

PGS. TS NGUYỄN TIẾN THỌ
GVC. NGUYỄN THỊ XUÂN BẢY
TS. NGUYỄN THỊ CẨM TÚ

KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG - KIỂM TRA TRONG CHẾ TẠO CƠ KHÍ

*(Sách được dùng làm giáo trình cho sinh viên
đại học và cao đẳng kỹ thuật)*

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2001

<i>Chịu trách nhiệm xuất bản</i>	PGS. TS TÔ ĐĂNG HẢI
<i>Biên tập</i>	NGUYỄN THỊ NGỌC KHUÊ NGUYỄN MẠNH HÙNG
<i>Sửa bản in</i>	MẠNH HÙNG
<i>Trình bày bìa</i>	HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 TRẦN HƯNG ĐẠO HÀ NỘI

In 1000 quyển khổ 19 x 27 cm tại Nhà in Đại học Quốc gia Hà Nội

Giấy phép xuất bản số 123 - 233 - 7/2/2001.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 4 năm 2001.

MỤC LỤC

	Trang
<i>Lời nói đầu</i>	7
Chương 1. CÁC KHÁI NIỆM VÀ NGUYÊN TẮC CƠ BẢN TRONG ĐO LƯỜNG	9
1.1. Mở đầu	9
1.2. Các khái niệm cơ bản trong kỹ thuật đo lường	9
1.2.1. Đo lường	9
1.2.2. Đơn vị đo - Hệ thống đơn vị đo	10
1.2.3. Phương pháp đo	10
1.2.4. Kiểm tra - Phương pháp kiểm tra	12
1.2.5. Phương tiện đo - Phân loại phương tiện đo	13
1.2.6. Các chỉ tiêu đo lường cơ bản	14
1.3. Các nguyên tắc cơ bản trong khi đo	14
1.3.1. Nguyên tắc Abbe	14
1.3.2. Nguyên tắc xích kích thước ngắn nhất	16
1.3.3. Nguyên tắc chuẩn thống nhất	16
1.3.4. Nguyên tắc kinh tế	17
Chương 2. PHƯƠNG PHÁP ĐO CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC VÀ CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG CỦA CHI TIẾT CƠ KHÍ	18
2.1. Phương pháp đo kích thước thẳng	18
2.1.1. Phương pháp đo hai tiếp điểm	18
2.1.2. Phương pháp đo ba tiếp điểm	19
2.1.3. Phương pháp đo một tiếp điểm	24

2.2. Phương pháp đo kích thước góc	25
2.2.1. Phương pháp đo trực tiếp kích thước góc	25
2.2.2. Phương pháp đo gián tiếp kích thước góc	28
2.2.3. Đo góc theo phương pháp tọa độ	31
2.3. Phương pháp đo kích thước lỗ	31
2.3.1. Phương pháp đo bằng đồng hồ đo lỗ	31
2.3.2. Dùng gá đo lỗ	34
2.3.3. Phương pháp đo lỗ bằng phương tiện đo khí nén	35
2.4. Phương pháp đo kích thước lớn	37
2.4.1. Phương pháp đo cung	37
2.4.2. Phương pháp chu vi	38
2.4.3. Phương pháp con lăn	38
2.4.4. Phương pháp đo bằng máy kinh vĩ	39
2.5. Phương pháp đo kích thước tế vi	39
2.5.1. Phương pháp mặt cắt ánh sáng	40
2.5.2. Phương pháp giao thoa	40
2.5.3. Phương pháp đo tiếp xúc	41
2.6. Phương pháp đo các thông số chỉ tiêu chất lượng chính của chi tiết cơ khí	42
2.6.1. Phương pháp đo thông số sai số hình dáng bề mặt	43
2.6.1.1. Đo độ tròn	43
2.6.1.2. Đo độ trụ	47
2.6.1.3. Đo độ thẳng	51
2.6.1.4. Đo độ phẳng	53
2.6.2. Phương pháp đo thông số sai số vị trí tương đối	55
2.6.2.1. Đo độ song song	58
2.6.2.2. Đo độ vuông góc	60
2.6.2.3. Đo sai lệch góc nghiêng	62

