chiếm 40 - 50% nhằm làm tăng độ bền cơ học.

+ *Nhựa đường* có nhiệt độ mềm từ 60°C - 90°C . Trong thành phần của nhựa gắn nhựa đường chiếm gần 2% để tăng tính đàn hồi.

– *Nhựa đánh bóng*: là hợp chất có thành phần chủ yếu là nhựa thông và sáp. Nhựa đánh bóng được gắn lên dụng cụ đánh bóng trong nguyên công đánh bóng thuỷ tinh. Chúng phải mềm, có khả năng bám hạt và chảy dưới tác dụng của tải trọng. Để mở rộng khoảng nhiệt độ và tăng độ ổn định hình dáng bề mặt của dụng cụ đánh bóng, người ta thường trộn thêm mìn của vào nhựa đánh bóng.

Có thể tạo ra các loại nhựa gắn và nhựa đánh bóng có các đặc tính như nhiệt độ mềm, độ nhớt..., khác nhau tùy theo yêu cầu sử dụng. Các loại nhựa được pha trộn các thành phần theo một tỷ lệ thích hợp và được gắn mác tương ứng. Có thể tham khảo tỷ lệ thành phần của một số mác nhựa gắn và nhựa đánh bóng theo bảng 7.6.

Bảng 7.6. Tính chất và thành phần một số nhựa gắn và nhựa đánh bóng

Kiểu nhựa	Mác nhựa	Nhiệt độ chảy dẻo	Tỷ lệ các thành phần, %						
			Nhựa đường	Nhựa thông	Dầu thông	Sáp ong	Cánh kiến	Hoạt thạch	Graphit
Nhựa gắn	CH-5	70 – 80	25	50	5	–	–	20	–
	CH-6-1	70 – 80	12	80	5	3	–	–	–
	CH-7	80 – 90	20	40	–	–	40	–	–
	CH-8	80 – 90	7	43	–	–	50	–	–
	CH-9	80 – 90	3	51	–	–	46	–	–
	CH-11	90 – 100	9,3	44,7	–	–	–	36	10
	CH-12	100 – 110	10	45	–	–	–	25	20
Nhựa đánh bóng	СП-1	–	100	–	–	–	–	–	–
	СП-2	–	79	20	–	1	–	–	–
	СП-3	–	69	30	–	1	–	–	–
	СП-4	–	59	40	–	–	–	–	–
	СП-5	–	45	50	5	–	–	–	–
	СП-6	–	35	60	5	–	–	–	–
	СП-7	–	25	70	5	–	–	–	–

Người ta còn chế tạo nhựa gắn bằng một hợp chất kim loại có nhiệt độ nóng chảy thấp, chỉ khoảng 70 - 90°C. Hợp chất này được nấu chảy, sau đó được ép theo khuôn thành đế gá trên đó gắn chi tiết gia công. Sau khi gia công xong, đế gá cùng chi tiết được thả vào thùng có chứa nước nóng ở nhiệt độ nóng chảy của vật liệu đế gá và chi tiết được lấy ra dễ dàng.

7.3.2. Sơn bảo vệ

Sau khi gia công xong, người ta thường phủ một lớp sơn để bảo vệ bề mặt chi tiết thủy tinh khỏi bị các vết xước trong quá trình bảo quản, vận chuyển. Sơn bảo vệ thường bao gồm nhựa cánh kiến, nhựa fenolfomaldehit, bột màu hitro, để có độ dính bám tốt vào bề mặt thủy tinh, đồng thời lại dễ hoà tan trong dung môi khi làm sạch.

Chi tiết thủy tinh cần được rửa sạch và lau khô trước khi sơn, sau đó sơn bằng chổi lông hoặc súng phun sơn.

7.3.3. Chất lỏng làm sạch và chất hoà tan

Chi tiết sau khi gia công cần được làm sạch khỏi các chất bẩn còn lại trên bề mặt như bột mài, bột đánh bóng, nhựa gắn, sơn bảo vệ,... Chất lỏng làm sạch cần có các đặc điểm: nhanh chóng hoà tan nhựa gắn, sơn bảo vệ, không chứa các tạp chất hoà tan có thể làm bẩn hoặc gây nên tác động làm hỏng bề mặt thủy tinh đã đánh bóng, không có tính độc,...

Các chất lỏng chính được dùng trong các công đoạn khác nhau của quá trình gia công thủy tinh có thể là:

- Nước sạch để rửa sạch bột mài và bột đánh bóng;
- Dung dịch kiềm để hoà tan nhựa gắn và sơn bảo vệ: dung dịch NaOH và KOH có thể hoà tan sáp, parafin, nhựa gắn, sơn bảo vệ,...
- Các dung dịch hữu cơ như xăng, axeton, rượu ete,... có thể hoà tan nhựa thông, sáp, nhựa cánh kiến,... Vì vậy, chúng được dùng để hoà tan nhựa gắn và sơn bảo vệ.

Chương 8

ĐIỀU CHỈNH MÁY VÀ CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ

8.1. NHIỆM VỤ ĐIỀU CHỈNH

Điều chỉnh quá trình gia công nhằm đạt hiệu suất lớn nhất có thể trong một điều kiện công nghệ nhất định. Có nghĩa là nhiều chi tiết gia công đạt yêu cầu trong một thời gian ngắn nhất.

Phương tiện để điều chỉnh là hình dạng hình học của bề mặt dụng cụ và các yếu tố điều chỉnh máy. Tác dụng của các yếu tố công nghệ khác như: sự phân bố huyền phù mài, nhiệt độ, biến dạng dẻo, phân bố áp lực trên một phần tử diện tích v.v... theo kinh nghiệm sản xuất được xem như là ổn định theo thời gian và phân bố đồng đều trên bề mặt nghiền.

Nhiệm vụ điều chỉnh cần được tiến hành theo ba giai đoạn:

- Chọn dạng hình học bề mặt dụng cụ và điều chỉnh máy để đạt độ chính xác gia công đã đề ra.
- Tăng cường chế độ gia công (tăng cường độ mài mòn bề mặt gia công)
- Ổn định điều chỉnh máy và chế độ gia công tăng cường. Tiến tới gia công theo phương pháp tự động đạt kích thước và hình dạng bề mặt khi kiểm tra định kỳ theo thời gian.

Các phân tích dưới đây chủ yếu dành cho các máy mài - đánh bóng sử dụng cơ cấu đòn - bàn lê (sơ đồ nguyên lý đã được trình bày ở phần 5.3).

8.2. CÁC YẾU TỐ ĐIỀU CHỈNH MÁY

Dựa theo các tài liệu thống kê, kinh nghiệm và các công trình khoa học. tiến hành khảo sát các yếu tố điều chỉnh đối với máy mài - đánh bóng.

8.2.1. Tỷ số giữa đường kính khâu trên và khâu dưới khi bề mặt dụng cụ gia công diễn đầy hoàn toàn

Tỷ số này thường được chọn trong khoảng: $D_2/D_1 \approx 0,8 \div 1,4$

trong đó: D_2 - đường kính khâu trên;

D_1 - đường kính khâu dưới.

Thường sử dụng nhất: $D_2/D_1 \approx 1$, khi đánh bóng thường dùng $D_2/D_1 \leq 1,2$.

Sự thay đổi tỷ số D_2/D_1 gây ra sự thay đổi đáng kể hệ số phù ở miền biên, ví dụ:

- Khi $D_2/D_1 > 1$ nếu phôi ở dưới dụng cụ ở trên sẽ phát sinh hiện tượng mẻ rìa.

- Khi $D_2/D_1 < 1$ nếu khâu trên không lắc vượt quá khỏi khâu dưới thì miền biên không được gia công, do đó xuất hiện sai số hình dạng ở mép chi tiết.

Việc lựa chọn tỷ số giữa đường kính khâu trên và khâu dưới rất có tác dụng đối độ chính xác hình dạng hình học bề mặt gia công. Sai số hình học do chọn không đúng kích thước các khâu sẽ không thể sửa đúng bằng sự điều chỉnh máy.

8.2.2. Thay đổi vị trí khâu dưới lên trên gây ra sự thay đổi hướng mài mòn bề mặt gia công

Ví dụ: Bề mặt lỗi khi đặt ở dưới thì bị mài mòn theo hướng giảm bán kính cong. Nếu lại chuyển nó lên trên và đưa dụng cụ xuống dưới thì bề mặt bị mài mòn theo hướng ngược lại làm tăng bán kính cong bề mặt. (Tuy nhiên điều này còn phải xét trong mối tương quan với tỷ lệ đường kính giữa khâu trên và khâu dưới và hành trình lắc của khâu trên so với khâu dưới).

8.2.3. Thay đổi độ lệch tâm của tâm khâu trên so với tâm khâu dưới (tâm trục chính)

Độ lệch tâm có thể lựa chọn trong khoảng:

$$e = (0,1 \div 0,65) D_1/2 ,$$

trong đó e - khoảng lệch tâm của tâm khâu trên so với tâm khâu dưới.

Khi tăng độ lệch tâm thì tăng tốc độ mài mòn ở miền biên của khâu dưới và miền tâm của khâu trên. Lúc đó trong miền $D_1/2 = e$ có thể xuất hiện sai số cục bộ.

8.2.4. Chiều dài hành trình lắc của khâu trên khi lắc đối xứng

Chiều dài hành trình lắc thay đổi trong giới hạn:

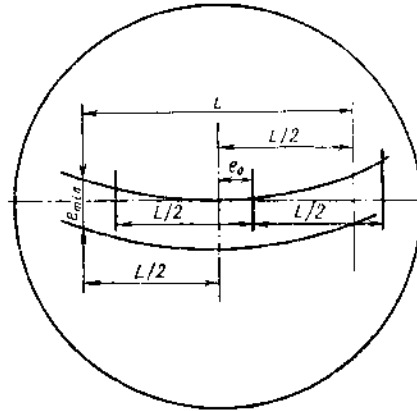
$$2e_{\max} = L = (0,25 \div 0,6) D_1$$

Chiều dài hành trình lắc tỷ lệ với chiều dài tay quay, đồng thời phụ thuộc vào tỷ số D_2/D_1 , với D_1 lớn hơn thì L cũng phải lớn hơn.

Nếu tăng L và tỷ số D_2/D_1 thì tăng cường độ gia công và phân bố công nghiêng trong vùng tiếp xúc của bề mặt được làm đều hơn. Nhưng như vậy lại tăng lực động học của máy.

8.2.5. Vị trí tương đối của quỹ đạo hành trình lắc so với tâm trục chính

Vị trí của quỹ đạo có thể lệch so với tâm trục chính theo phương chuyển động một khoảng e_0 và theo phương vuông góc với quỹ đạo một khoảng $e_{\min}$. Các giá trị e_0 và $e_{\min}$ có thể đến $0,25e_{\max}$ (hình 8.1).



Hình 8.1. Sơ đồ phân bố hành trình lắc.

Ảnh hưởng của e_0 , $e_{\min}$ và sự phối hợp giữa chúng khó xác định được bằng tính toán. Tuy vậy, thực tế cho thấy dịch chuyển quỹ đạo trong giới hạn $0,1e_{\max}$ sẽ không làm thay đổi kết quả gia công.

8.2.6. Sự thay đổi tần số quay n_1 của trục chính khi khâu trên quay tự do

Khi thay đổi tần số quay n_1 của trục chính sẽ làm thay đổi tương ứng tần số quay n_2 của khâu trên. Tỷ số giữa chúng thay đổi trong khoảng:

$$\frac{n_2}{n_1} \approx 0,6 \div 0,9$$

Giới hạn dưới dùng khi đánh bóng, giới hạn trên dùng khi mài.

Khi khâu trên quay tự do thì sự phân bố vận tốc trong các miền của bề mặt nghiêng là đồng đều nhất và vận tốc tương đối của nghiêng là bé nhất. Điều này là không có lợi cho việc tăng năng suất gia công. Khi tăng tần số quay của trục chính thì tăng cường độ gia công. Tuy vậy tần số này cũng không thể quá lớn, vì như vậy sẽ làm tăng lực động học máy, đồng thời làm văng hạt làm giảm hiệu quả gia công và tăng tổn hao bột mài.

8.2.7. Sự thay đổi tần số quay trục chính và của tay quay

Tỷ số giữa tần số quay của tay quay n và của trục chính n_1 thay đổi trong giới hạn:

$$\frac{n}{n_1} = 0,5 \div 2,5$$

Thường sử dụng $\frac{n}{n_1} = 1$. Tăng tỷ số $\frac{n}{n_1}$ sẽ tạo khả năng san phẳng chỗ lồi ở tâm bề mặt gia công của phôi. Tuy vậy, khi sử dụng $\frac{n}{n_1} \approx 2,5$ sẽ không có lợi, vì lúc đó sẽ làm tăng n và do vậy sẽ làm tăng lực động học của máy.

Tỷ số $\frac{n}{n_1}$ có thể tăng bằng cách giảm tần số quay n_1 của trục chính. Khi đó sự phân bố cường độ gia công trên các miền của bề mặt nghiêng sẽ là đồng đều, nhưng cường độ gia công lại giảm.

Các phương án điều chỉnh một vài thông số nào đó đã nêu trên thực chất không ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt và những khuyết tật của bề mặt gia công.

8.2.8. Thay đổi tần số quay cường bức của khâu trên cùng chiều và ngược chiều đối với trục chính

Sự thay đổi này xảy ra trong giới hạn $\frac{n_2}{n_1} = 2 \div -2$.

Sự hạn chế quay tự do sẽ làm tăng cường độ gia công. Với dụng cụ gia công có bề mặt làm việc hoàn toàn diện đầy thì sẽ làm tăng tốc độ nghiêng ở miền biên hơn so với trường hợp quay tự do.

Khi $\frac{n_2}{n_1} \approx 2$ đặc biệt khi $\frac{n_2}{n_1} = -2$ (khâu trên quay ngược chiều khâu dưới) sẽ tạo vết phân cách ở biên của phôi.

Thay đổi điều hoà n_2 hoặc n_1 có sự kết hợp với hình dạng hình học khuyết của dụng cụ là phương pháp tốt nhất để điều khiển quá trình tạo hình của bề mặt chi tiết.

Bằng cách chọn hình dạng hình học khuyết phù hợp của dụng cụ và điều chỉnh máy theo η , c_{max} , n_2/n_1 ($n_2 < 0$ hoặc $n_2 > 0$) có thể đạt được sự ổn định của quá trình tạo hình bằng mài nghiêng và đánh bóng.

Điều này cho phép thay việc gia công thủ thành việc gia công có điều chỉnh sơ bộ máy để tự động đạt kích thước với sai số cho phép.

Như vậy sẽ làm giảm thời gian phụ và làm tăng năng suất gia công.

8.3. CÁC YẾU TỐ LÀM TĂNG CƯỜNG ĐỘ GIA CÔNG

Sau khi chọn dạng hình học bề mặt dụng cụ và điều chỉnh máy với chế độ gia công trung bình nào đó thì phải tăng cường độ gia công nhằm tăng năng suất. Để đạt được mục đích đó phải thay đổi các thông số công nghệ của quá trình gia công:

- Tăng độ rắn của vật liệu gia công (bột mài hoặc bột đánh bóng) làm tăng khối lượng thủy tinh bị bào mòn.

- Tăng kích thước hạt làm tăng tỷ lệ lượng thủy tinh bị bào mòn. Đối với bước mài thô đầu tiên dùng kích thước hạt mài được khoảng 150 μm sẽ cho chiều sâu phá huỷ hợp lý.

Ở tất cả các bước còn lại thì kích thước hạt được xác định từ kích thước hạt ở nguyên công trước đó. Khả năng tăng cường độ mài mòn bị hạn chế do phải giảm dần kích thước hạt nhằm giảm dần chiều sâu của các nhấp nhô và lớp rạn nứt.

- Sử dụng nồng độ huyền phù hợp lý: tỷ lệ huyền phù (tỷ lệ giữa chất lỏng và chất rắn) được coi là hợp lý khi $\tau = 3 \div 6$ (xem chương 4).

Khi đánh bóng nồng độ hợp lý sẽ là: $\tau = 5 \div 7$.

- Tăng lưu lượng huyền phù chảy vào bề mặt gia công sẽ làm tăng cường độ gia công khi có kèm theo các điều kiện gia công tăng cường.

Lưu lượng huyền phù còn phải tương ứng với công tiêu hao trên máy. Vì vậy nó cũng cần phải hợp lý. Ảnh hưởng của nó đến cường độ gia công có thể mô tả như sơ đồ ảnh hưởng của nồng độ huyền phù.

Lưu lượng nhỏ quá sẽ làm xước bề mặt gia công, lớn quá sẽ xuất hiện áp lực thủy tĩnh gây sai số hình dạng hình học bề mặt.

8.4. CHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC GIA CÔNG BỀ MẶT QUANG

8.4.1. Trình tự tính toán

Tính toán chương trình động học là việc làm cần thiết nhằm thiết lập phương án điều chỉnh hợp lý đối với máy và hình dạng hình học của dụng cụ trong quá trình công nghệ sản xuất hàng loạt hoặc sản xuất đơn chiếc những chi tiết lớn.

Để tính toán chương trình động học người ta sử dụng bảng giá trị hệ số phụ S và hệ số vận tốc V .

Quá trình tính toán bắt đầu từ việc xác định hệ số phụ S hoặc $\bar{S}$ các miền vành của bề mặt gia công với dụng cụ có hình dạng chọn trước.

Nếu phôi được gán trên bloc thì nhiều miền của nó không được thủy tĩnh điền đầy hoàn toàn và nếu sử dụng dụng cụ dạng vành thì một số miền của nó không được kim loại (dụng cụ) hoặc nhựa điền đầy hoàn toàn. Trường hợp này các tính toán phải tính đến những miền vành có hệ số điền đầy $\eta = 0$.

Khi tính hệ số phụ các miền vành của khâu dưới bằng dụng cụ dạng chân đế S_R hoặc $\bar{S}_R$ cần nhân thêm hệ số điền đầy của miền tương ứng của dụng cụ.

Khi tính hệ số phụ S_R hoặc $\bar{S}_R$ của các miền dụng cụ, giá trị S cũng phải nhân thêm hệ số điền đầy của vành tương ứng của bloc phôi.

Trong gia công thực tế người ta thường đặt bloc phôi ở khâu trên hoặc khâu dưới nhưng sơ đồ phân bố S_T hoặc S_R vẫn không thay đổi.

Bước hai là tính toán sự phân bố giá trị của vận tốc V_T hoặc $\bar{V}_R$. Ảnh hưởng của việc điều chỉnh máy đến việc phân bố vận tốc làm việc trung bình của các miền vành phôi phụ thuộc vào các hệ số V_T hoặc $\bar{V}_R$.

Sự thay đổi của các thông số điều chỉnh máy tác dụng làm đều sự phân bố lại của cường độ gia công trên tất cả các miền vành của phôi được phủ bởi dụng cụ gia công.

Sau cùng người ta tính chương trình động học gia công bằng tích $S_T \cdot V_T$ hoặc $\bar{S}_R \cdot \bar{V}_R$.

Thành lập các chương trình động học khác nhau kết hợp với sơ đồ phân bố lượng dư cho phép kết luận tính hợp lý của việc điều chỉnh và chọn hình dạng hình học của dụng cụ.

Chương trình động học gia công là cơ sở kỹ thuật của việc tính toán quá trình gia công bề mặt làm việc của chi tiết quang bằng mài nghiền và đánh bóng.

8.4.2. Một số ví dụ tính toán chương trình động học

Cho đường kính chi tiết $D_1 = 100$ mm và bán kính bề mặt đánh bóng $R = 300$ mm. Phôi sau khi mài bằng hạt M14 có sai lệch bán kính cong $N = -4$ so với bề mặt đã cho. Phôi đặt ở khâu dưới gia công từng chiếc; dụng cụ đánh bóng có đường kính $D_2 = 90$ mm được dẫn dắt bằng lớp nhựa đánh bóng và được đặt ở khâu trên. Máy gia công kiểu MB (mài - đánh bóng). Các thông số khác không tham gia vào quá trình tính toán vì ở đây chỉ xác định sự phân bố cường độ gia công chứ không phải giá trị tuyệt đối của nó. Yêu cầu nhận được bề mặt sau đánh bóng với $N = 0$.

Sơ đồ phân bố lượng dư được xác định sao cho độ không đồng đều của chiều dày lớp lượng dư là $1 \mu\text{m}$. Lượng dư này cần lấy đi sau nguyên công đánh bóng.

Sự mài mòn trên tất cả các miền vành của phôi sẽ là đồng đều nếu như nhận được chương trình động học gia công: $S_r, V_r = \text{const}$.

Lấy nửa đường kính phôi $D_1/2$, tốc độ góc ω_1 và vận tốc thẳng ở khâu dưới $V(r_1 = 0)$ làm tỷ lệ so sánh. Khi đó theo đơn vị tương đối $D_1/2 = 1$ thì $D_2/2 = 0,9$.

Tiến hành tính toán chương trình động học với các giá trị khác nhau của các thông số hình học của dụng cụ và điều chỉnh máy.

Ví dụ 1: Các thông số điều chỉnh máy:

Tần số quay của trục chính $n_1 = 50 \text{ vg/ph}$ ($\omega_1 = 5,24 \text{ rad/s}$). Độ lệch tâm của tâm quay khâu trên so với tâm quay khâu dưới (có mang phôi) $e = 20$ mm hoặc trong đơn vị tương đối $e = 0,4$ dụng cụ đánh bóng ở khâu trên quay tự do không đều. Theo kinh nghiệm thực tế chọn $\omega_2 = 0,75 \cdot \omega_1$. Vector vận tốc tương đối hướng về một phía, hầu như song song và có giá trị giống nhau.

Như vậy đối với tất cả các miền vành $r_1 = 0 \div 1$ giá trị hệ số vận tốc $V(r)$ giống nhau và bằng:

$$V(r_1 = 0) = 0.4 \times 0.75 = 0.3$$

Tính chương trình động học gia công:

Xác định giá trị S của miền r_1^i trên bề mặt gia công.

Giá trị $S(r_1^i)$ tính từ bảng của phụ lục 1 theo các dòng và cộng theo các miền vành của dụng cụ từ 0 đến 1.

$$S_{r_1} = \sum_{i=0}^m S(r_1^i)$$

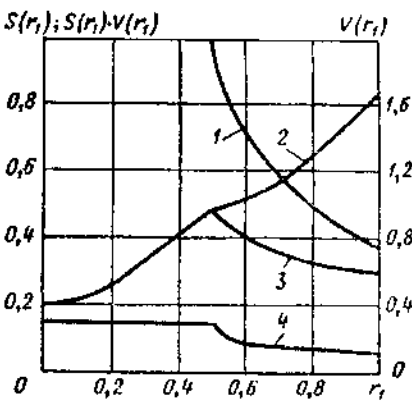
ở đây: m - số miền vành của dụng cụ.

Các giá trị tính toán được cho trong bảng 8.1

Bảng 8.1. Các giá trị S_{r_1}

r_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
S_{r_1}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,59	0,54	0,41	0,35

Phân bố giá trị S_{r_1} cho thấy, miền $r_1 = 1$ theo thời gian được gia công ít hơn khoảng 2,5 lần so với miền tâm $r_1^i = 0,0 \div 0,50$ (hình 8.2).



Hình 8.2. Chương trình gia công khi $e = \text{const.}$

Khi khâu trên quay tự do thì chương trình động học $S_{r_1} \cdot V_{r_1}$ được coi tương tự như hàm S_{r_1} nhưng với hệ số vận tốc $V_{r_1} = 0,3$ khi $r_1 = 0 : 1$ (hình 8.2).

Vận tốc tương đối trong tất cả các miền có giá trị nhỏ nhất, vì vậy kết cấu máy với khâu trên quay tự do là không có lợi.

Trong miền $r_1 = 0,5$ xuất hiện đường cong gây khúc và ở đó có khả năng xuất hiện sai số hình dạng ΔN .

Ví dụ 2:

Để phù hợp với yêu cầu làm đều tích $S_{r_1} \cdot V_{r_1}$ đối với tất cả các miền, cần phải tăng giá trị của tích ở vùng biên của phôi. Để tăng cường độ gia công cần tăng giá trị hệ số vận tốc (V_r). Sử dụng dụng cụ đánh bóng ở khâu trên quay cưỡng bức ngược với hướng quay của trục chính mang phôi với tần số $n = -50$ vg/ph, ($\omega_2 = -5,24$ rad/s). Để tính toán, sử dụng số liệu của ví dụ 1. Giá trị S_{r_1} như trong ví dụ 1 (hình 8.2), giá trị vận tốc tương đối ở tâm khâu dưới (không có thứ nguyên) là:

$$V_{r_1}^{td} = |\omega_2|e = 1 \times 0,4 = 0,4$$

Giá trị hệ số vận tốc V_r xác định khi $e = 0,4$ và $n_2/n_1 = -1$ theo bảng ở phụ lục 3.

Giá trị $\sum_{i=0}^m V_{r_i}$ và tích số $S_{r_i} \cdot V_{r_i}$ theo các miền vành cho trong bảng 8.2.

Bảng 8.2. Bảng giá trị $\sum_{i=0}^m V_{r_i}$ và tích số $S_{r_i} \cdot V_{r_i}$

r_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\sum_{i=0}^m V_{r_i}$	0,42	0,42	0,49	0,59	0,73	0,95	1,09	1,25	1,41	1,56	1,72
$S_{r_i} \cdot V_{r_i}$	0,40	0,42	0,49	0,59	0,73	0,95	0,77	0,74	0,76	0,64	0,60

Kết quả tính toán cũng được biểu thị trên hình 8.2. Giá trị S_{r_1} (đường cong 1) và giá trị của V_{r_1} (đường cong 2) và tích của chúng $S_{r_1} \cdot V_{r_1}$ (đường cong 3). Chương trình động học gia công $S_{r_1} \cdot V_{r_1}$ trên các miền vành r_1 phân bố không

đều, lớn nhất trên miền $0,4 \div 0,6$ nhỏ nhất ở tâm (hình 8.2). Sở dĩ như vậy là do sự phân bố không đều của hệ số phủ và hệ số vận tốc.

Chỗ gãy khúc đáng kể của đường cong $S_{r_1} \cdot V_{r_1}$ có thể gây ra sai số hình dạng. Như vậy cần tiếp tục làm đều lượng mài mòn trên các miền. Cường độ gia công nhìn chung tăng gần gấp 2 lần khi khâu trên quay ngược chiều khâu dưới.

Ví dụ 3:

Làm đều chương trình động học gia công trên các miền bằng cách dịch chuyển khâu trên.

Điều chỉnh máy sao cho khâu trên dịch chuyển (lắc) đối xứng qua tâm:

$$e_{\max} = L/2 = 0,4 \text{ với vận tốc quay của tay quay: } \omega = 2,6 \text{ rad/s.}$$

Các số liệu khác sử dụng theo ví dụ 2.

Giá trị S_{r_1} của các miền trên phối được tính từ bảng phụ lục 2 được xác định khi khâu trên dịch chuyển với $e_{\max} = 0,4$.

Tính toán giá trị $\bar{V}_{r_1}$ sử dụng các bảng của phụ lục 3, gần bằng giá trị trung bình số học từ V_r đối với $\tau = 0,25$ và $\tau = 0,75$. Tính được:

$$e_{\tau} = 0,25 = e_{\max} \cdot \sin \frac{\pi \cdot \tau}{2} = 0,4 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 0,25}{2} \approx 0,15$$

$$e_{\tau} = 0,75 = e_{\max} \cdot \sin \frac{\pi \cdot \tau}{2} = 0,4 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 0,75}{2} \approx 0,37$$

Các giá trị S_{r_1} cho trong bảng 8.3.

Bảng 8.3. Bảng các giá trị S_{r_1}

r_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
S_{r_1}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,74	0,6	0,47	0,31

Trích từ phụ lục 3 để nội suy:

$V_{e=0,1}$	0,14	0,17	0,38	0,58	0,78	0,99	1,19	1,39	1,59	1,74	0
$V_{e=0,2}$	0,27	0,23	0,35	0,57	0,78	0,99	1,19	1,38	1,56	1,69	1,84
$V_{e_{\max}=0,4}$	0,28	0,31	0,42	0,58	0,75	0,97	1,14	1,31	1,49	1,63	1,32

Sau khi nội suy tìm được:

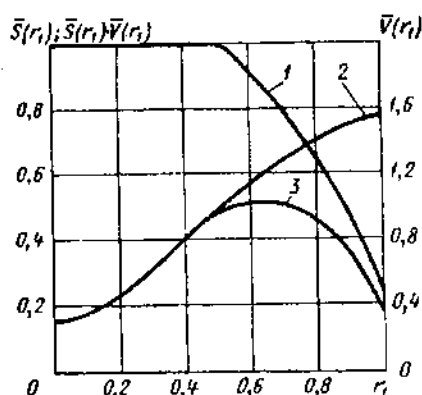
$V_{e=0,15}$	0,20	0,20	0,36	0,57	0,78	0,99	1,19	1,38	1,57	1,71	0,92
$V_{e=0,37}$	0,39	0,42	0,49	0,59	0,73	0,95	1,09	1,25	1,41	1,56	1,72

Sau đó xác định trung bình số học từ $V_{e=0,15}$ và $V_{e=0,37}$ tìm được:

$\overline{S_{r_1}}, \overline{V_{r_1}}$	0,28	0,31	0,42	0,58	0,75	0,97	1,04	0,97	0,89	0,76	0,41
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Đưa kết quả tính toán chương trình động học gia công khi dịch chuyển khâu trên với $e_{\max}=0,4$ (hình 8.3) lên sơ đồ ta thấy:

S_{r_1} - đường cong 1, V_{r_1} - đường cong 2, $\overline{S_{r_1}}, \overline{V_{r_1}}$ - đường cong 3.



Hình 8.3. Chương trình gia công khi dịch chuyển khâu trên.

Từ kết quả tính toán nhận thấy rằng: khi dịch chuyển khâu trên và không dịch chuyển khâu trên thì mức độ không đồng đều của biểu đồ động học gia công của các miền vành khác nhau rất ít.

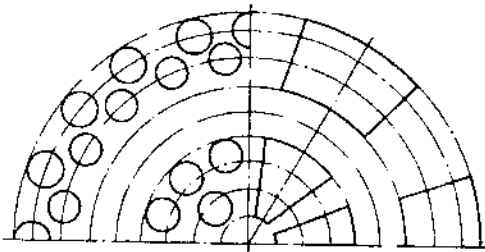
Đồng thời cũng nhận thấy rằng chỗ gãy của đồ thị đường cong 3 giảm đi đáng kể và do đó cũng giảm xác suất xuất hiện sai số cục bộ trong miền $r_1=0.5$.

Cường độ gia công cũng được tăng lên nhờ tác động bổ sung của vận tốc dịch chuyển khâu trên.

Qua các ví dụ 1 đến 3 thấy rằng để làm đều chương trình động học gia công mà chỉ thay đổi các thông số điều chỉnh máy thì chưa đủ. Để thay đổi chương trình động học cần thay đổi hình dạng hình học của diện tích dụng cụ, điều đó sẽ ảnh hưởng đến cả S_{r_l} và đến V_{r_l} .

Ví dụ 4:

Để làm đều chương trình động học gia công ta sử dụng dụng cụ có hình dạng chân đế (trụ hoặc giẻ quạt) (hình 8.4). Giá trị của các thông số điều chỉnh máy như trong ví dụ 3: $e_{max} = 0,4$; $\omega = 0,5\omega_1$ và $\omega_2 = \omega_1$.



Hình 8.4. Hình dạng dụng cụ hình giẻ quạt.

Với diện tích hình học bề mặt dụng cụ (dạng khuyết) hệ số diện đầy bề mặt trên các miền vành phân bố như sau:

$R_1 - R_2$	$0,0 \div 0,1$	$0,1 \div 0,2$	$0,2 \div 0,3$	$0,3 \div 0,4$	$0,4 \div 0,5$	$0,5 \div 0,6$	$0,6 \div 0,7$	$0,7 \div 0,8$	$0,8 \div 0,9$
η_R	0,00	0,34	0,38	0,40	0,00	0,00	0,27	0,45	0,55

Hình dạng của dụng cụ được chia sao cho giá trị của S_{r_l} và đến V_{r_l} giảm ở giữa và tăng ở miền biên và miền tâm.

Các giá trị của $\bar{S}_{r_l}$ được xác định theo bảng phụ lục 2 khi $e_{max} = 0,4$ đối với các vành dụng cụ có $\eta_R > 0$.

Ví dụ, đối với miền $r_1 = 0,4$.

$R_1 - R_2$	$0,1 \div 0,2$	$0,2 - 0,3$	$0,3 - 0,4$	$0,6 - 0,7$	$0,7 - 0,8$
$S_{r_l} = 0,4$	0,07	0,11	0,18	0,13	0,09
$\eta_R \cdot S_{r_l}$	0,02	0,04	0,08	0,04	0,04

Miền $0,8 \div 0,9$ khi $e_{\max} = 0,4$ không phủ miền $r_1 = 0,4$ và do đó $\sum_{0,8}^{0,9} S_{(r_1=0,4)} = 0$.

Ta có:
$$\sum_{0,8}^{0,9} S_{(r_1=0,4)} \cdot \eta_R = 0,22.$$

Tương tự như vậy, tính giá trị $\sum_{0,8}^{0,9} S_{r_1} \cdot \eta_R$ đối với các miền vành $r_1^i = 0$, ta được:

r_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\sum_{0,8}^{0,9} S_{r_1} \cdot \eta_R$	0,37	0,28	0,25	0,23	0,22	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06

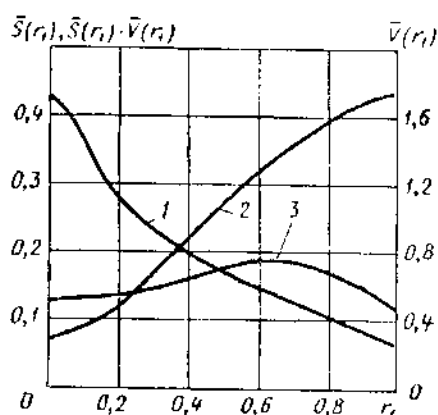
Hệ số vận tốc V_{r_1} cũng tính tương tự như ví dụ 3, ta có:

R	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$V_r (e=0,1)$	0,18	0,23	0,38	0,53	0	1,04	1,19	1,39	1,59	1,74
$V_r (e=0,2)$	0,27	0,23	0,35	0,52	0,69	0,99	1,29	1,38	1,56	1,69
$V_r (e=0,15)$	0,23	0,23	0,36	0,52	0,35	1,03	1,24	1,38	1,56	1,71
$V_r (e=0,37)$	0,39	0,42	0,49	0,59	0,73	0,95	1,09	1,25	1,41	1,54
$V_r (e_{\max}=0,4)$	0,31	0,33	0,42	0,56	0,54	0,99	1,15	1,31	1,49	1,63
$S_r \cdot V_{r_1}$	0,113	0,083	0,105	0,127	0,119	0,171	0,172	0,157	0,149	0,13

Với kết quả tính toán được thiết lập các đồ thị biểu diễn $\bar{S}_{r_1}$ (đường cong 1);

$\bar{V}_{r_1}$ (đường cong 2) và $\bar{S}_{r_1} \cdot \bar{V}_{r_1}$ (đường cong 3) theo hình 8.5.

Từ đồ thị nhận thấy: sự thay đổi dạng hình học bề mặt dụng cụ là hiệu quả nhất đối với sự phân bố lại chương trình động học gia công trên các miền vành của bề mặt chi tiết.



Hình 8.5. Chương trình gia công dụng cụ dạng giẻ quạt.