2.6.2.4. Đo độ đồng trục và độ đảo hướng tâm	63
2.6.2.5. Đo độ đảo hướng trục	67
2.6.2.6. Đo độ xuyên tâm	68
2.6.2.7. Đo độ đối xứng	69
2.7. Phương pháp đo các thông số của chi tiết ren	71
2.7.1. Đo đường kính trung bình của ren	71
2.7.2. Đo góc nửa profin ren	75
2.7.3. Đo bước ren	76
2.8. Phương pháp đo các thông số bánh răng	79
2.8.1. Phương pháp kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp một bên	80
2.8.2. Phương pháp kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp khít	85
2.8.3. Phương pháp đo sai số tích lũy bước vòng	87
2.8.4. Phương pháp đo sai lệch giới hạn bước pháp cơ sở	91
2.8.5. Phương pháp đo sai lệch khoảng pháp tuyến chung	91
2.8.6. Phương pháp đo độ đảo hướng tâm vành răng	93
2.8.7. Phương pháp đo đường kính vòng chia	94
2.8.8. Phương pháp đo sai số profin răng	95
2.9. Phương pháp đo độ cứng bề mặt	97
2.9.1. Phương pháp đo độ cứng Brinell	97
2.9.2. Phương pháp đo độ cứng Rockwell	98
2.9.3. Phương pháp đo độ cứng Wickker	100
Chương 3. LÝ THUYẾT SAI SỐ - PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ	101
KẾT QUẢ ĐO THỰC NGHIỆM	
3.1. Khái niệm về sai số đo và phân loại	101
3.2. Sai số ngẫu nhiên - Phương pháp tính các thông số đặc trưng	102
3.3. Sai số hệ thống - Phương pháp khử sai số hệ thống	117
3.4. Sai số thô - Các chỉ tiêu loại sai số thô	121

3.5. Xử lý kết quả đo gián tiếp	126
3.5.1. Bài toán thuận	127
3.5.2. Bài toán nghịch	130
3.6. Độ chính xác và độ tin cậy của kết quả đo	134
3.6.1. Khi đo trực tiếp các đại lượng trong cùng điều kiện đo	134
3.6.2. Khi đo trực tiếp các đại lượng không cùng điều kiện đo	139
3.6.3. Xác định số lần đo cần thiết theo độ chính xác và độ tin cậy yêu cầu	141
3.7. Phương pháp xác định mối quan hệ thực nghiệm	144
3.7.1. Xác định quan hệ hàm số giữa các đại lượng	145
3.7.2. Xác định mối quan hệ tương quan giữa các đại lượng	151
3.7.3. Áp dụng lý thuyết hàm ngẫu nhiên trong nghiên cứu quan hệ thực nghiệm	158
Chương 4. CHỌN PHƯƠNG ÁN ĐO	160
4.1. Chọn phương pháp đo	160
4.2. Chọn độ chính xác của phương pháp đo	165
4.3. Chọn số lần đo	169
PHỤ LỤC	176
Bảng giá trị tích phân Laplace	176
Bảng giá trị tích phân Student	177
Bảng giá trị tích phân Macxoen	178
Tài liệu tham khảo	179

LỜI NÓI ĐẦU

Một quá trình sản xuất nghiêm túc là quá trình tạo ra những sản phẩm có chất lượng. Chất lượng sản phẩm thể hiện chất lượng lao động. Chỉ với chất lượng lao động cao thì mới tạo ra được những sản phẩm có chất lượng tốt. Không thể hy vọng có sản phẩm đạt chất lượng cao nếu không thực sự lao động nghiêm túc.