Trong ví dụ 4 đã tính được $\bar{S}_{r_i} \cdot \bar{V}_{r_i} \approx \text{const}$ với sai số $\Delta \bar{S}_{r_i} \cdot \Delta \bar{V}_{r_i} \leq 20\%$. Nghĩa là tốt gấp gần 10 lần so với các ví dụ 1, 2, 3.

Nếu giảm hệ số dẫn đẩy trong miền 0,6 – 0,8 hoặc tăng lên ở miền 0,2 ÷ 0,4 thì có thể làm đều hơn chương trình động học gia công.

Để làm đều chương trình động học thì đầu tiên có thể tiến hành gia công thử để xác định ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến sự thay đổi độ cong của bề mặt gia công và sau đó nếu cần thì làm chính xác thêm chương trình động học.

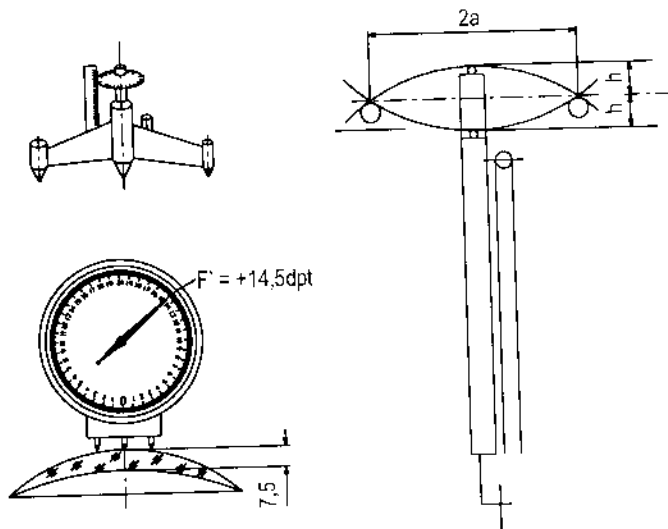
Chương 9

ĐO VÀ KIỂM TRA CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC CHI TIẾT QUANG

Quá trình công nghệ chế tạo chi tiết quang là nhằm đảm bảo các thông số hình học của chúng, sau khi vật liệu đã được lựa chọn. Vì vậy, trong quá trình gia công cần có các phương tiện và phương pháp đo lường, kiểm tra các thông số đó. Các thông số hình học của chi tiết quang muốn đề cập ở đây là độ thẳng và độ phẳng đối với bề mặt phẳng và bán kính cầu và độ cầu đối với bề mặt cầu. Đây là những thông số quyết định chất lượng tạo ảnh của chi tiết quang. Để kiểm tra các thông số này có nhiều phương pháp. Ở đây chỉ trình bày một số phương pháp thường được sử dụng.

9.1. KIỂM TRA BÁN KÍNH CẦU VÀ ĐỘ CẦU BẰNG CẦU KẾ

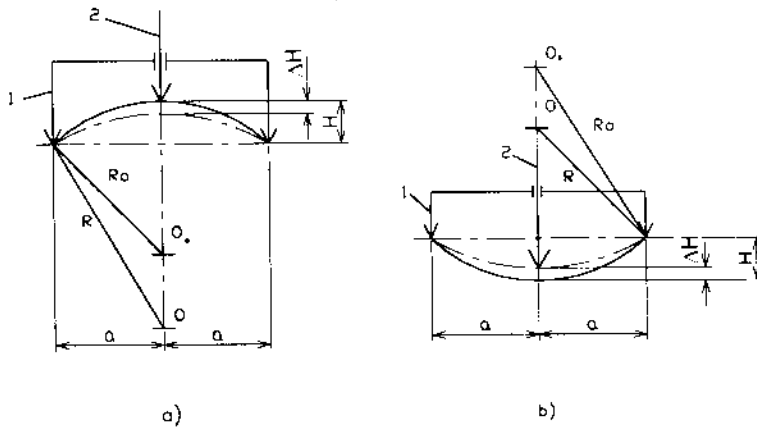
Cầu kế là một trong những dụng cụ được dùng phổ biến nhất để xác định bán kính cầu và độ cầu chi tiết quang đo có kết cấu đơn giản, dễ sử dụng. Hình 9.1. thể hiện một số loại cầu kế thông dụng.



Hình 9.1. Một số loại cầu kế thông dụng.

Dụng cụ này dựa trên nguyên tắc qua bốn điểm không thẳng hàng có thể xác định được một mặt cầu duy nhất. Xác định được biến thiên toạ độ của một trong bốn điểm sẽ xác định được biến thiên bán kính của mặt cầu.

Theo nguyên tắc đó, cầu kế gồm vành chuẩn 1, ở giữa gắn dụng cụ đo chuyển vị 2, thường là một đồng hồ so 0,01 mm hoặc 0.001 mm (hình 9.2).



Hình 9.2. Sơ đồ nguyên lý đo khi dùng cầu kế:

a) khi đo mặt cầu lõm; b) khi đo cầu mặt lồi.

Đặt cầu kế lên bề mặt chi tiết cần đo, sau khi đã chỉnh “0” dụng cụ đo so với mặt phẳng chuẩn, bán kính chi tiết được xác định theo công thức:

$$R = \frac{1}{2} \left(H + \frac{a^2}{H} \right) \quad (9.1)$$

Nếu chỉnh “0” dụng cụ đo so với bề mặt cầu chuẩn, sẽ xác định được sai lệch bán kính:

$$\Delta R = \frac{1}{2} \left(\frac{a^2}{H^2} - 1 \right) \cdot \Delta H \approx \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}}} \right)^{-1} \cdot \Delta H \quad (9.2)$$

trong đó: R - bán kính mặt cầu cần đo;

a- bán kính vành chuẩn của cầu kế;

H - chuyển vị của đầu đo so với mặt phẳng chuẩn;

ΔH - chuyển vị của đầu đo so với mặt cầu chuẩn.

Theo nguyên lý làm việc nêu trên, cầu kế có hệ số chuyển đổi chung là:

$$K_{\Sigma} = \frac{\Delta X}{\Delta R} = K.i \quad (9.3)$$

trong đó: K_{Σ} - hệ số chuyển đổi chung của cầu kế:

K - hệ số chuyển đổi giữa chuyển vị đầu đo ΔH và biến thiên bán kính ΔR :

$$K = \frac{\Delta H}{\Delta R} = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}}} \right) \quad (9.4)$$

i - hệ số chuyển đổi của bộ phận chỉ thị, được xác định bằng tỷ số giữa chuyển vị của kim chỉ thị ΔX và chuyển vị đầu đo ΔH :

$$i = \frac{\Delta X}{\Delta H} \quad (9.5)$$

Biểu thức (9.4) cho thấy K có quan hệ phi tuyến với tỷ số a/R . Đồ thị biểu diễn quan hệ này thể hiện trên hình 9.3. Với mỗi một dụng cụ chỉ thị nhất định trên cầu kế, mặc dù hệ số chuyển đổi i cố định, khi đo mặt cầu có tỷ số a/R khác nhau giá trị của mỗi vạch chia là khác nhau.

Bảng 9.1: Một số giá trị vạch chia trong quan hệ với hệ số a/R
(trường hợp sử dụng đồng hồ so 0,01 mm)

a/R	Hệ số chuyển đổi K	Giá trị vạch chia, mm
0,5	0,15	0,070
0,4	0,08	0,125
0,4	0,08	0,125
0,2	0,02	0,500

Không những vậy, bản thân giá trị H và a cũng có các sai số tương ứng là δH và δa . Sai số đó gây ra sai số đo δR theo quan hệ sau:

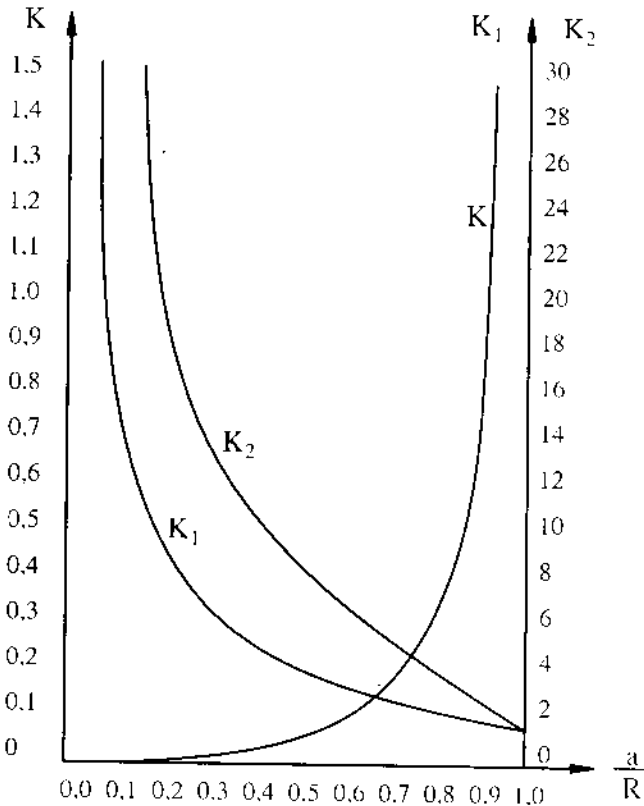
$$\delta R = \frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}}} \delta H + \frac{a/R}{1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}}} \delta a \quad (9.6)$$

Có thể viết rút gọn: $\delta R = K_1 \times \delta H + K_2 \times \delta a$

Trong đó K_1 , K_2 là các hệ số ảnh hưởng của các sai số đến kết quả đo và chúng cũng có quan hệ phi tuyến với a/R . Quan hệ giữa K , K_1 , K_2 và tỷ số a/R thể hiện trên đồ thị 9.3.

Bảng 9.2. Quan hệ giữa tỷ số a/R và các hệ số K , K_1 , K_2

a/R	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,86	0,90	1,00
K	0	0,015	0,020	0,050	0,080	0,150	0,250	0,430	0,670	1,000	1,270	∞
K_1	∞	200,0	50,00	21,74	12,05	7,50	5,00	3,45	2,50	2,00	1,79	1,00
K_2	∞	20,00	10,00	6,50	5,00	3,85	3,00	2,40	2,00	1,73	1,60	1,00



Hình 9.3. Đồ thị quan hệ giữa a/R và các hệ số K , K_1 , K_2 .

Đồ thị cho thấy khi chòm cầu có giá trị a/R càng nhỏ thì hệ số chuyển đổi K càng nhỏ do đó làm giảm khả năng phát hiện sai số. Trong khi đó sai số phạm phải lại tăng. Với cùng một bán kính vành chuẩn a xác định, khi đo các mặt cầu có bán kính càng lớn sai số phạm phải càng lớn.

Thí dụ, thử tính cho kính mắt số "0" với đường kính phối $\Phi = 70$ mm, bán kính cầu $R = 100$ mm, lúc này lớn nhất chỉ có thể lấy $a/R = 0,3$. Lúc đó hệ số chuyển đổi $K = 0,05$, nếu dùng đồng hồ so $0,01$ mm thì giá trị mỗi vạch chia sẽ là $0,20$ mm. Hơn nữa, giả sử H có sai số $\delta H = 0,01$ mm và vành chuẩn a có sai số $\delta a = 0,01$ mm, lúc này kết quả đo có lẫn sai số của phép đo $\delta R = 0,27$ mm. Điều đó có nghĩa là cầu kế không thể phát hiện được các biến thiên bán kính nhỏ hơn $0,20$ mm do hệ số chuyển đổi nhỏ trong khi đó sai số đo $\delta R = 0,27$ mm lại lẫn vào kết quả đo.

Vì vậy, khi sử dụng cầu kế cần lưu ý những đặc điểm sau:

- Giá trị a/R càng nhỏ khả năng phát hiện sai số càng giảm, trong khi đó sai số phạm phải càng tăng;
- Khi đo các bán kính cầu khác nhau cần tính lại hệ số chuyển đổi K và giá trị vạch chia của đồng hồ chỉ thị cho từng trường hợp cụ thể.

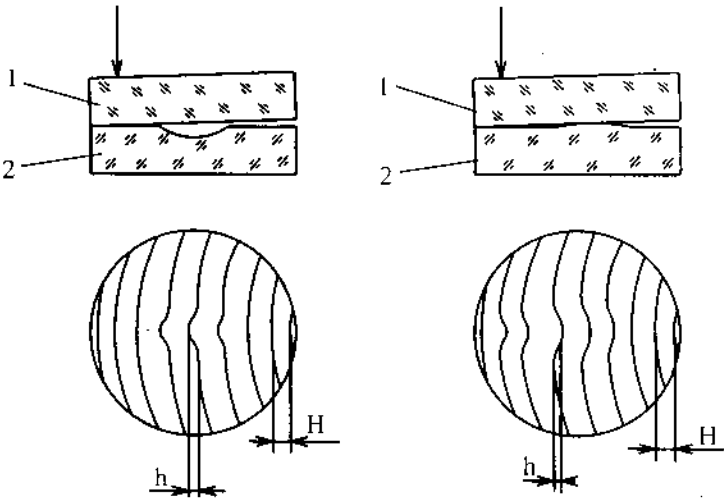
Với những đặc điểm đã nêu cầu kế chỉ sử dụng trong trường hợp yêu cầu độ chính xác không cao. Khi cần độ chính xác cao hơn người ta sử dụng phương pháp giao thoa ánh sáng.

9.2. KIỂM TRA ĐỘ PHẪNG VÀ ĐỘ CẦU BẰNG PHƯƠNG PHÁP GIAO THOA ÁNH SÁNG

Phương pháp giao thoa ánh sáng dùng để kiểm tra độ phẳng hoặc độ cầu bề mặt chi tiết quang sau nguyên công đánh bóng. Phương pháp này dựa trên cơ sở xác định số lượng và hình dạng vân giao thoa quan sát được khi so sánh bề mặt chi tiết cần kiểm tra với bề mặt dưỡng thủy tinh. Người ta dùng dưỡng phẳng khi kiểm tra độ phẳng và dưỡng cầu có bán kính tương ứng để kiểm tra bán kính cầu và độ cầu.

Số vân giao thoa đặc trưng cho sai lệch bán kính cong, còn hình dạng của vân đặc trưng cho sai lệch bán kính cục bộ hay còn gọi là sai số độ cầu của chi tiết kiểm tra.

Khi miết đường thủy tinh 1 lên bề mặt chi tiết cần kiểm tra 2, các khe hở không khí không lớn do sai số giữa bề mặt đường và bề mặt chi tiết tạo ra các vân giao thoa. Mỗi vân được tính bằng nửa bước sóng ánh sáng $\lambda/2$. Nếu lấy bước sóng $\lambda \approx 550 \text{ nm}$, thì mỗi vân được tính gần bằng 250 nm ($0,25 \mu\text{m}$). Thí dụ, trên hình 9.5 số vân quan sát được là 3. Ta có sai số $N = 3$, hay bằng $0,75 \mu\text{m}$. Nếu $N = 4$ sai số sẽ là $1 \mu\text{m}$.

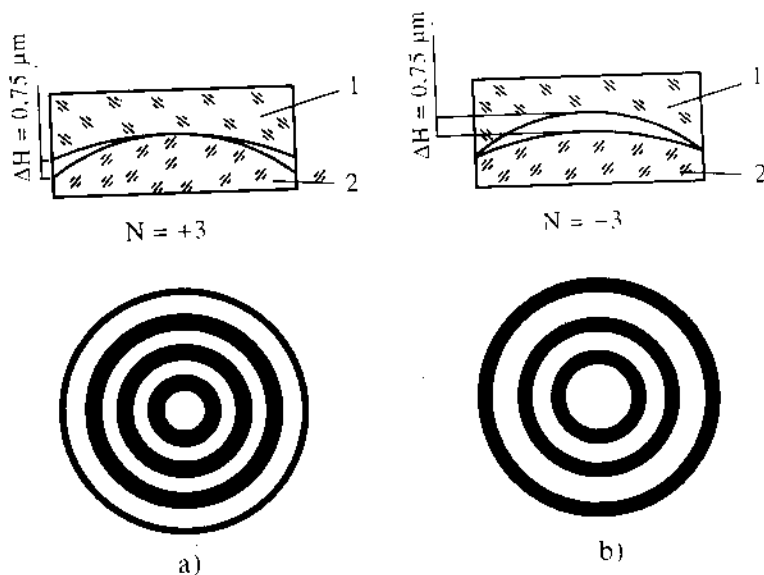


Hình 9.4. Sơ đồ kiểm tra bề mặt chi tiết quang bằng phương pháp giao thoa ánh sáng.

Khi kiểm tra bán kính cầu có thể xảy ra hai trường hợp: nếu bán kính chi tiết R_{ct} nhỏ hơn bán kính đường R_d ($R_{ct} < R_d$), thì khe hở không khí lớn nhất sẽ phân bố ở biên (hình 9.5a). Ngược lại, nếu bán kính chi tiết lớn hơn ($R_{ct} > R_d$), thì khe hở sẽ phân bố ở tâm (hình 9.5 b).

Hình 9.5 cho thấy mặc dù cả hai trường hợp đều có số vân $N = 3$, nghĩa là giá trị sai số bán kính bằng $0,75 \mu\text{m}$, nhưng hình ảnh vân khác nhau.

Để xác định bán kính chi tiết nhỏ hơn hay lớn hơn bán kính đường, người ta có thể đặt dấu “+” hoặc dấu “-” trước giá trị số vân. Khi ấn nhẹ đường lên bề mặt chi tiết, nếu các vân có xu hướng chạy từ tâm ra biên, nghĩa là khe hở không khí ở biên lớn hơn ở tâm. Lúc này ta dùng dấu “+” để thể hiện bán kính bề mặt chi tiết nhỏ hơn bán kính bề mặt đường (hình 9.5a). Dùng dấu “-” trong trường hợp ngược lại (hình 9.5b).



Hình 9.5. Kiểm tra mặt cầu chi tiết quang bằng đường thủy tinh:

- a) bán kính chi tiết nhỏ hơn bán kính đường ($R_{ct} < R_d$);
 b) bán kính chi tiết lớn hơn bán kính đường ($R_{ct} > R_d$).

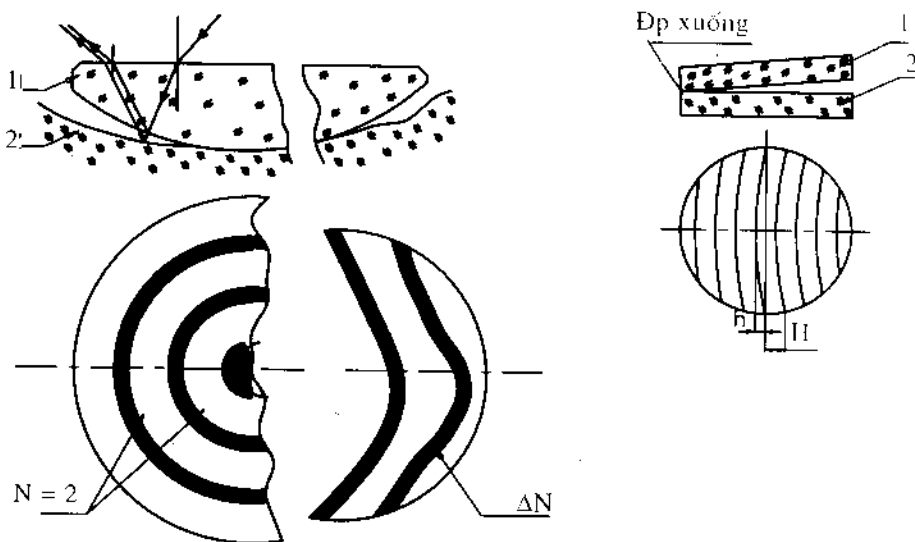
Trường hợp sai số giữa đường và chi tiết nhỏ hơn 0,25 nm, các vân giao thoa sẽ không xuất hiện toàn vòng mà chỉ là những vạch màu. Sai số ΔN lúc này được đánh giá bằng tỷ số giữa giá trị độ cong của vạch h và chiều rộng vạch H.

$$\Delta N = h/H$$

Khi ấn nhẹ một cạnh của đường lên bề mặt chi tiết, sẽ xuất hiện nệm không khí. Lúc đó, vân giao thoa có dạng các đường cong. Hướng của các đường cong xác định dạng sai số: đường cong lồi về phía tác dụng lực bề mặt có dạng lõm và ngược lại, như hình 9.6.

Phương pháp dùng đường thủy tinh để kiểm tra bán kính cầu và độ cầu chi tiết quang có một số đặc điểm sau:

- Với mỗi bán kính cầu cần kiểm tra phải có một đường thủy tinh có bán kính tương ứng.
- Bề mặt đường thủy tinh dễ bị hỏng do xước hoặc mòn khi miết vào bề mặt chi tiết kiểm tra.
- Kết quả đọc được phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của người sử dụng.

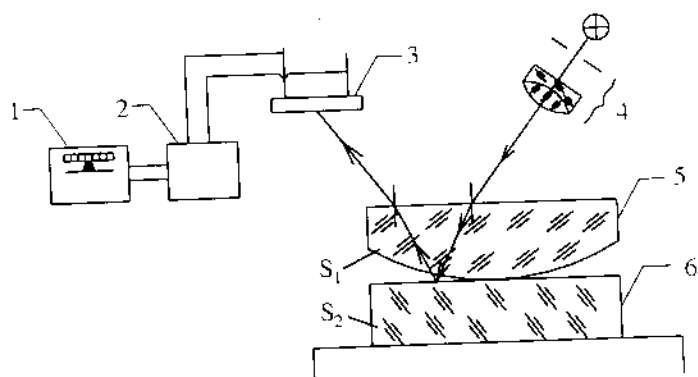


Hình 9.6. Sơ đồ vân giao thoa khi có sai số cục bộ trên bề mặt chi tiết.

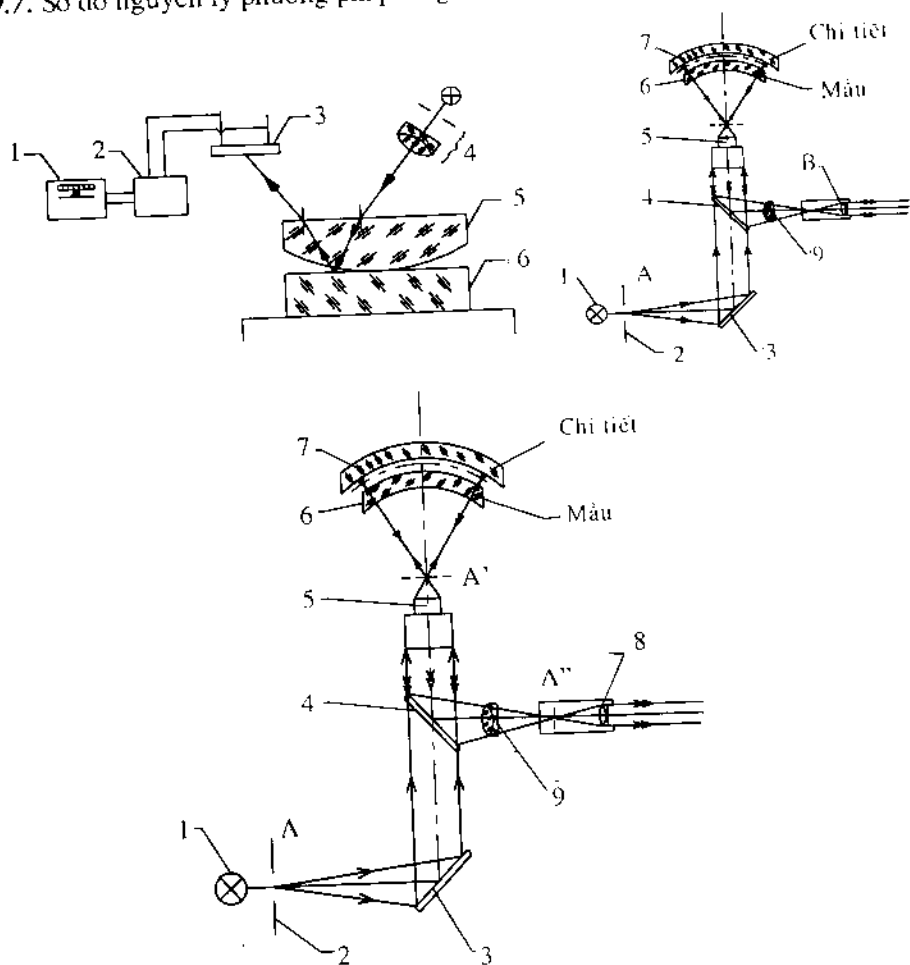
Khi sử dụng phương pháp này rất khó phát hiện bằng mắt thường các sai số nhỏ cỡ vài phần chục vân giao thoa. Lúc đó người ta có thể sử dụng hệ thống đọc vân bằng tế bào quang điện (hình 9.7). Nguồn sáng 4 chiếu qua chi tiết 5 và mẫu 6. Do bề mặt S_1 và S_2 không trùng nhau nên sau khi phản xạ từ hai bề mặt này, sáng sẽ tạo ra vân giao thoa lên tế bào quang điện 3 mắc trong mạch của bộ khuếch đại 2 và bộ ghi 1. Khi dịch chuyển đồng thời cả 5 và 6 thì hình ảnh giao thoa cũng dịch chuyển và bộ ghi 1 sẽ vẽ ra một đường cong mô tả sự khác nhau giữa mẫu và chi tiết. Nhờ độ phân giải cao thiết bị có thể phát hiện được các sai lệch cỡ 0,01 chiều rộng vân.

Bằng phương pháp giao thoa, người ta còn dùng các thiết bị quang học để kiểm tra bề mặt chi tiết quang. Sơ đồ nguyên lý của một trong các thiết bị đó thể hiện trên hình 9.8.

Nguyên lý làm việc của thiết bị như sau: Chùm sáng của nguồn sáng đơn sắc 1 qua chắn sáng 2 phản xạ trên bề mặt của gương 3, một phần đi qua gương bán thấu 4, tập trung ở tiêu điểm của vật kính 5, tạo nên ảnh A' của lỗ chắn sáng A. Sau đó, chùm sáng đi qua bề mặt của mẫu 6, phản xạ trên bề mặt của chi tiết cần kiểm tra 7. Chùm tia phản xạ sẽ quay lại vật kính 5, phản xạ trên



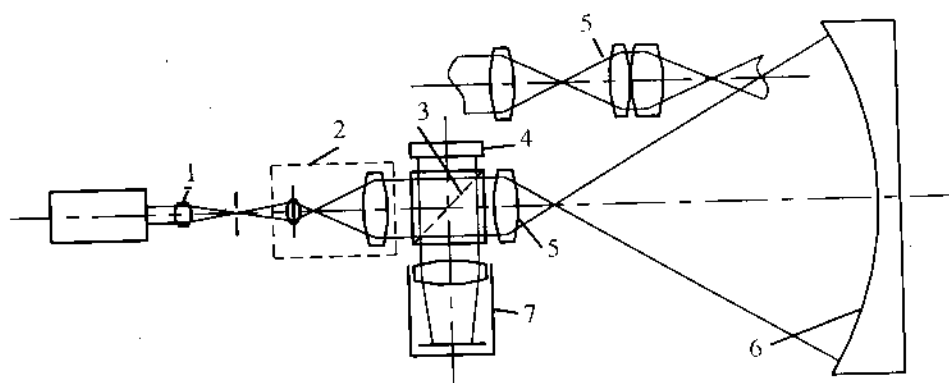
Hình 9.7. Sơ đồ nguyên lý phương pháp đo giao thoa có sử dụng tế bào quang điện.



Hình 9.8. Sơ đồ nguyên lý thiết bị kiểm tra bề mặt chi tiết quang theo phương pháp giao thoa.

gương bán thấu 4, tạo nên ảnh thứ 2 của A tại A". Qua thấu kính 9 và thị kính 8, có thể quan sát được ảnh giao thoa tương ứng với sai lệch của bề mặt chi tiết và mẫu.

Đối với những chi tiết yêu cầu độ chính xác cao (sóng bề mặt khoảng 30 nm), đặc biệt lại có đường kính lớn (tới hàng mét), người ta dùng máy đo giao thoa laser (laser interferometer). Hình 9.9 thể hiện sơ đồ nguyên lý của một máy đo theo phương pháp này.



Hình 9.9. Sơ đồ nguyên lý máy đo theo phương pháp giao thoa laser.

Từ một tia laser thông qua vật kính có tiêu cự nhỏ 1 và một hệ mở rộng chùm tia 2 tạo ra một chùm sáng song song. Chùm sáng song song này được bộ tách tia 3 phân thành chùm tia đo và chùm tia so sánh. Chùm tia đo được hệ thống bù trừ 5 định hướng chiếu vào bề mặt cần kiểm tra 6. Bề mặt 6 sẽ phản chiếu một chùm tia trở về bộ tách tia. Chùm tia so sánh phản chiếu từ một gương phẳng nhỏ 4, có độ chính xác rất cao và cũng trở lại bộ tách tia. Hai chùm tia trên kết hợp với nhau trong camera 7 của bộ tách tia. Người ta sẽ quan sát ảnh hợp tia của hai chùm phản xạ đó qua camera 7 dưới dạng họa đồ. Khi dùng thiết bị này để kiểm tra chi tiết, người ta phải thu thập rất nhiều dữ liệu phối hợp và chúng sẽ được xử lý bằng chương trình máy tính để đưa ra kết quả đo.

Kiểm tra chi tiết bằng phương pháp giao thoa ánh sáng là một phép đo so sánh bề mặt chi tiết và bề mặt dưỡng thủy tinh. Vì vậy, phương pháp này luôn cần có dưỡng mẫu với độ chính xác cao.

9.3. ĐO ĐỘ PHẪNG VÀ ĐỘ CẦU BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO TOA ĐỘ

Phương pháp đo toạ độ đã được sử dụng từ lâu để xác định các thông số hình học của chi tiết. Sự phát triển ở trình độ cao của công nghệ điện tử tin học, kỹ thuật điều khiển,... đã cho ra đời các máy đo toạ độ hiện đại hiện đang được dùng phổ biến ở Việt Nam và nhiều nước trên thế giới.

Bản chất của phương pháp này là *các thông số cần đo được xác định bởi toạ độ các điểm đo trên bề mặt của chi tiết thông qua các thuật toán xử lý.*

Để xác định độ cầu, bán kính cầu hoặc độ phẳng của chi tiết quang người ta xây dựng các quan hệ tương ứng giữa thông số cần đo và toạ độ các điểm đo. Sau đó dùng các thuật toán và các chương trình tính toán để đưa ra kết quả đo.

9.3.1. Xác định bán kính cầu và độ cầu chi tiết quang

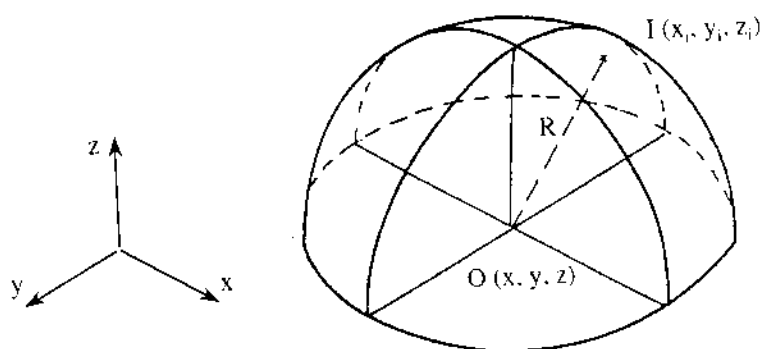
a) Thuật toán và phương pháp giải

Đặt một thấu kính lên máy đo toạ độ, ta luôn xác định được toạ độ của các điểm đo $I_i (x_i, y_i, z_i)$, ($i = 1, n$) trên bề mặt thấu kính (hình 9.10). Bán kính mặt cầu qua mỗi điểm được xác định bằng biểu thức (9.6), với (x, y, z) là toạ độ điểm tâm:

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (9.7)$$

Qua n điểm đo xác định được bán kính trung bình của mặt cầu:

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (9.8)$$



Hình 9.10. Sơ đồ đo bề mặt cầu theo phương pháp toạ độ.

Sai lệch bán kính của từng điểm đo so với bán kính trung bình sẽ là:

$$\Delta R_i = R_i - R_{tb} = R_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (9.9)$$

Với phương pháp bình phương nhỏ nhất luôn tìm được mặt cầu có bán kính R_{tb} xấp xỉ tốt nhất với tập hợp n điểm đo. Lúc đó tổng bình phương các sai lệch ΔR_i đạt giá trị nhỏ nhất. Ta có:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta R_i)^2 = F(x_i, y_i, z_i, x, y, z) = \min \quad (9.10)$$

Biểu thức này thoả mãn khi:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial F}{\partial y} = \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (9.11)$$

Sau khi lấy đạo hàm riêng biểu thức (9.10) theo x, y, z , ta có:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x} = F_1(x, y, z) = \sum_{i=1}^n x_i - nx - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x_i - x}{R_i} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial y} = F_2(x, y, z) = \sum_{i=1}^n y_i - ny - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{i=1}^n \frac{y_i - y}{R_i} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial z} = F_3(x, y, z) = \sum_{i=1}^n z_i - nz - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{i=1}^n \frac{z_i - z}{R_i} = 0 \end{cases} \quad (9.12)$$

Trong hệ phương trình này, x_i, y_i, z_i là giá trị toạ độ các điểm đo và đã được xác định, nghiệm số (x, y, z) là toạ độ tâm mặt cầu cần đo. Giải hệ phương trình trên, thay giá trị toạ độ tâm cầu (x, y, z) vào các biểu thức (9.6), (9.7), (9.8) sẽ xác định được bán kính cầu và độ cầu của chi tiết đo.

Đây là hệ phương trình siêu việt có thể giải bằng phương pháp gần đúng hoặc bằng các phần mềm đạo hàm.

b) Sai số của phương pháp

Đây là một phép đo gián tiếp, vì vậy độ chính xác của phép đo không những phụ thuộc vào độ chính xác của thiết bị mà còn phụ thuộc vào sai số của phép đo gián tiếp. Sai số này được quyết định bằng các hàm chuyển đổi giữa các thông số cần đo và chỉ thị của thiết bị. Hàm quan hệ càng phức tạp thì độ chính xác của phép đo càng thấp. Kết quả đo của phương pháp này được xác định bằng các phép tính gần đúng, vì vậy độ chính xác rất hạn chế.

9.3.2. Xác định độ phẳng chi tiết quang

Tương tự như khi đo mặt cầu, đặt một mặt phẳng chi tiết quang lên máy đo toạ độ sẽ xác định được toạ độ của 3 điểm $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ và $P_3(x_3, y_3, z_3)$ trên mặt phẳng đó. Phương trình mặt phẳng đi qua 3 điểm đó được xác định bằng biểu thức:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (9.13)$$

Sau khi triển khai và rút gọn biểu thức trên, phương trình mặt phẳng có thể viết dưới dạng tổng quát:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (9.14)$$

Cần lưu ý rằng đây cũng là phép đo gián tiếp nên không tránh khỏi sai số của phương pháp đo như đã trình bày ở trên.

9.4. KIỂM TRA ĐỘ CẦU BẰNG GÁ ĐO KIỂU TÂM QUAY

Để loại trừ các sai số do phép đo gián tiếp gây ra, nhằm phát hiện được sai số độ cầu với độ chính xác cao hơn, ngoài các phương pháp quang học có thể dùng một dụng cụ đo kiểu cơ khí cho phép phản ánh trực tiếp giá trị đo với hệ số chuyển đổi 1:1. Đó là gá đo kiểu tâm quay.