Trong sản xuất, đo lường là phương pháp để nhận biết chất lượng, và như vậy dụng cụ đo lường trở thành một trong những công cụ lao động góp phần tạo ra lao động có chất lượng cao, tạo ra các sản phẩm chất lượng tốt.

Trong quy trình công nghệ tạo ra một sản phẩm với các chỉ tiêu kỹ thuật qui định, bắt buộc phải bố trí các nguyên công kiểm tra sau từng nguyên công hay công đoạn đã góp phần hình thành yếu tố có chất lượng được qui định. Chỉ như thế, sản phẩm mới đảm bảo đạt các chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu. Cuốn "**Kỹ thuật đo lường - kiểm tra trong chế tạo cơ khí**" cung cấp các kiến thức cơ sở kỹ thuật đo cho các kỹ sư chế tạo máy để khi giải quyết công nghệ sản xuất có thể đưa ra được quy trình công nghệ hợp lý, có khả năng giải quyết các vấn đề về kỹ thuật đo lường - kiểm tra chất lượng sản phẩm, hơn thế, có thể thiết kế các giá lắp kiểm tra cho các trang bị công nghệ chế tạo sản phẩm, chọn được độ chính xác hợp lý cho phương pháp đo.

Cuốn sách trình bày các vấn đề cơ bản nhất của kỹ thuật đo mà không đi tỉ mỉ, cụ thể vào cấu tạo, hoạt động của dụng cụ đo nào. Trọng tâm của cuốn sách dành cho những vấn đề về phương pháp đo để xác định thông số hình học trong các chi tiết cơ khí. Về thiết kế chuyển đổi đo và kết cấu cụ thể các thiết bị đo chiều dài sẽ được trình bày trong cuốn "**Thiết bị đo trong chế tạo cơ khí**". Ngoài ra để phục vụ cho công tác nghiên cứu và thực nghiệm, cuốn sách còn trình bày các kiến thức cơ bản, tóm tắt về lý thuyết sai số và phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm - các kiến thức không thể thiếu trong công tác đo lường - kiểm tra sản xuất để đánh giá có tính chất thống kê chất lượng sản phẩm, máy móc...

Cuốn sách "**Kỹ thuật đo lường - kiểm tra trong chế tạo cơ khí**" được soạn làm tài liệu học tập chính thức cho sinh viên ngành Chế tạo cơ khí và Máy chính xác,

làm tài liệu tham khảo cho các sinh viên, học sinh kỹ thuật trong các ngành cơ khí nói chung.

Cuốn sách còn có thể giúp ích cho các cán bộ làm công tác kiểm tra kỹ thuật cơ khí, các kỹ sư công nghệ chế tạo và những người quan tâm đến vấn đề kỹ thuật đo lường - kiểm tra và nghiên cứu thực nghiệm.

Ngoài mục đích trang bị kỹ thuật đo lường - kiểm tra đảm bảo chất lượng sản phẩm, cuốn sách còn giúp người thiết kế nêu được một cách hợp lý các nhu cầu về chất lượng sản phẩm cũng như đưa ra được một quy trình công nghệ hợp lý để đảm bảo chất lượng đó. Cuốn sách này còn giúp ta chọn được phương án đo và độ chính xác của dụng cụ đo phù hợp với yêu cầu độ chính xác của sản phẩm.

Do cuốn sách được xuất bản lần đầu nên khó tránh khỏi sai sót, chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp của độc giả.

HÀ NỘI 2001

Các tác giả

CÁC KHÁI NIỆM VÀ NGUYÊN TẮC CƠ BẢN TRONG ĐO LƯỜNG

1.1. MỞ ĐẦU

Đảm bảo chất lượng sản phẩm trong sản xuất là đảm bảo hiệu quả kinh tế cho nền sản xuất.