Theo lý thuyết độ cầu được xác định theo công thức:

$$\delta R = |R_{lt} - R_t|_{\max} \quad (9.15)$$

trong đó:

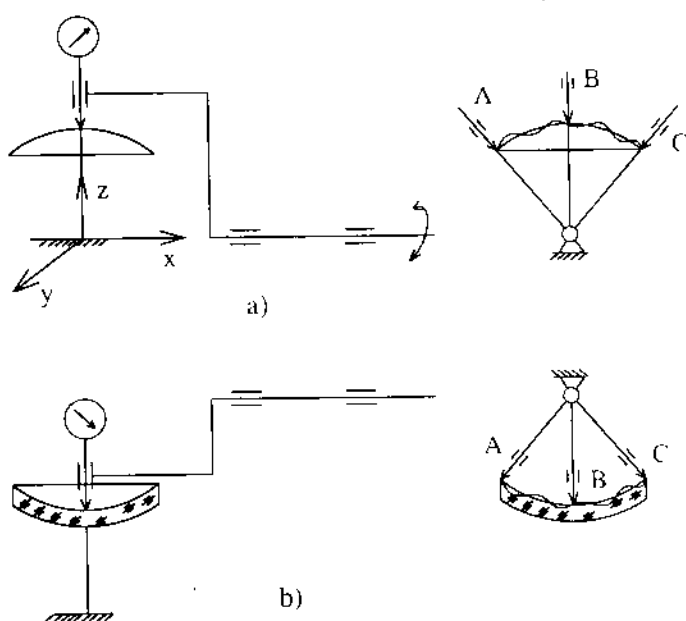
R_{lt} - bán kính mặt cầu lý thuyết;

R_t - bán kính mặt cầu thực.

Theo nguyên lý này δR được xác định bằng cách so sánh giá trị các điểm đo của bề mặt cầu thực với mặt cầu lý thuyết đi qua một số điểm trên bề mặt cầu thực.

Nguyên lý của dụng cụ này được thể hiện trên hình 9.11.

Đầu đo của đồng hồ chỉ thị 1 khi quay quanh khớp trụ 2 sẽ tạo nên một cung tròn. Nếu tâm cung tròn đó trùng với tâm cung tròn chuẩn qua mặt cắt lớn nhất của mặt cầu thì chỉ thị của đồng hồ cho biết sai lệch của các điểm đo so với



Hình 9.11. Nguyên lý gá đo độ cầu theo nguyên tắc tâm quay:

a) nguyên lý đo cầu lồi; b) nguyên lý đo cầu lõm.

cung tròn chuẩn. Khi thay đổi các mặt cắt khác nhau sẽ có sai lệch trên cả mặt cầu.

Để đưa tâm quay của đồng hồ đo trùng với tâm của cung tròn chuẩn, người ta chỉnh bàn đo trên đó có gắn chỉ tiết đo sao cho chỉ thị của đồng hồ tại 3 điểm xa nhau nhất A, B, C có cùng một trị số.

Chương 10

CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CÁC BỀ MẶT PHI CẦU

10.1. CHỨC NĂNG CỦA CÁC BỀ MẶT PHI CẦU

Từ các phép tính toán quang sai hệ quang ta nhận thấy rằng, hầu như không còn khả năng thiết kế những hệ quang có bề mặt phẳng và cầu để tạo thành những dụng cụ đo có đặc tính mới. Để cải thiện một cách cơ bản các thông số chất lượng của hệ quang thì sự phát triển quang học hy vọng trước hết vào việc sử dụng các bề mặt phi cầu tròn xoay.

Các bề mặt phi cầu được sử dụng với các chức năng sau:

- Tăng cường quan sát và cường độ chiếu sáng của hệ thống, sử dụng ưu việt là các bề mặt bậc 2, chúng sai lệch so với mặt cầu khoảng $1/10$ mm.

- Để điều chỉnh quang sai của hệ thống, chẳng hạn dùng bề mặt elip có thể khử được cầu sai, dùng 2 thấu kính elip có thể khử được cầu sai,coma, sai sắc, dùng thấu kính với mặt parabolit không những khử được các quang sai trên mà còn loại trừ được độ loạn.

- Để giảm số lượng thấu kính, làm cho thiết bị gọn nhẹ.

- Để giải quyết được những nhiệm vụ mới của kỹ nghệ tên lửa và du hành vũ trụ. Chẳng hạn thấu kính có bề mặt parabolit và hyperbolit dùng trong dụng cụ xác định tọa độ của đầu đạn tên lửa tự điều khiển. Bề mặt bậc cao của vật kính trong dụng cụ đo khí quyển và máy ảnh.

Trong dụng cụ quang học hiện đại dùng phổ biến nhất là các chi tiết quang có bề mặt parabolit, vì công nghệ chế tạo và kiểm tra các chi tiết bề mặt này thuận lợi hơn so với các bề mặt phi cầu khác.

Nguyên lý tạo hình các bề mặt phi cầu phức tạp hơn, tính công nghệ của chúng thấp hơn so với bề mặt cầu. Chính nhược điểm này là nguyên nhân hạn chế phạm vi sử dụng của chúng. Nhưng do nhu cầu phát triển kỹ thuật đòi hỏi sử dụng ngày càng nhiều chi tiết quang dạng phi cầu. Với trình độ công nghệ hiện đại cho phép gia công được những mặt phi cầu chính xác. Đó là điều kiện để phát triển các chi tiết quang dạng phi cầu.

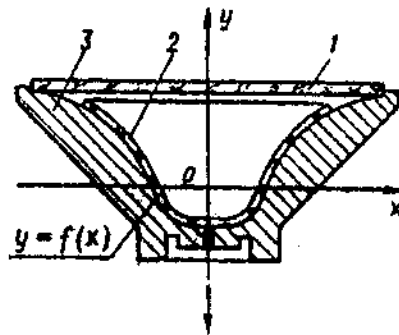
Trong thực tế người ta thường sử dụng các mặt phi cầu gần với mặt phẳng hoặc mặt cầu, chúng chỉ sai khác nhau chừng $1/10$ mm, sai số gia công không vượt quá $1/10$ hoặc $1/100$ μm .

10.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG

10.2.1. Phương pháp uốn mềm

Kính phản xạ thành mỏng được chế tạo bằng phương pháp uốn mềm cường bức các phiôi tấm đã đánh bóng nhờ khuôn hình 10.1.

Khi bơm hút chân không tạo ra buồng chân không 0.1 Pa, thì tấm phiôi đã làm mềm (1) được ép vào khuôn tạo hình (3).



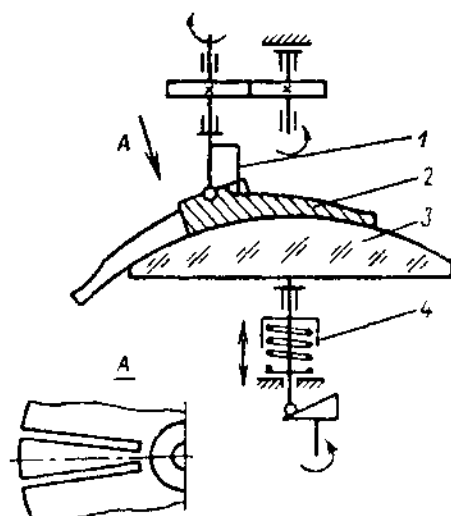
Hình 10.1. Khuôn tạo hình bề mặt phi cầu bằng phương pháp uốn mềm.

10.2.2. Gia công trên các máy chuyên dùng

- Bề mặt parabol lõm của trụ quang được sản xuất hàng loạt lớn nhờ dụng cụ nghiêng dạng cánh hoa đàn hồi trên máy kiểu hành tinh có chuyển động hành trình tròn của tốc 1 (hình 10.2). Nguyên công này còn gọi là nghiêng giả tự do. Vì dầu nghiêng tự lựa có thể quay theo hoặc quay cưỡng bức nhờ tốc 1.

Hình dạng đã cho của bề mặt gia công đạt được nhờ chương trình động học máy theo biểu đồ phân bố áp lực trên bề mặt gia công. Sự khép kín lực bằng lò xo của dụng cụ trên bề mặt gia công được điều chỉnh bằng cam 5.

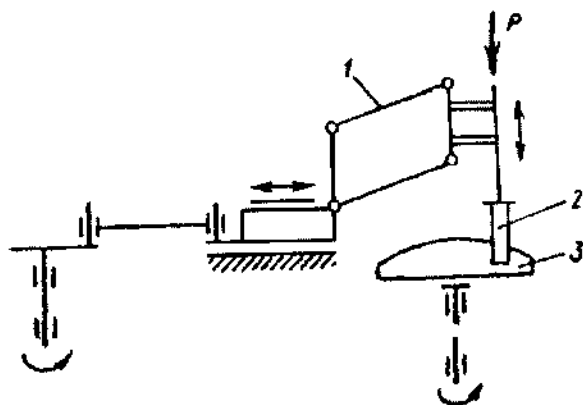
Profin của dầu tự lựa đàn hồi được tính toán bằng máy tính. Vết tán xạ của bề mặt gia công có kích thước từ $0,2 \div 0,5$ mm.



Hình 10.2. Gia công bề mặt phi cầu bằng dụng cụ dạng cạnh hoa dần hồi.

- Bề mặt parabolit của hệ thống năng lượng, có vết tán xạ điểm với kích thước $0,07 \div 0,2$ mm được gia công trên máy parabol, hình 10.3.

Dao 2 được chuyển dịch tịnh tiến theo phương ngang nhờ cơ cấu hình bình hành 1 nối với cơ cấu tay quay con trượt 4. Dao nghiêng với bề mặt gia công 3 theo đường dịch chuyển ngang của dao để tạo ra các tiết diện phẳng song song với tâm quay của phôi.



Hình 10.3. Sơ đồ gia công trên máy "parabol".

Hình dạng parabolit của bề mặt gia công được tạo ra bằng cường bức hình học còn sự trượt theo phương thẳng đứng và sự nghiêng bề mặt là để xóa các vết gia công.

Cũng theo phương pháp này người ta có thể gia công mặt parabolit lõm hoặc lõm trên các máy nghiền đánh bóng kiểu IIIΠ có cơ cấu dịch chuyển dụng cụ tịnh tiến qua lại (cơ cấu lắc kiểu tay quay con trượt) theo phương vuông góc với đường tâm quay của chi tiết gia công. Dụng cụ được đặt ở khâu trên.

10.2.3. Phi cầu hoá các bề mặt cầu hoặc phẳng

Để đáp ứng nhu cầu của nền công nghiệp phát triển, hiện nay người ta sản xuất ngày càng nhiều các chi tiết quang phi cầu kích cỡ lớn của các dụng cụ chụp ảnh và các dụng cụ khác. Bề mặt quang phi cầu của chúng đòi hỏi gia công với độ chính xác cao. Người ta thường gia công chúng theo hai phương pháp sau:

- Phi cầu hoá các bề mặt bằng cách phủ một màng mỏng quang học có chiều dày biến đổi. Màng mỏng quang học được phủ trên chi tiết quang bằng phương pháp bốc bay trong chân không có điều chỉnh độ dày lớp phủ theo sơ đồ đã cho. Đây là phương pháp tiên tiến có nhiều triển vọng.

- Phi cầu hoá các bề mặt bằng cách bóc một lớp lượng dư có chiều dày biến đổi theo yêu cầu. Điều khiển quá trình phủ màng mỏng quang học có chiều dày biến đổi cũng tương tự như điều khiển quá trình bóc lớp lượng dư có chiều dày biến đổi. Nhưng sự thay đổi các thông số hình học thì theo hướng ngược lại. Phương pháp này được sử dụng trong đại số các trường hợp.

Gia công bề mặt phi cầu bằng nghiền giả tự do có cơ sở chung về thiết kế quá trình công nghệ với gia công bề mặt cầu và mặt phẳng bằng nghiền tự do. Đó là:

- + Sự bóc lượng dư tỷ lệ thuận với công nghiền tiêu phí cho phân thủy tinh được bóc ra.
- + Nghiền giả tự do cho phép tạo hình bề mặt quang phi cầu chính xác.
- + Phương trình công nghiền được dùng làm cơ sở để xây dựng quá trình điều chỉnh động học và lập chương trình hình thành bề mặt quang phi cầu.
- + Dựa trên sơ đồ phân bố lượng dư gia công của bề mặt chi tiết để lập chương trình động học gia công và định hình dạng hình học của dụng cụ.

+ Gia công bề mặt phi cầu được tiến hành với sự kiểm tra công nghệ một cách có hệ thống và các kết quả kiểm tra tạo thành khâu của xích quan hệ ngược đối với quá trình điều chỉnh gia công theo chương trình.

10.3. TÍNH CÔNG NGHỆ GIA CÔNG

Tính công nghệ gia công của các bề mặt phi cầu là khả năng sử dụng một cách kinh tế nhất quá trình công nghệ tạo hình, đảm bảo độ tin cậy đã cho của các kết quả gia công và kiểm tra.

Người thiết kế hệ thống quang học có bề mặt quang phi cầu phải biết đánh giá khả năng thực hiện và tính công nghệ của các bề mặt phi cầu khi chế tạo hàng loạt. Muốn vậy phải căn cứ vào các dấu hiệu như: hình dạng profin, các thông số bề mặt, khả năng kiểm tra và các thông số kết cấu.

10.3.1. Hình dạng profin

Bề mặt phi cầu tròn xoay được xác định bằng phương trình đường cong phẳng tạo thành nó.

Họ đường cong bậc 2 có tọa độ gốc ở đỉnh được xác định bằng phương trình:

$$y^2 - 2px + qx^2 = 0 \quad (10.1)$$

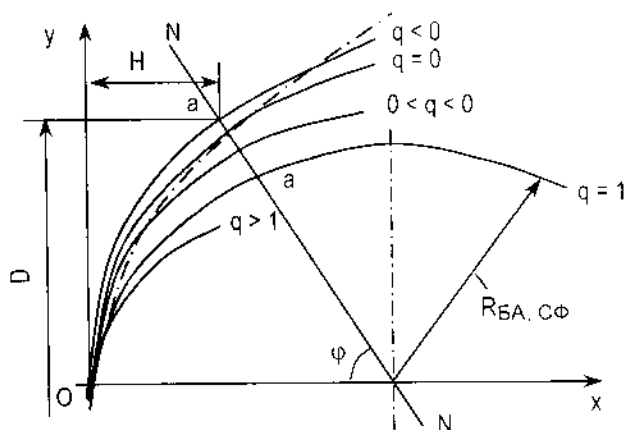
- q : là thông số phi cầu xác định sự sai khác của đường cong profin tạo hình với đường tròn của mặt cầu gần nhất có bán kính R_{cgnh} đi qua gốc tọa độ.

Với các giá trị q khác nhau ta có các đường cong profin khác nhau (hình 10.4).

Giá trị q	$q = 1$	$0 < q < 1$	$q = 0$	$q < 0$	$q > 1$
Dạng đường cong	Đường tròn	ellip	parabol	hyperbol	ellip det

Nếu kẻ pháp tuyến NN của đường cong profin dưới góc φ cho trước thì đoạn aa trên pháp tuyến bằng chiều dày lớp lượng dư cần bóc đi từ mặt cầu gần nhất, bán kính R_{cgnh} .

Sau khi bóc đi lớp lượng dư đó sẽ nhận được một chòm phi cầu đường kính D , chiều cao H có đường cong profin với $q < 0$. Đó là mặt phi cầu hyperbol của chi tiết.



Hình 10.4. Họ đường cong bề mặt bậc hai.

Với giá trị nhỏ của x trong phạm vi gần đỉnh thì cả họ đường cong đều có bán kính cong gần bằng nhau và bằng bán kính mật cầu gần nhất R_{cgnh} .

$$R_{cgnh} \approx \frac{Y^2 + QX^2}{2x} \text{ khi } x = 0 \text{ thì } R_{cgnh} = p \quad (10.2)$$

Nếu ta sử dụng một bề mặt bậc cao thì đường cong profin của nó có thể sẽ chiếm một vị trí nào đó giữa họ các đường cong bậc 2. Ví dụ đường chân gạch trên hình 10.4 có thể là đường profin của một bề mặt bậc cao.

Nếu profin của bề mặt phi cầu có độ cong rất nhỏ và độ uốn cong ổn định thì nó là gần nhất với mặt phẳng.

Độ phi cầu càng lớn thì các bước công nghệ càng nhiều, gia công càng khó và gia công bề mặt đạt độ chính xác đã cho càng kém tin cậy hơn.

Profin bề mặt có tính công nghệ cao nhất khi sự sai lệch giữa đường cong profin của nó với đường cong profin mật cầu gần nhất hoặc mặt phẳng là nhỏ nhất.

Tuỳ theo hình dạng profin mà người ta chọn phương pháp, thiết bị và dụng cụ gia công cũng như phương pháp và dụng cụ kiểm tra.

Tuy nhiên, cần phải chú ý rằng:

- Đối với những bề mặt lỗi và lõm đã cho thì phải xem xét kỹ tính công nghệ gia công và tính kiểm tra mặc dù sự kết hợp kích thước và các thông số hình học là giống nhau.

- Bề mặt phản xạ phải gia công chính xác cao hơn 4 lần so với bề mặt khúc xạ tương tự.

- Bề mặt những chỗ uốn hoặc xoắn thì gia công và kiểm tra nói chung là khó khăn hơn nhiều, do đó chúng không có tính công nghệ.

- Khi đưa vào hệ thống quang bề mặt phi cầu mới mà profin của nó trước đây chưa được sử dụng thì cần phải có sự tính toán và đánh giá.

10.3.2. Các thông số bề mặt

Profin bề mặt được đặc trưng bằng đường kính D đã cho và chiều cao H của chòm tương ứng (hình 10.4).

Tỷ số H/D càng tăng thì mức độ khó khăn đối với gia công và kiểm tra bề mặt càng tăng. Bởi vì độ dốc và sai lệch so với bề mặt cầu càng tăng đồng thời. Khi H không đổi ($H = \text{const}$) thì sự tăng độ phi cầu đối với các profin khác nhau được đặc trưng bằng tỷ số $D/2R_{\text{cgnh}}$.