Việc đảm bảo chất lượng sản phẩm không đơn thuần là việc kiểm tra sản phẩm sau khi chế tạo mà cái chính là phải vạch ra các nguyên nhân gây sai hỏng ngay trong khi gia công để có được quy trình công nghệ hợp lý có thể điều chỉnh quá trình gia công nhằm tạo ra sản phẩm đạt chất lượng. Mức độ đưa thiết bị và kỹ thuật đo vào công nghệ chế tạo thể hiện mức độ tiên tiến của nền sản xuất.

1.2. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

1.2.1. Đo lường

Đo lường là việc định lượng độ lớn của đối tượng đo. Đó là việc thiết lập quan hệ giữa đại lượng cần đo và một đại lượng có cùng tính chất vật lý được qui định dùng làm đơn vị đo.

Thực chất đó là việc so sánh đại lượng cần đo với đơn vị đo để tìm ra tỷ lệ giữa chúng. Độ lớn của đối tượng cần đo được biểu diễn bằng trị số của tỷ lệ nhận được kèm theo đơn vị đo dùng khi so sánh.

Ví dụ: Đại lượng cần đo là Q , đơn vị đo dùng so sánh là u . Khi so sánh ta có tỷ lệ giữa chúng là:

$$\frac{Q}{u} = q$$

Kết quả đo sẽ biểu diễn là:

$$Q = q.u$$

Việc chọn độ lớn của đơn vị đo khác nhau khi so sánh sẽ có trị số q khác nhau. Chọn độ lớn của đơn vị đo sao cho việc biểu diễn kết quả đo gọn, đơn giản, tránh nhầm lẫn trong ghi chép và tính toán. Kết quả đo cuối cùng cần biểu diễn theo đơn vị đo hợp pháp.

1.2.2. Đơn vị đo - Hệ thống đơn vị đo

Đơn vị đo là yếu tố chuẩn mực dùng để so sánh. Vì thế độ chính xác của đơn vị đo sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác khi đo.

Độ lớn của đơn vị đo cần được quy định thống nhất mới đảm bảo được việc thống nhất trong giao dịch, mua bán, chế tạo sản phẩm để thay thế, lắp lẫn...

Các đơn vị đo cơ bản và đơn vị đo dẫn xuất hợp thành hệ thống đơn vị được quy định trong bảng đơn vị đo hợp pháp của nhà nước dựa trên quy định của hệ thống đo lường thế giới SI.

1.2.3. Phương pháp đo

Phương pháp đo là cách thức, thủ thuật để xác định thông số cần đo. Đó là tập hợp mọi cơ sở khoa học và cơ thể để thực hiện phép đo, trong đó nói rõ nguyên tắc để xác định thông số đo. Các nguyên tắc này có thể dựa trên cơ sở mối quan hệ toán học hay mối quan hệ vật lý có liên quan tới đại lượng đo.

Ví dụ: Để đo bán kính cung tròn, có thể dựa vào mối quan hệ giữa các yếu tố trong cung:

$$R = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8h}$$

Trong đó h là chiều cao cung, s là độ dài dây cung.

Ví dụ: Khi đo tỷ trọng vật liệu, dựa trên quan hệ vật lý:

$$D = \frac{G}{V}$$

Trong đó D là tỷ trọng, G là trọng lượng mẫu, V là thể tích mẫu.

Nếu ta chọn mẫu dạng trụ thì :

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} h$$

với d là đường kính mẫu, h là chiều dài mẫu, khi đó ta có:

$$D = \frac{4G}{\pi \cdot d^2 h}$$

Việc chọn mối quan hệ nào trong các mối quan hệ có thể với thông số đo phụ thuộc vào độ chính xác yêu cầu đối với đại lượng đo, trang thiết bị hiện có, có khả năng tìm được hoặc tự chế tạo được. Mối quan hệ cần được chọn sao cho đơn giản, các phép đo dễ thực hiện với yêu cầu về trang bị đo ít và có khả năng hiện thực.