Đối với các bề mặt hình dạng khác nhau nhưng có cùng kích thước H và D thì tính công nghệ của bề mặt phi cầu có thể đặc trưng bằng tỷ số:

$$\frac{D}{H} \cdot \frac{2R_{\text{cgnh}}}{D} = \frac{2R_{\text{cgnh}}}{H} \quad (10.3)$$

Đối với mặt phi cầu dạng parabol thì đặc trưng bằng $\frac{2p}{H}$.

Kết hợp các giá trị p , q , D , H và x (toạ độ đỉnh của bề mặt ban đầu của phôi), ta có thể xác định sơ đồ phân bố lượng dư trong các miền vành của phôi.

Khi sai lệch so với bề mặt cầu gần nhất (lượng dư) nhỏ hơn $50 \mu\text{m}$ thì gia công bề mặt phi cầu có thể giới hạn chỉ ở nguyên công đánh bóng và kiểm tra công nghệ bề mặt đã đánh bóng sẽ dễ dàng hơn. Điều đó tạo khả năng nhận được các kết quả tin cậy nhất của quá trình gia công với độ chính xác quang học.

Nếu sai lệch đó đạt tới $150 \mu\text{m}$ thì cần phải mài và đánh bóng nhiều bước. Trong trường hợp này thì việc làm gần với mặt cầu gần nhất có bán kính

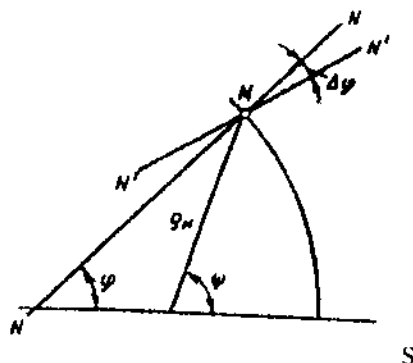
$R_{\text{cgnh}} \approx y^2/2x$ xét về mặt công nghệ thì không phải là tốt nhất.

Nếu sai lệch so với bề mặt cầu lớn hơn 150 μm và tỷ số H/D lớn thì sử dụng phối phi cầu là hợp lý nhất.

10.3.3. Phương pháp xác định sai lệch cho phép của hình dạng bề mặt phi cầu đã cho bằng tính toán

Thiết lập quá trình công nghệ gia công và kiểm tra mặt phi cầu phụ thuộc vào việc chọn phương pháp xác định sai lệch cho phép.

Xác định góc cho phép $\Delta\varphi$ là sai lệch góc của pháp tuyến $N'N'$ và phương tính toán NN xác định theo phương trình đường cong profin tạo thành bề mặt (hình 10.5) $p = f(\Psi)$. Đường cong đó đặc trưng trực tiếp cho giá trị quang sai. Đối với những bề mặt mài sau đó qua đánh bóng thì góc $\Delta\varphi$ được đo bằng phương pháp không tiếp xúc.



Hình 10.5. Sai số theo góc hướng tâm.

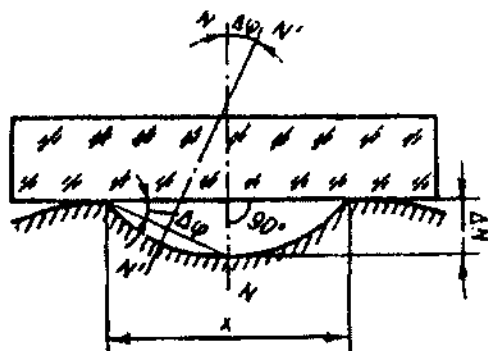
Sai số hình dạng bề mặt cũng được đánh giá thông qua giá trị N và ΔN (hình 10.6). Các giá trị này được so sánh với góc sai lệch pháp tuyến. Ví dụ: nếu $\Delta N = 05 \mu\text{m}$, $x = 10 \text{ mm}$ thì:

$$\text{tg}(\Delta\varphi) = \frac{\Delta N}{x/2} = \frac{0,5 \times 2}{10.000} = 1.10^{-4}; \Delta\varphi \approx \frac{1}{3} = 20'' \quad (10.4)$$

Sai số như vậy được phát hiện nhờ thiết bị chuẩn trực để đo góc.

Để đo trực tiếp N và ΔN người ta sử dụng sơ đồ giao thoa biến điệu của Tvaimana - Grina, cũng như sơ đồ có sử dụng cơ cấu bù.

Phương pháp này rất thuận tiện đối với sản xuất, vì nó tương tự như phương pháp kiểm tra cầu theo giá trị N và ΔN . Độ tin cậy có thể của kết quả đo vượt quá giá trị gia công cho phép chừng 2 lần, $\Delta N = 0,2 \div 0,4$.



Hình 10.6. Sai số theo ΔN và $\Delta \varphi$.

PHỤ LỤC

Phụ lục I

Hệ số phủ S_r

Độ lệch tâm e	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
e = 0,1	0,0	0,50	0,50	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,33	0,66	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,42	0,58	—	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	—	0,44	0,56	—	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	—	0,46	0,54	—	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	—	0,47	0,53	—	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	—	0,47	0,53	—	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	—	0,48	0,52	—	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	—	0,48	0,52	—
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,52
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,48
e = 0,2	0,0	—	0,50	0,50	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	0,42	0,58	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,16	0,17	0,21	0,46	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	0,23	0,16	0,18	0,42	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	0,26	0,16	0,16	0,40	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	0,27	0,16	0,18	0,38	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	0,28	0,16	0,17	0,38	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	0,29	0,16	0,17	0,37	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	0,29	0,16	0,17	0,37
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	0,30	0,16	0,17
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	0,30	0,16
e = 0,3	0,0	—	—	0,50	0,50	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	0,45	0,55	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,23	0,16	0,18	0,42	—	—	—	—	—
	0,3	0,11	0,11	0,11	0,13	0,16	0,37	—	—	—	—
	0,4	—	0,16	0,11	0,11	0,12	0,15	0,35	—	—	—
	0,5	—	—	0,19	0,11	0,11	0,12	0,14	0,33	—	—
	0,6	—	—	—	0,20	0,11	0,11	0,15	0,14	0,32	—
	0,7	—	—	—	—	0,21	0,11	0,11	0,11	0,14	0,31
	0,8	—	—	—	—	—	0,22	0,11	0,11	0,11	0,14
	0,9	—	—	—	—	—	—	0,23	0,11	0,11	0,11
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	0,23	0,12	0,11

Độ lệch tâm e	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
e = 0,4	0,0	—	—	—	0,50	0,50	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	0,46	0,54	—	—	—	—	—
	0,2	—	—	0,26	0,16	0,18	0,40	—	—	—	—
	0,3	—	0,16	0,11	0,11	0,11	0,15	0,35	—	—	—
	0,4	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	0,14	0,32	—	—
	0,5	—	0,12	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,13	0,31	—
	0,6	—	—	0,15	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,13	0,19
	0,7	—	—	—	0,16	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12
	0,8	—	—	—	—	0,17	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10
	0,9	—	—	—	—	—	0,18	0,09	0,08	0,08	0,08
	1,0	—	—	—	—	—	—	0,18	0,09	0,08	0,08
e = 0,5	0,0	—	—	—	—	0,50	0,50	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	0,47	0,53	—	—	—	—
	0,2	—	—	—	0,27	0,16	0,18	0,38	—	—	—
	0,3	—	—	0,18	0,11	0,11	0,12	0,15	0,38	—	—
	0,4	—	0,12	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,13	0,31	—
	0,5	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,12	0,20
	0,6	—	0,10	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,12
	0,7	—	—	0,12	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09
	0,8	—	—	—	0,13	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
	0,9	—	—	—	—	0,14	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07
	1,0	—	—	—	—	—	0,15	0,07	0,07	0,06	0,06
e = 0,6	0,0	—	—	—	—	—	0,50	0,50	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	0,47	0,53	—	—	—
	0,2	—	—	—	—	0,28	0,16	0,17	0,38	—	—
	0,3	—	—	—	0,21	0,11	0,11	0,11	0,14	0,32	—
	0,4	—	—	0,15	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,13	0,29
	0,5	—	0,10	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,12
	0,6	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09
	0,7	—	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
	0,8	—	—	0,10	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
	0,9	—	—	—	0,12	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
	1,0	—	—	—	—	0,12	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05

Độ lệch tâm e	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ R ₁ - R ₂									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
e = 0,7	0,0	—	—	—	—	—	—	0,50	0,50	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	—	0,48	0,52	—	—
	0,2	—	—	—	—	—	0,29	0,16	0,17	0,37	—
	0,3	—	—	—	—	0,21	0,11	0,10	0,11	0,14	0,31
	0,4	—	—	—	0,16	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12
	0,5	—	—	0,12	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09
	0,6	—	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
	0,7	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
	0,8	—	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,9	—	—	0,09	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
	1,0	—	—	—	0,10	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
e = 0,8	0,0	—	—	—	—	—	—	—	0,50	0,50	—
	0,1	—	—	—	—	—	—	—	0,48	0,52	—
	0,2	—	—	—	—	—	—	0,30	0,16	0,17	0,37
	0,3	—	—	—	—	—	0,22	0,11	0,11	0,14	0,14
	0,4	—	—	—	—	0,17	0,09	0,08	0,08	0,08	0,10
	0,5	—	—	—	0,13	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
	0,6	—	—	0,10	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
	0,7	—	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
	0,8	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
	0,9	—	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
	1,0	—	—	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Phụ lục 2

Hệ số phủ $\bar{S}_r$

Độ lệch tâm $e_{\max}$	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
$e_{\max} = 0,25$	0,0	0,26	0,33	0,41	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,18	0,37	0,33	0,11	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,10	0,26	0,30	0,23	0,09	—	—	—	—	—
	0,3	0,03	0,13	0,26	0,28	0,21	0,08	—	—	—	—
	0,4	—	0,05	0,14	0,26	0,28	0,20	0,08	—	—	—
	0,5	—	—	0,06	0,14	0,26	0,28	0,19	0,08	—	—
	0,6	—	—	—	0,06	0,14	0,26	0,27	0,18	0,08	—
	0,7	—	—	—	—	0,06	0,15	0,26	0,27	0,18	0,08
	0,8	—	—	—	—	—	0,06	0,15	0,26	0,27	0,17
	0,9	—	—	—	—	—	—	0,06	0,16	0,26	0,26
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	0,06	0,15	0,26
$e_{\max} = 0,4$	0,0	0,16	0,17	0,21	0,46	0,06	—	—	—	—	—
	0,1	0,11	0,19	0,23	0,26	0,15	—	—	—	—	—
	0,2	0,05	0,18	0,25	0,19	0,16	0,11	—	—	—	—
	0,3	0,04	0,12	0,19	0,21	0,11	0,14	0,10	—	—	—
	0,4	0,03	0,05	0,11	0,18	0,20	0,10	0,13	0,09	—	—
	0,5	—	0,04	0,07	0,11	0,18	0,19	0,19	0,12	0,09	—
	0,6	—	—	0,05	0,08	0,11	0,18	0,19	0,14	0,12	0,08
	0,7	—	—	—	0,05	0,08	0,11	0,18	0,19	0,14	0,16
	0,8	—	—	—	—	0,05	0,08	0,16	0,23	0,19	0,15
	0,9	—	—	—	—	—	0,05	0,08	0,12	0,18	0,18
	1,0	—	—	—	—	—	—	0,04	0,05	0,07	0,11
$e_{\max} = 0,5$	0,0	0,13	0,13	0,15	0,18	0,41	0,05	—	—	—	—
	0,1	0,08	0,16	0,15	0,20	0,23	0,13	—	—	—	—
	0,2	0,04	0,14	0,21	0,19	0,15	0,14	0,09	—	—	—
	0,3	0,26	0,10	0,18	0,19	0,15	0,12	0,12	0,08	—	—
	0,4	0,03	0,08	0,10	0,16	0,17	0,18	0,16	0,06	0,08	—
	0,5	0,02	0,05	0,07	0,03	0,16	0,18	0,13	0,11	0,10	0,07
	0,6	—	0,03	0,05	0,07	0,19	0,15	0,17	0,12	0,10	0,10
	0,7	—	—	0,03	0,07	0,07	0,10	0,16	0,17	0,12	0,10
	0,8	—	—	—	0,04	0,06	0,06	0,10	0,16	0,17	0,12
	0,9	—	—	—	—	0,04	0,06	0,08	0,10	0,16	0,17
	1,0	—	—	—	—	—	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09

Độ lệch tâm $e_{\max}$	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
$e_{\max} = 0,6$	0,0	0,11	0,11	0,12	0,13	0,16	0,37	0,04	—	—	—
	0,1	0,07	0,19	0,12	0,14	0,18	0,22	0,12	—	—	—
	0,2	0,03	0,11	0,16	0,16	0,17	0,14	0,12	0,09	—	—
	0,3	0,02	0,07	0,11	0,18	0,14	0,11	0,11	0,10	0,07	—
	0,4	0,02	0,06	0,11	0,15	0,16	0,12	0,10	0,10	0,09	0,09
	0,5	0,02	0,05	0,07	0,09	0,14	0,15	0,12	0,09	0,09	0,09
	0,6	0,02	0,04	0,05	0,06	0,09	0,14	0,13	0,10	0,09	0,09
	0,7	—	0,02	0,04	0,05	0,06	0,09	0,14	0,12	0,11	0,09
	0,8	—	—	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,13	0,14	0,12
	0,9	—	—	—	0,03	0,05	0,06	0,07	0,10	0,14	0,15
	1,0	—	—	—	—	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08
$e_{\max} = 0,7$	0,0	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15	0,34	0,04	—	—
	0,1	0,06	0,10	0,10	0,10	0,12	0,16	0,18	0,11	—	—
	0,2	0,03	0,09	0,12	0,12	0,14	0,15	0,14	0,11	0,07	—
	0,3	0,02	0,06	0,12	0,16	0,14	0,11	0,10	0,09	0,09	0,06
	0,4	0,01	0,05	0,09	0,14	0,14	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
	0,5	0,01	0,08	0,07	0,09	0,12	0,13	0,10	0,09	0,08	0,07
	0,6	0,02	0,04	0,04	0,05	0,08	0,12	0,12	0,10	0,08	0,06
	0,7	0,01	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,17	0,12	0,10	0,08
	0,8	—	0,03	0,03	0,05	0,05	0,08	0,12	0,12	0,12	0,09
	0,9	—	—	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,08	0,12	0,12
	1,0	—	—	—	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07

Hệ số vận tốc V_r

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,1$											
-2	0,0	0,10	0,34	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,16	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,49	0,68	—	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	—	0,79	0,99	—	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	—	1,10	1,29	—	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	—	1,40	1,59	—	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	—	1,69	1,82	—	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	—	2,01	2,19	—	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	—	2,32	2,49	—
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	2,60	2,80
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,90
-1	0,0	0,10	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,12	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,33	0,44	—	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	—	0,53	0,64	—	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	—	0,73	0,84	—	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	—	0,94	1,04	—	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	—	1,15	1,24	—	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	—	1,35	1,44	—	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	—	1,54	1,64	—
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	1,74	1,84
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,95
+2	0,0	0,16	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,12	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,16	0,32	—	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	—	0,23	0,42	—	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	—	0,32	0,51	—	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	—	0,42	0,61	—	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	—	0,51	0,70	—	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	—	0,61	0,80	—	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	—	0,70	0,91	—
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	0,80	1,01
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,91

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,2$											
-2	0,0	—	0,23	0,54	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	0,29	0,57	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,23	0,42	0,64	0,88	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	0,57	0,75	0,96	1,18	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	0,88	1,09	1,30	1,49	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	1,18	1,38	1,58	1,79	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	1,49	1,68	1,82	2,09	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	1,80	1,98	2,20	2,39	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	2,10	2,30	2,50	2,69
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	2,34	2,68	2,80
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	2,71	2,90
-1	0,0	—	0,10	0,29	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	0,15	0,31	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,21	0,29	0,40	0,5	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	0,43	0,51	0,62	0,73	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	0,63	0,72	0,83	0,94	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	0,84	0,93	1,03	1,17	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	1,04	1,13	1,24	1,34	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	1,24	1,34	1,44	1,51	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	1,45	1,59	1,64	1,77
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	1,64	1,74	1,84
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	1,84	1,94
+2	0,0	—	0,35	0,45	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	0,33	0,43	—	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,21	0,29	0,40	0,53	—	—	—	—	—	—
	0,3	—	0,18	0,33	0,48	0,62	—	—	—	—	—
	0,4	—	—	0,21	0,40	0,56	0,72	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	0,27	0,48	0,65	0,82	—	—	—
	0,6	—	—	—	—	0,35	0,56	0,75	0,91	—	—
	0,7	—	—	—	—	—	0,44	0,65	0,84	1,01	—
	0,8	—	—	—	—	—	—	0,53	0,75	0,94	1,11
	0,9	—	—	—	—	—	—	—	0,62	0,84	1,04
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	0,72	0,94

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,3$											
-2	0,0	—	—	0,44	0,74	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	0,47	0,76	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,27	0,56	0,82	1,07	—	—	—	—	—
	0,3	0,32	0,48	0,68	0,91	1,14	1,36	—	—	—	—
	0,4	—	0,65	0,82	1,02	1,24	1,45	1,68	—	—	—
	0,5	—	—	0,97	1,16	1,35	1,55	1,76	1,98	—	—
	0,6	—	—	—	1,28	1,46	1,65	1,86	2,06	2,28	—
	0,7	—	—	—	—	1,52	1,77	1,99	2,18	2,38	2,58
	0,8	—	—	—	—	—	1,89	2,07	2,26	2,59	2,67
	0,9	—	—	—	—	—	—	2,18	2,39	2,59	2,80
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	2,49	2,70	2,90
-1	0,0	—	—	0,18	0,39	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	0,23	0,41	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,18	0,33	0,48	0,62	—	—	—	—	—
	0,3	0,30	0,38	0,46	0,57	0,70	0,83	—	—	—	—
	0,4	—	0,52	0,59	0,69	0,79	0,91	1,03	—	—	—
	0,5	—	—	0,73	0,79	0,89	1,01	1,11	1,24	—	—
	0,6	—	—	—	0,93	1,01	1,11	1,21	1,32	1,43	—
	0,7	—	—	—	—	1,13	1,22	1,32	1,46	1,57	1,64
	0,8	—	—	—	—	—	1,34	1,42	1,52	1,61	1,73
	0,9	—	—	—	—	—	—	1,54	1,63	1,71	1,83
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	1,74	1,83	1,90
+2	0,0	—	—	0,55	0,66	—	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	0,54	0,64	—	—	—	—	—	—
	0,2	—	0,43	0,51	0,62	0,73	—	—	—	—	—
	0,3	0,30	0,38	0,46	0,57	0,70	0,83	—	—	—	—
	0,4	—	0,25	0,40	0,51	0,65	0,78	0,93	—	—	—
	0,5	—	—	0,23	0,41	0,57	0,73	0,88	1,03	—	—
	0,6	—	—	—	0,23	0,47	0,65	0,81	0,97	1,12	—
	0,7	—	—	—	—	0,30	0,54	0,73	0,90	1,06	1,24
	0,8	—	—	—	—	—	0,36	0,62	0,81	1,00	1,16
	0,9	—	—	—	—	—	—	0,46	0,70	0,90	1,08
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	0,54	0,80	0,98

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,4$											
-2	0,0	—	—	—	0,64	0,94	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	0,66	0,96	—	—	—	—	—
	0,2	—	—	0,42	0,73	1,01	1,27	—	—	—	—
	0,3	—	0,29	0,57	0,83	1,08	1,32	1,57	—	—	—
	0,4	0,42	0,54	0,73	0,94	1,17	1,40	1,64	1,88	—	—
	0,5	—	0,75	0,89	1,08	1,28	1,50	1,72	1,95	2,18	—
	0,6	—	—	1,06	1,22	1,40	1,60	1,81	2,09	2,25	2,48
	0,7	—	—	—	1,37	1,54	1,72	1,91	2,12	2,34	2,56
	0,8	—	—	—	—	1,67	1,84	2,02	2,23	2,44	2,67
	0,9	—	—	—	—	—	1,98	2,16	2,34	2,53	2,74
	1,0	—	—	—	—	—	—	2,27	2,44	2,65	2,85
-1	0,0	—	—	—	0,29	0,49	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	0,32	0,51	—	—	—	—	—
	0,2	—	—	0,21	0,40	0,56	0,72	—	—	—	—
	0,3	—	0,25	0,38	0,51	0,65	0,79	0,97	—	—	—
	0,4	0,40	0,45	0,53	0,63	0,75	0,87	1,04	1,13	—	—
	0,5	—	0,61	0,68	0,77	0,86	0,97	1,12	1,21	1,34	—
	0,6	—	—	0,82	0,89	0,98	1,08	1,19	1,29	1,41	1,54
	0,7	—	—	—	1,03	1,11	1,19	1,29	1,39	1,50	1,62
	0,8	—	—	—	—	1,23	1,31	1,41	1,49	1,60	1,71
	0,9	—	—	—	—	—	1,43	1,52	1,61	1,70	1,80
	1,0	—	—	—	—	—	—	1,66	1,72	1,86	1,91
+2	0,0	—	—	—	0,75	0,85	—	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	0,74	0,83	—	—	—	—	—
	0,2	—	—	0,63	0,72	0,82	0,94	—	—	—	—
	0,3	—	0,52	0,59	0,69	0,79	0,91	1,03	—	—	—
	0,4	0,40	0,45	0,53	0,63	0,75	0,87	1,00	1,13	—	—
	0,5	—	0,33	0,44	0,56	0,69	0,83	0,95	1,09	1,23	—
	0,6	—	—	0,29	0,45	0,60	0,75	0,89	1,04	1,18	1,32
	0,7	—	—	—	0,27	0,48	0,66	0,82	0,98	1,12	1,27
	0,8	—	—	—	—	0,29	0,53	0,72	0,89	1,05	1,21
	0,9	—	—	—	—	—	0,35	0,59	0,79	0,98	1,14
	1,0	—	—	—	—	—	—	0,41	0,66	0,87	0,99

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 \sim R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,5$											
-2	0,0	—	—	—	—	0,85	1,15	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	0,87	1,16	—	—	—	—
	0,2	—	—	—	0,61	0,92	1,20	1,47	—	—	—
	0,3	—	—	0,40	0,72	1,00	1,26	1,52	1,77	—	—
	0,4	—	0,36	0,61	0,85	1,10	1,34	1,59	1,84	2,08	—
	0,5	0,53	0,63	0,83	1,00	1,21	1,46	2,67	1,90	2,14	2,38
	0,6	—	0,85	0,98	1,15	1,34	1,54	1,77	1,99	2,22	2,45
	0,7	—	—	1,17	1,31	1,50	1,69	1,89	2,09	2,30	2,54
	0,8	—	—	—	1,47	1,62	1,80	1,99	2,19	2,40	2,62
	0,9	—	—	—	—	1,78	1,95	2,13	2,29	2,50	2,70
	1,0	—	—	—	—	—	2,08	2,24	2,43	2,60	2,80
-1	0,0	—	—	—	—	0,39	0,59	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	0,41	0,61	—	—	—	—
	0,2	—	—	—	0,27	0,48	0,66	0,82	—	—	—
	0,3	—	—	0,23	0,41	0,57	0,73	0,88	1,02	—	—
	0,4	—	0,23	0,44	0,56	0,68	0,82	0,96	1,09	1,23	—
	0,5	0,50	0,54	0,61	0,70	0,80	0,86	1,04	1,17	1,30	1,43
	0,6	—	0,71	0,77	0,84	0,93	1,03	1,15	1,27	1,38	1,51
	0,7	—	—	0,92	0,98	1,06	1,15	1,26	1,34	1,47	1,60
	0,8	—	—	—	1,12	1,19	1,27	1,36	1,46	1,56	1,68
	0,9	—	—	—	—	1,38	1,40	1,48	1,57	1,67	1,78
	1,0	—	—	—	—	—	1,53	1,60	1,69	1,78	1,88
+2	0,0	—	—	—	—	0,95	1,05	—	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	0,94	1,04	—	—	—	—
	0,2	—	—	—	0,84	0,91	1,03	1,14	—	—	—
	0,3	—	—	0,73	0,81	0,90	1,00	1,10	1,24	—	—
	0,4	—	0,65	0,68	0,77	0,86	0,97	1,08	1,21	1,34	—
	0,5	0,50	0,54	0,61	0,70	0,81	0,92	1,04	1,17	1,30	1,43
	0,6	—	0,43	0,51	0,61	0,74	0,86	0,99	1,10	1,26	1,39
	0,7	—	—	0,36	0,50	0,64	0,78	0,92	1,07	1,20	1,36
	0,8	—	—	—	0,32	0,51	0,68	0,84	0,99	1,14	1,29
	0,9	—	—	—	—	0,30	0,54	0,73	0,90	1,07	1,20
	1,0	—	—	—	—	—	0,31	0,58	0,79	0,97	1,11

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	0.8 - 0.9	0.9 - 1.0
Khi $e = 0.6$											
- 2	0,0	—	—	—	—	—	1,05	1,35	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	1,06	1,36	—	—	—
	0,2	—	—	—	—	0,78	1,10	1,39	1,66	—	—
	0,3	—	—	—	0,53	0,87	1,17	1,44	1,71	1,97	—
	0,4	—	—	0,37	0,70	0,99	1,25	1,51	1,77	2,02	2,27
	0,5	—	0,40	0,64	0,87	1,11	1,36	1,60	1,84	2,08	2,33
	0,6	0,61	0,70	0,86	1,04	1,25	1,47	1,70	1,93	2,19	2,40
	0,7	—	0,94	1,06	1,21	1,40	1,60	1,81	2,03	2,25	2,49
	0,8	—	—	1,26	1,39	1,55	1,73	1,93	2,14	2,35	2,57
	0,9	—	—	—	1,56	1,71	1,88	2,06	2,25	2,46	2,67
	1,0	—	—	—	—	1,87	2,02	2,19	2,38	2,57	2,77
- 1	0,0	—	—	—	—	—	0,49	0,69	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	0,51	0,71	—	—	—
	0,2	—	—	—	—	0,35	0,57	0,75	0,92	—	—
	0,3	—	—	—	0,25	0,47	0,65	0,81	0,98	1,12	—
	0,4	—	—	0,29	0,46	0,60	0,75	0,90	1,04	1,18	1,32
	0,5	—	0,43	0,51	0,62	0,74	0,86	0,99	1,12	1,26	1,39
	0,6	0,60	0,64	0,70	0,78	0,87	0,98	1,10	1,22	1,34	1,47
	0,7	—	0,81	0,86	0,93	1,01	1,11	1,21	1,32	1,44	1,56
	0,8	—	—	1,02	1,08	1,15	1,23	1,33	1,43	1,54	1,65
	0,9	—	—	—	1,23	1,29	1,36	1,45	1,54	1,64	1,75
	1,0	—	—	—	—	1,43	1,50	1,58	1,67	1,76	1,86
+ 2	0,0	—	—	—	—	—	1,15	1,25	—	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	1,14	1,24	—	—	—
	0,2	—	—	—	—	1,04	1,13	1,23	1,34	—	—
	0,3	—	—	—	0,93	1,02	1,11	1,21	1,32	1,44	—
	0,4	—	—	0,88	0,90	0,99	1,08	1,18	1,30	1,41	1,54
	0,5	—	0,72	0,77	0,85	0,93	1,04	1,15	1,27	1,38	1,51
	0,6	0,60	0,64	0,70	0,78	0,97	0,99	1,10	1,22	1,34	1,47
	0,7	—	0,57	0,60	0,70	0,80	0,91	1,03	1,16	1,29	1,43
	0,8	—	—	0,46	0,57	0,70	0,83	0,96	1,10	1,23	1,37
	0,9	—	—	—	0,39	0,56	0,72	0,87	1,02	1,16	1,31
	1,0	—	—	—	—	0,35	0,57	0,75	0,92	1,08	1,23

Tỷ số tần số quay n_0/n_c	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e = 0,7$											
-2	0,0	—	—	—	—	—	—	1,25	1,55	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	—	1,26	1,56	—	—
	0,2	—	—	—	—	—	0,98	1,29	1,58	1,86	—
	0,3	—	—	—	—	0,71	1,05	1,35	1,63	1,90	2,17
	0,4	—	—	—	0,47	0,84	1,15	1,43	1,69	1,96	2,22
	0,5	—	—	0,38	0,71	1,00	1,29	1,52	1,77	2,03	2,28
	0,6	—	1,48	0,69	0,91	1,15	1,38	1,62	1,86	2,11	2,35
	0,7	0,71	0,79	0,93	1,11	1,30	1,52	1,74	1,97	2,20	2,43
	0,8	—	1,04	1,15	1,29	1,47	1,66	1,86	2,08	2,30	2,52
	0,9	—	—	1,35	1,48	1,63	1,81	2,00	2,20	2,41	2,62
	1,0	—	—	—	1,65	1,80	1,96	2,13	2,38	2,52	2,73
-1	0,0	—	—	—	—	—	—	0,60	0,80	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	—	0,62	0,81	—	—
	0,2	—	—	—	—	—	0,44	0,66	0,85	1,02	—
	0,3	—	—	—	—	0,31	0,54	0,73	0,90	1,06	1,22
	0,4	—	—	—	0,27	0,48	0,66	0,82	0,98	1,13	1,28
	0,5	—	—	0,37	0,50	0,64	0,78	0,92	1,06	1,21	1,35
	0,6	—	0,57	0,60	0,69	0,80	0,91	1,04	1,16	1,29	1,43
	0,7	0,70	0,73	0,78	0,86	0,95	1,05	1,15	1,27	1,39	1,51
	0,8	—	0,91	0,95	1,01	1,09	1,18	1,28	1,38	1,49	1,61
	0,9	—	—	1,12	1,17	1,24	1,32	1,40	1,50	1,60	1,71
	1,0	—	—	—	1,32	1,38	1,45	1,53	1,62	1,72	1,82
+2	0,0	—	—	—	—	—	—	1,35	1,45	—	—
	0,1	—	—	—	—	—	—	1,35	1,45	—	—
	0,2	—	—	—	—	—	1,24	1,34	1,44	1,54	—
	0,3	—	—	—	—	1,14	1,22	1,32	1,42	1,53	1,64
	0,4	—	—	—	1,03	1,11	1,20	1,29	1,39	1,50	1,62
	0,5	—	—	0,92	0,99	1,06	1,15	1,25	1,36	1,47	1,56
	0,6	—	0,81	0,86	0,93	1,01	1,11	1,21	1,32	1,40	1,56
	0,7	0,70	0,73	0,78	0,86	0,95	1,05	1,15	1,27	1,39	1,51
	0,8	—	0,62	0,68	0,76	0,86	0,97	1,09	1,11	1,34	1,46
	0,9	—	—	0,54	0,64	0,76	0,88	1,01	1,14	1,27	1,40
	1,0	—	—	—	0,47	0,62	0,76	0,91	1,05	1,19	1,35

Tỷ số tần số quay n_2/n_1 .	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e_{\max} = 0,25$											
-2	0,0	0,02	0,27	0,56	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,07	0,32	0,59	0,84	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,27	0,44	0,66	0,89	1,13	—	—	—	—	—
	0,3	0,48	0,59	0,77	0,97	1,20	1,44	—	—	—	—
	0,4	—	0,75	0,89	1,08	1,28	1,50	1,72	—	—	—
	0,5	—	—	1,03	1,20	1,38	1,58	1,80	2,02	—	—
	0,6	—	—	—	1,33	1,50	1,69	1,89	2,10	2,32	—
	0,7	—	—	—	—	1,62	1,80	1,99	2,19	2,40	2,61
	0,8	—	—	—	—	—	1,92	2,10	2,29	1,49	2,70
	0,9	—	—	—	—	—	—	2,22	2,40	2,59	2,79
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	2,51	2,70	2,89
-1	0,0	0,01	0,12	0,31	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,06	0,18	0,34	0,49	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,23	0,31	0,42	0,55	0,68	—	—	—	—	—
	0,3	0,40	0,44	0,53	0,63	0,75	0,87	—	—	—	—
	0,4	—	0,58	0,65	0,73	0,83	0,95	1,07	—	—	—
	0,5	—	—	0,77	0,85	0,94	1,04	1,15	1,26	—	—
	0,6	—	—	—	0,97	1,05	1,14	1,24	1,35	1,46	—
	0,7	—	—	—	—	1,17	1,25	1,34	1,44	1,55	1,66
	0,8	—	—	—	—	—	1,36	1,45	1,54	1,64	1,75
	0,9	—	—	—	—	—	—	1,56	1,65	1,74	1,84
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	1,76	1,85	1,94
+2	0,0	0,23	0,31	0,42	—	—	—	—	—	—	—
	0,1	0,18	0,29	0,41	0,54	—	—	—	—	—	—
	0,2	0,12	0,23	0,37	0,51	0,65	—	—	—	—	—
	0,3	0,04	0,10	0,29	0,46	0,61	0,75	—	—	—	—
	0,4	—	0,02	0,12	0,30	0,55	0,71	0,86	—	—	—
	0,5	—	—	0,06	0,19	0,46	0,64	0,81	0,96	—	—
	0,6	—	—	—	0,02	0,31	0,57	0,73	0,91	1,07	—
	0,7	—	—	—	—	0,04	0,41	0,64	0,83	1,00	1,17
	0,8	—	—	—	—	—	0,12	0,51	0,73	0,93	1,10
	0,9	—	—	—	—	—	—	0,29	0,61	0,83	1,02
	1,0	—	—	—	—	—	—	—	0,42	0,71	0,93

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e_{\max} = 0,4$											
-2	0,0	0,01	0,17	0,48	0,78	1,04	—	—	—	—	—
	0,1	0,04	0,20	0,57	0,80	1,06	—	—	—	—	—
	0,2	0,17	0,32	0,60	0,85	1,10	1,34	—	—	—	—
	0,3	0,36	0,51	0,72	0,93	1,16	1,40	1,64	—	—	—
	0,4	0,60	0,69	0,85	1,04	1,25	1,47	1,70	1,93	—	—
	0,5	—	0,87	1,00	1,16	1,35	1,56	1,78	2,00	2,23	—
	0,6	—	—	1,15	1,30	1,47	1,66	1,88	2,08	2,30	2,52
	0,7	—	—	—	1,44	1,60	1,78	1,97	2,17	2,38	2,60
	0,8	—	—	—	—	1,73	1,90	2,08	2,27	2,48	2,68
	0,9	—	—	—	—	—	2,03	2,20	2,38	2,58	2,78
	1,0	—	—	—	—	—	—	2,33	2,50	2,68	2,88
-1	0,0	0,01	0,08	0,22	0,42	0,58	—	—	—	—	—
	0,1	0,04	0,11	0,26	0,44	0,60	—	—	—	—	—
	0,2	0,15	0,22	0,37	0,51	0,65	0,79	—	—	—	—
	0,3	0,34	0,40	0,49	0,60	0,72	0,85	0,98	—	—	—
	0,4	0,51	0,55	0,62	0,71	0,81	0,93	1,05	1,18	—	—
	0,5	—	0,69	0,75	0,82	0,92	1,02	1,13	1,25	1,37	—
	0,6	—	—	0,88	0,95	1,03	1,12	1,23	1,33	1,45	1,57
	0,7	—	—	—	1,08	1,15	1,23	1,33	1,43	1,54	1,65
	0,8	—	—	—	—	1,27	1,35	1,44	1,53	1,63	1,74
	0,9	—	—	—	—	—	1,47	1,55	1,64	1,73	1,83
	1,0	—	—	—	—	—	—	1,67	1,75	1,84	1,93
+2	0,0	0,33	0,40	0,49	0,60	0,72	—	—	—	—	—
	0,1	0,30	0,38	0,48	0,60	0,72	—	—	—	—	—
	0,2	0,25	0,33	0,45	0,57	0,70	0,83	—	—	—	—
	0,3	0,17	0,23	0,38	0,52	0,66	0,80	0,94	—	—	—
	0,4	0,11	0,15	0,25	0,45	0,60	0,75	0,90	1,04	—	—
	0,5	—	0,07	0,13	0,30	0,52	0,69	0,85	1,00	1,15	—
	0,6	—	—	0,05	0,15	0,40	0,60	0,75	0,94	1,10	1,25
	0,7	—	—	—	0,03	0,17	0,48	0,69	0,85	1,04	1,20
	0,8	—	—	—	—	0,05	0,25	0,57	0,78	0,96	1,14
	0,9	—	—	—	—	—	0,27	0,56	0,77	0,97	1,06
	1,0	—	—	—	—	—	—	0,11	0,49	0,75	0,96