Cơ sở để phân loại phương pháp đo:

a) Dựa vào quan hệ giữa đầu đo và chi tiết đo chia ra: phương pháp đo tiếp xúc và phương pháp đo không tiếp xúc.

Phương pháp đo tiếp xúc là phương pháp đo giữa đầu đo và bề mặt chi tiết đo tồn tại một áp lực gọi là áp lực đo. Ví dụ như khi đo bằng dụng cụ đo cơ khí quang, cơ, điện tiếp xúc... áp lực này làm cho vị trí đo ổn định vì thế kết quả đo tiếp xúc rất ổn định.

Tuy nhiên, do có áp lực đo mà khi đo tiếp xúc không tránh khỏi sai số do các biến dạng có liên quan đến áp lực đo gây ra, đặc biệt là khi đo các chi tiết bằng vật liệu mềm, dễ biến dạng hoặc các hệ đo kém cứng vững.

Phương pháp đo không tiếp xúc là phương pháp đo không có áp lực đo giữa yếu tố đo và bề mặt chi tiết đo như khi ta đo bằng máy quang học. Vì không có áp lực đo nên khi đo bề mặt chi tiết không bị biến dạng hoặc bị cào xước... Phương pháp này thích hợp với các chi tiết nhỏ, mềm, mỏng, dễ biến dạng, các sản phẩm không cho phép có vết xước.

b) Dựa vào quan hệ giữa giá trị chỉ thị trên dụng cụ đo và giá trị của đại lượng đo chia ra phương pháp đo tuyệt đối và phương pháp đo so sánh.

Trong phương pháp đo tuyệt đối, giá trị chỉ thị trên dụng cụ đo là giá trị đo được. Phương pháp đo này đơn giản, ít nhầm lẫn, nhưng vì hành trình đo dài nên độ chính xác đo kém.

Trong phương pháp đo so sánh, giá trị chỉ thị trên dụng cụ đo chỉ cho ta sai lệch giữa giá trị đo và giá trị của chuẩn dùng khi chỉnh "0" cho dụng cụ đo. Kết quả đo phải là tổng của giá trị chuẩn và giá trị chỉ thị:

$$Q = Q_0 + \Delta x$$

với:

Q - kích thước mẫu chính "0";

Δx - giá trị chỉ thị của dụng cụ.

Độ chính xác của phép đo so sánh cao hơn của phép đo tuyệt đối và phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của mẫu và quá trình chỉnh "0".

c) Dựa vào quan hệ giữa đại lượng cần đo và đại lượng được đo chia ra: phương pháp đo trực tiếp và phương pháp đo gián tiếp.

Phương pháp đo trực tiếp là phương pháp đo mà đại lượng được đo chính là đại lượng cần đo, ví dụ như khi ta đo đường kính chi tiết bằng panme, thước cặp, máy đo chiều dài...

Phương pháp đo trực tiếp có độ chính xác cao nhưng kém hiệu quả.

Phương pháp đo gián tiếp là phương pháp đo trong đó đại lượng được đo không phải là đại lượng cần đo mà nó có quan hệ hàm số với đại lượng cần đo, ví dụ như khi ta đo đường kính chi tiết thông qua việc đo các yếu tố trong cung hay qua chu vi...

Phương pháp đo gián tiếp thông qua các mối quan hệ toán học hoặc vật lý học giữa đại lượng được đo và đại lượng cần đo là phương pháp đo phong phú, đa dạng và rất hiệu quả. Tuy nhiên, nếu hàm quan hệ càng phức tạp thì độ chính xác đo càng thấp.

Việc tính toán xử lý kết quả đo và độ chính xác đo rất phụ thuộc vào việc chọn mối quan hệ này.

1.2.4. Kiểm tra - Phương pháp kiểm tra

Kiểm tra là việc xem xét chất lượng thực của đối tượng có nằm trong giới hạn cho phép đã được qui định hay không. Giới hạn cho phép là các sai lệch cho phép trong dung sai sản phẩm mà mà người thiết kế yêu cầu phụ thuộc vào độ chính xác cần thiết khi làm việc của sản phẩm. Nếu chất lượng thực nằm trong khoảng sai lệch cho phép, sản phẩm được xem là đạt, ngược lại sản phẩm bị xem là hỏng hay không đạt.

Việc kiểm tra phải thông qua kết quả đo chất lượng thực của sản phẩm hoặc gửi qua kích thước giới hạn của calip. Vì thế, người ta thường gán hai quá trình đo - kiểm làm một quá trình đảm bảo chất lượng sản phẩm.

Căn cứ vào mục đích sử dụng của yếu tố cần kiểm tra người ta phân ra kiểm tra thu nhận và kiểm tra trong khi gia công.

Kiểm tra thu nhận là phương pháp kiểm tra nhằm phân loại sản phẩm thành các sản phẩm đạt và sản phẩm không đạt.

Kiểm tra trong khi gia công là phương pháp kiểm tra thông qua việc theo dõi sự thay đổi của thông số đo để cố tác dụng ngược vào hệ thống công nghệ nhằm điều chỉnh hệ thống sao cho sản phẩm được tạo ra đạt chất lượng yêu cầu.

Trong các quá trình công nghệ hiện đại, đặc biệt là khi chế tạo các chi tiết phức tạp, kiểm tra trong gia công không những chỉ hạn chế việc tạo ra những sản phẩm hỏng mà còn thực hiện được các thao tác kiểm tra mà sau khi chế tạo sẽ khó mà kiểm tra được.

Căn cứ vào mức độ phức tạp của thông số chia ra kiểm tra yếu tố và kiểm tra tổng hợp.

Kiểm tra yếu tố: thực hiện riêng với một thông số, thông thường đó là các thông số quan trọng, ảnh hưởng chính tới chất lượng sản phẩm. Ngoài ra, trong nghiên cứu độ chính xác trong khi gia công, để hợp lý hoá qui trình công nghệ, vạch nguyên nhân gây sai hỏng... người ta cần phải kiểm tra yếu tố mà thông số kiểm tra chính là yếu tố đang thực hiện tại nguyên công.

Kiểm tra tổng hợp là phương pháp kiểm tra đồng thời sự ảnh hưởng của các yếu tố tới chất lượng chung của sản phẩm. Phương pháp này thường dùng để kiểm tra thu nhận sản phẩm.

Ví dụ, với chi tiết ren khi đang gia công có thể kiểm tra đường kính trung bình, đó là kiểm tra yếu tố. Khi chi tiết đã gia công có thể kiểm tra ăn khớp bằng cách cho ăn khớp bu lông - đai ốc. Đó là việc kiểm tra tổng hợp.

1.2.5. Phương tiện đo - Phân loại phương tiện đo

Phương tiện đo là tập hợp các dụng cụ đo, máy đo, giá đo và các phương tiện phụ trợ cho quá trình đo.

Phương tiện đo được phân loại chủ yếu theo bản chất vật lý của quá trình đo: quang, cơ, khí, thủy, điện, điện tử,...

Phương tiện đo còn được phân loại theo đặc tính sử dụng: loại vạn năng và loại chuyên dùng.

Phương tiện đo được phân loại theo số toạ độ có thể có: loại một, hai, ba hay nhiều toạ độ.

Việc chọn phương tiện đo nào cho quá trình đo phụ thuộc vào:

- Các đặc điểm riêng của sản phẩm. Ví dụ độ cứng, độ lớn, trọng lượng, độ chính xác và cả số lượng sản phẩm cần đo kiểm.
- Phương pháp đo.
- Khả năng có thể của thiết bị.