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e_{\max} = 0,5$											
-2	0,0	0,01	0,13	0,39	0,73	1,01	1,27	—	—	—	—
	0,1	0,04	0,16	0,41	0,75	1,02	1,28	—	—	—	—
	0,2	0,13	0,30	0,51	0,81	1,07	1,32	1,57	—	—	—
	0,3	0,29	0,41	0,66	0,90	1,13	1,37	1,62	1,86	—	—
	0,4	0,51	0,63	0,81	1,01	1,22	1,45	1,68	1,91	2,15	—
	0,5	0,75	0,83	0,96	1,13	1,33	1,54	1,76	1,98	2,21	2,44
	0,6	—	1,01	1,12	1,27	1,45	1,64	1,85	2,06	2,29	2,51
	0,7	—	—	1,28	1,42	1,58	1,76	1,95	2,16	2,37	2,59
	0,8	—	—	—	1,57	1,71	1,88	2,06	2,26	2,46	2,67
	0,9	—	—	—	—	1,86	2,01	2,18	2,37	2,56	2,77
	1,0	—	—	—	—	—	2,15	2,31	2,49	2,67	2,87
-1	0,0	0,01	0,06	0,18	0,36	0,55	0,79	—	—	—	—
	0,1	0,03	0,09	0,21	0,39	0,57	0,72	—	—	—	—
	0,2	0,12	0,18	0,30	0,47	0,62	0,77	0,91	—	—	—
	0,3	0,27	0,33	0,45	0,57	0,70	0,83	0,96	1,10	—	—
	0,4	0,47	0,51	0,59	0,68	0,79	0,91	1,03	1,16	1,29	—
	0,5	0,64	0,67	0,72	0,80	0,90	1,00	1,12	1,24	1,36	1,49
	0,6	—	0,82	0,86	0,93	1,01	1,11	1,21	1,32	1,44	1,56
	0,7	—	—	1,00	1,06	1,13	1,22	1,31	1,42	1,53	1,64
	0,8	—	—	—	1,19	1,26	1,34	1,42	1,52	1,62	1,73
	0,9	—	—	—	—	1,39	1,46	1,54	1,63	1,72	1,82
	1,0	—	—	—	—	—	1,58	1,66	1,74	1,83	1,93
+2	0,0	0,40	0,46	0,55	0,65	0,77	0,84	—	—	—	—
	0,1	0,37	0,44	0,54	0,64	0,76	0,88	—	—	—	—
	0,2	0,33	0,40	0,50	0,62	0,74	0,87	1,00	—	—	—
	0,3	0,26	0,31	0,44	0,57	0,70	0,84	0,97	1,11	—	—
	0,4	0,20	0,23	0,33	0,50	0,65	0,79	0,93	1,07	1,21	—
	0,5	0,12	0,15	0,22	0,37	0,57	0,73	0,88	1,03	1,18	1,32
	0,6	—	0,08	0,13	0,23	0,46	0,65	0,82	0,98	1,13	1,28
	0,7	—	—	0,06	0,12	0,26	0,54	0,73	0,91	1,07	1,23
	0,8	—	—	—	0,04	0,13	0,33	0,62	0,82	1,00	1,16
	0,9	—	—	—	—	0,03	0,15	0,44	0,70	0,91	1,09
	1,0	—	—	—	—	—	0,04	0,20	0,55	0,79	1,00

Tỷ số tần số quay n_2/n_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e_{\max} = 0,6$											
-2	0,0	0,01	0,11	0,32	0,65	0,96	1,24	1,50	—	—	—
	0,1	0,03	0,13	0,34	0,67	0,98	1,25	1,51	—	—	—
	0,2	0,11	0,22	0,42	0,74	1,02	1,29	1,54	1,79	—	—
	0,3	0,24	0,34	0,57	0,84	1,10	1,34	1,59	1,84	2,08	—
	0,4	0,42	0,54	0,74	0,56	1,19	1,42	1,66	1,89	2,13	2,37
	0,5	0,67	0,77	0,91	1,10	1,30	1,51	1,73	1,96	2,19	2,43
	0,6	0,90	0,96	1,08	1,24	1,42	1,62	1,83	2,04	2,27	2,49
	0,7	—	1,15	1,25	1,39	1,55	1,73	1,93	2,14	2,36	2,57
	0,8	—	—	1,42	1,54	1,69	1,86	2,04	2,24	2,45	2,66
	0,9	—	—	—	1,70	1,84	1,99	2,17	2,35	2,55	2,75
	1,0	—	—	—	—	1,99	2,13	2,29	2,47	2,66	2,85
-1	0,0	0,04	0,05	0,15	0,30	0,50	0,68	0,84	—	—	—
	0,1	0,03	0,07	0,17	0,33	0,52	0,69	0,85	—	—	—
	0,2	0,10	0,15	0,25	0,40	0,58	0,74	0,89	1,03	—	—
	0,3	0,22	0,28	0,38	0,52	0,66	0,80	0,94	1,08	1,22	—
	0,4	0,40	0,45	0,54	0,65	0,76	0,89	1,01	1,41	1,28	1,41
	0,5	0,60	0,63	0,69	0,78	0,87	0,98	1,10	1,22	1,34	1,47
	0,6	0,76	0,79	0,84	0,91	0,99	1,09	1,19	1,31	1,42	1,55
	0,7	—	0,94	0,98	1,04	1,12	1,20	1,30	1,40	1,51	1,63
	0,8	—	—	1,13	1,18	1,24	1,32	1,41	1,51	1,61	1,72
	0,9	—	—	—	1,31	1,37	1,44	1,53	1,62	1,71	1,82
	1,0	—	—	—	—	1,51	1,57	1,65	1,73	1,82	1,92
+2	0,0	0,47	0,52	0,60	0,70	0,81	0,93	1,06	—	—	—
	0,1	0,45	0,51	0,59	0,69	0,80	0,92	1,05	—	—	—
	0,2	0,40	0,47	0,56	0,67	0,78	0,91	1,03	1,16	—	—
	0,3	0,34	0,39	0,51	0,63	0,75	0,86	1,01	1,14	1,27	—
	0,4	0,28	0,32	0,40	0,56	0,70	0,84	0,97	1,11	1,24	1,38
	0,5	0,21	0,24	0,30	0,45	0,63	0,78	0,92	1,07	1,21	1,35
	0,6	0,14	0,16	0,22	0,32	0,52	0,70	0,86	1,01	1,16	1,31
	0,7	—	0,10	0,14	0,21	0,34	0,59	0,78	0,94	1,10	1,26
	0,8	—	—	0,06	0,12	0,22	0,40	0,67	0,86	1,03	1,19
	0,9	—	—	—	0,05	0,11	0,24	0,51	0,75	0,94	1,12
	1,0	—	—	—	—	0,04	0,12	0,28	0,60	0,84	1,03

Tỷ số tần số quay M_2/M_1	Kích thước miền vành r	Kích thước vành dụng cụ $R_1 - R_2$									
		0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0
Khi $e_{\max} = 0,7$											
-2	0,0	0,01	0,01	0,28	0,55	0,90	1,20	1,47	1,06	—	—
	0,1	0,03	0,12	0,29	0,58	0,92	1,21	1,48	1,74	—	—
	0,2	0,10	0,19	0,36	0,65	0,97	1,25	1,51	1,77	2,02	—
	0,3	0,21	0,29	0,49	0,76	1,05	1,31	1,58	1,81	2,07	2,31
	0,4	0,36	0,46	0,65	0,90	1,15	1,39	1,63	1,87	2,11	2,35
	0,5	0,58	0,67	0,85	1,05	1,26	1,48	1,71	1,94	2,17	2,41
	0,6	0,83	0,90	1,03	1,20	1,39	1,59	1,80	2,02	2,25	2,48
	0,7	1,05	1,10	1,21	1,35	1,52	1,71	1,91	2,12	2,33	2,55
	0,8	1,25	1,30	1,39	1,51	1,66	1,83	2,02	2,22	2,43	2,64
	0,9	—	—	1,55	1,67	1,81	1,97	2,14	2,33	2,53	2,73
	1,0	—	—	—	1,83	1,96	2,11	2,27	2,45	2,64	2,84
-1	0,0	0,04	0,04	0,13	0,26	0,43	0,64	0,81	0,97	—	—
	0,1	0,02	0,05	0,15	0,28	0,45	0,65	0,82	0,98	—	—
	0,2	0,08	0,13	0,21	0,35	0,52	0,70	0,83	1,01	1,16	—
	0,3	0,19	0,24	0,32	0,45	0,62	0,77	0,91	1,06	1,20	1,36
	0,4	0,35	0,39	0,48	0,60	0,73	0,86	0,99	1,12	1,26	1,39
	0,5	0,54	0,58	0,65	0,74	0,85	0,96	1,07	1,20	1,33	1,46
	0,6	0,73	0,75	0,81	0,88	0,97	1,07	1,17	1,29	1,41	1,59
	0,7	0,89	0,91	0,96	1,02	1,09	1,18	1,28	1,39	1,59	1,61
	0,8	1,05	1,07	1,10	1,16	1,22	1,30	1,39	1,49	1,59	1,70
	0,9	—	—	1,25	1,30	1,36	1,43	1,51	1,60	1,70	1,80
	1,0	—	—	—	1,44	1,49	1,56	1,63	1,72	1,81	1,90
+2	0,0	0,54	0,59	0,66	0,75	0,86	0,97	1,09	1,21	—	—
	0,1	0,52	0,58	0,65	0,75	0,85	0,97	1,09	1,21	—	—
	0,2	0,48	0,54	0,63	0,73	0,83	0,95	1,07	1,20	1,32	—
	0,3	0,42	0,47	0,58	0,69	0,80	0,92	1,05	1,18	1,31	1,44
	0,4	0,37	0,40	0,48	0,63	0,75	0,88	1,01	1,14	1,28	1,41
	0,5	0,29	0,33	0,39	0,52	0,69	0,83	0,97	1,10	1,24	1,38
	0,6	0,23	0,25	0,30	0,40	0,55	0,75	0,91	1,05	1,20	1,34
	0,7	0,16	0,18	0,22	0,29	0,42	0,65	0,83	0,99	1,14	1,29
	0,8	0,10	0,11	0,14	0,21	0,30	0,48	0,73	0,91	1,07	1,23
	0,9	—	—	0,08	0,13	0,20	0,33	0,58	0,80	0,99	1,16
	1,0	—	—	—	0,05	0,11	0,21	0,37	0,66	0,88	1,07

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Vũ Đăng Đồng*: Nghiên cứu tính toán điều chỉnh động học máy đảm bảo độ chính xác tạo hình bề mặt quang khi mài nghiền. Luận văn cao học - 1999.
2. *Nghiêm Hùng*: Vật liệu học. Trường ĐHBK Hà Nội - 1999.
3. *Nguyễn Trọng Hùng*: Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến độ chính xác tạo hình bề mặt phẳng chi tiết quang khi mài nghiền. Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật - ĐHBK Hà Nội - 2003.
4. *Nguyễn Trọng Hùng*: Chi tiết cơ cấu chính xác. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 2002.
5. *Nguyễn Thị Ngọc Lân*: Một số kết quả nghiên cứu về cơ sở nâng cao độ chính xác hình dáng hình học mặt cầu chi tiết thủy tinh quang học khi mài nghiền. Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật - ĐHBK Hà Nội - 1996.
6. *Nguyễn Đắc Lộc, Lê Văn Tiến*: Công nghệ chế tạo máy tập 1, 2. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 1992.
7. *Nguyễn Ngọc Sơn*: Thiết kế và chế tạo máy mài và đánh bóng chi tiết quang và ứng dụng tin học vào điều chỉnh yếu tố công nghệ. Luận văn thạc sỹ cơ khí - 2004.
8. *Nguyễn Tiến Thọ, Nguyễn Thị Xuân Bấy, Nguyễn Thị Cẩm Tú*: Kỹ thuật đo lường kiểm tra trong chế tạo cơ khí. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 2001.
9. *Nguyễn Thị Cẩm Tú*: Nghiên cứu phương pháp đo toạ độ Đề- các để đo đặc các thông số hình học của chi tiết trong ngành cơ khí. Luận văn cao học - 1999.
10. *Trần Đình Tường*: Màng mỏng quang học. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 2004.
11. *М. Н. Семибратов*: Технология оптических деталей. "Машиностроение". Москва - 1978.
12. *Р. А. Михнев, С. К. Штандель*: Оборудование оптических цехов. "Машиностроение". Москва - 1981.
13. *А. Н. Бардин*: Технология оптических стекла. "Высшая школа". Москва - 1963.
14. *И. Я. Левин*: Справочник конструктора точных приборов. Машиностроение. Москва - 1967.
15. *Ф. К. Литвин*: Справочник конструктора точного приборостроения. Машиностроение. Москва - 1964.
16. *В. А. Смирнов*: Обработка оптического стекла. Машиностроение. Ленинград - 1980.
17. *W. J. Smith*: Modern Optical Engineering. McGraw – Hill, Inc - 1990.
18. *R. Hradaynath*: Optical Workshop Technology. Tata McGraw – Hill Comp. Limited New Dehli - 1993.
19. LOH Optical Machinery for Precision Optics – 1987.

MỤC LỤC

Chương 1

CÁC DẠNG BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG VÀ ĐẶC TÍNH CÔNG NGHỆ CỦA CHÚNG..... -

1.1. Các dạng bề mặt chi tiết quang điển hình.....	7
1.2. Đặc tính công nghệ tạo hình bề mặt.....	9
1.3. Yêu cầu kỹ thuật đối với chi tiết quang.....	9
1.4. Các phương pháp tạo phôi chi tiết quang.....	14

Chương 2

VẬT LIỆU THỦY TINH QUANG HỌC..... 19

2.1. Quá trình chuyển hoá và thành phần hoá học của thủy tinh quang học .	19
2.2. Các tính chất cơ bản của thủy tinh quang học	24
2.3. Kiểm tra các tính chất quang của thủy tinh	31

Chương 3

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TẠO HÌNH BỀ MẶT CHI TIẾT QUANG

3.1. Quá trình mài mòn bề mặt thủy tinh bằng hạt mài tự do.....	36
3.2. Sự mài mòn bề mặt thủy tinh bằng hạt mài dính kết.....	40
3.3. Động học của quá trình mài nghiền và đánh bóng bề mặt chi tiết quang bằng hạt tự do.....	43
3.4. Cơ chế mài mòn các sóng nhấp nhô trên bề mặt phôi và dụng cụ	45
3.5. Điều kiện định vị ổn định khi mài nghiền - đánh bóng bề mặt chi tiết quang	50

Chương 4
ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ CƠ BẢN
ĐẾN QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH BỀ MẶT CẦU
VÀ BỀ MẶT PHẪNG CHI TIẾT QUANG 56

4.1. Ảnh hưởng của vận tốc thẳng tương đối	56
4.2. Ảnh hưởng của áp lực mài	63
4.3. Ảnh hưởng của nồng độ và sự phân bố huyền phù mài	67
4.4. Ảnh hưởng của sự nghiêng vỡ hạt mài	68
4.5. Ảnh hưởng của phân bố lượng dư gia công	69
4.6. Ảnh hưởng của hệ số điền đầy bề mặt	71

Chương 5
THIẾT BỊ GIA CÔNG 74

5.1. Máy của thủy tinh	74
5.2. Máy phay thủy tinh	75
5.3. Máy mài nghiền và đánh bóng thủy tinh	80
5.4. Máy mài tròn tinh ngoài và vát mép chi tiết quang (hay còn gọi là máy chỉnh tâm vát mép)	83

Chương 6
DỤNG CỤ GIA CÔNG VÀ GẮN GÁ 87

6.1. Dụng cụ mài	87
6.2. Dụng cụ đánh bóng	91
6.3. Dụng cụ gắn gá	94

Chương 7
VẬT LIỆU GIA CÔNG VÀ VẬT LIỆU PHỤ 102

7.1. Vật liệu mài (bột mài)	102
7.2. Vật liệu đánh bóng	110
7.3. Vật liệu phụ	111

Chương 8
ĐIỀU CHỈNH MÁY VÀ CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ..... 115

8.1. Nhiệm vụ điều chỉnh	115
8.2. Các yếu tố điều chỉnh máy	115
8.3. Các yếu tố làm tăng cường độ gia công.....	119
8.4. Chương trình động học gia công bề mặt quang	120

Chương 9
ĐO VÀ KIỂM TRA CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC
CHI TIẾT QUANG 129

9.1. Kiểm tra bán kính cầu và độ cầu bằng cầu kế	129
9.2. Kiểm tra độ phẳng và độ cầu bằng phương pháp giao thoa ánh sáng.....	133
9.3. Đo độ phẳng và độ cầu bằng phương pháp đo tọa độ	139
9.4. Kiểm tra độ cầu bằng gá đo kiểu tâm quay	141

Chương 10
CÔNG NGHỆ GIA CÔNG CÁC BỀ MẶT PHI CẦU 143

10.1. Chức năng của các bề mặt phi cầu	143
10.2. Các phương pháp gia công.....	144
10.3. Tính công nghệ gia công	147

PHỤ LỤC	152
----------------------	------------

TÀI LIỆU THAM KHẢO	169
---------------------------------	------------

205052



Giá: 24.000d