1.2.6. Các chỉ tiêu đo lường cơ bản

- *Giá trị chia độ c hay là độ phân giải*: đó là chuyển vị thực ứng với kim chỉ dịch đi một khoảng chia a. Giá trị c càng nhỏ thì độ chính xác đo càng cao.
- *Khoảng chia độ a* là khoảng cách giữa tâm hai vạch trên bảng chia độ.
- *Tỷ số truyền và độ nhạy K* là tỷ số giữa sự thay đổi ở đầu ra tương ứng với sự thay đổi ở đầu vào của dụng cụ đo. Khi K càng lớn, độ chính xác đo càng cao. Khi sự thay đổi ở đầu vào và đầu ra cùng tính chất vật lý thì K là đại lượng không thứ nguyên, gọi là tỷ số truyền. Khi các sự thay đổi này không cùng tính chất vật lý thì K là sẽ có thứ nguyên của đại lượng ra trên đại lượng vào và K gọi là độ nhạy.
- *Độ nhạy giới hạn ε* là chuyển vị nhỏ nhất ở đầu vào còn gây ra được chuyển vị ở đầu ra ổn định và quan sát được. Khi ε càng bé thì độ chính xác đo càng cao.
- *Độ biến động chỉ thị* là phạm vi dao động của chỉ thị khi ta đo lặp lại cùng một giá trị đo trong cùng một điều kiện đo:

$$\Delta_{bd} = x_{max} - x_{min}$$

Trong đó x_{max} và x_{min} là giá trị chỉ thị lớn nhất và nhỏ nhất trong n lần đo lặp lại. Δ_{bd} càng lớn thì độ chính xác đo càng kém.

- *Phạm vi đo* là phạm vi thay đổi của giá trị đo mà phương tiện đo có thể đo được.

1.3. CÁC NGUYÊN TẮC CƠ BẢN TRONG KHI ĐO

1.3.1. Nguyên tắc Abbe

Khi kích thước đo và kích thước mẫu nằm trên một đường thẳng thì kết quả đo đạt độ chính xác cao nhất.

Khi đo kích thước đo có thể đặt nối tiếp hoặc đặt song song với kích thước mẫu. Khe hở khâu dẫn đầu đo di động dưới tác dụng của áp lực đo và các biến dạng tế vi dưới tác dụng của áp lực đo chính là nguyên nhân gây ra sai số đo. Khi sự thay đổi ở đầu vào và đầu ra cùng tính chất vật lý thì K là đại lượng không thứ nguyên, gọi là tỷ số truyền.

Với khe hở δ , chiều dài khâu dẫn là L , góc nghiêng lệch lớn nhất là (hình 1-1):

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{\delta}{L}$$

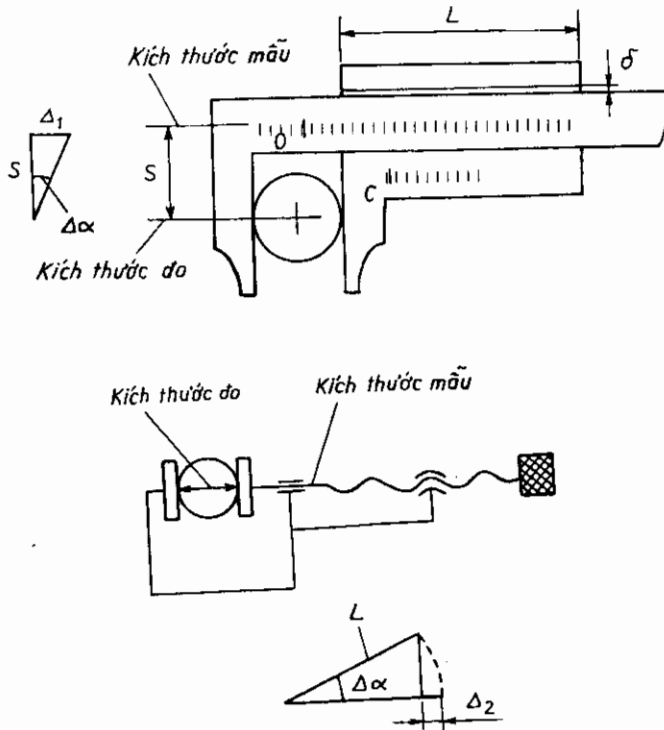
Khi đo không theo nguyên tắc Abbe, sai số đo sẽ là:

$$\Delta_1 = S \cdot \lg \Delta\alpha \approx S \cdot \Delta\alpha$$

Khi đo theo nguyên tắc Abbe, sai số đo sẽ là :

$$\Delta_2 = l(1 - \cos \Delta\alpha) \approx l \frac{\Delta\alpha^2}{2}$$

với l là chiều dài đo. Có thể thấy sai số của dụng cụ đo không theo nguyên tắc Abbe là rất lớn so với các dụng cụ đo theo nguyên tắc Abbe.



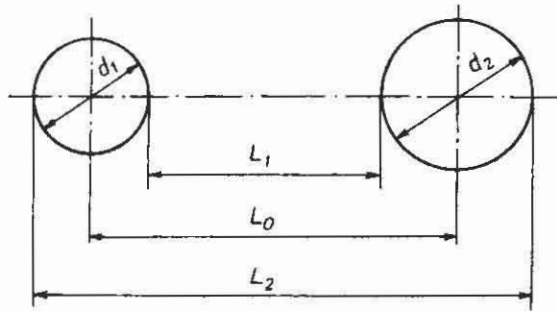
Hình 1-1.

1.3.2. Nguyên tắc xích kích thước ngắn nhất

Xích kích thước trong khi đo hình thành bởi một số các khâu của trang bị đo và kích thước đo, trong đó kích thước đo là khâu khép kín. Khi xích thước ngắn nhất thì kết quả đo đạt độ chính xác cao nhất. Có nghĩa là khi trang thiết bị đo càng đơn giản, ít khâu khớp thì độ chính xác đo càng cao.

Khi thiết kế phương án đo, xích kích thước hình thành bởi sơ đồ đo, trong đó kích thước đo là đại lượng đo gián tiếp có quan hệ hàm số với các đại lượng đo trực tiếp. Khi số đại lượng đo trực tiếp càng ít thì độ chính xác đo của đại lượng đo gián tiếp càng cao. Như vậy, sơ đồ đo càng đơn giản, càng ít thông số, mối quan hệ không phức tạp đo thì kết quả đo càng chính xác.

Ví dụ: Khi ta đo khoảng cách tâm giữa hai lỗ, có thể có 3 phương án:



Hình 1-2.

1) Đo L_1, d_1, d_2 :
$$L_0 = L_1 + \frac{d_1 + d_2}{2}$$

2) Đo L_2, d_1, d_2 :
$$L_0 = L_2 + \frac{d_1 + d_2}{2}$$

3) Đo L_1, L_2 :
$$L_0 = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

Có thể nhận thấy rằng phương án đo thứ 3 là tốt nhất.

1.3.3. Nguyên tắc chuẩn thống nhất

Khi kiểm tra, nếu chọn chuẩn kiểm tra trùng với chuẩn thiết kế và chuẩn công nghệ thì kết quả kiểm tra đạt độ chính xác cao nhất.

Với mỗi chi tiết khi kiểm tra cần lưu ý tới chuẩn đã được dùng khi thiết kế và khi gia công. Tuy nhiên, tùy thuộc vào mục đích sử dụng thông tin kiểm tra và sự

phức tạp của phương pháp đo - kiểm tra mà người ta có thể ưu tiên cho việc chọn chuẩn đo. Chẳng hạn, thường ưu tiên chọn chuẩn kiểm tra là chuẩn công nghệ, đặc biệt là khi nghiên cứu độ chính xác trong khi gia công, chọn chuẩn kiểm tra trùng chuẩn thiết kế khi kiểm tra thu nhận.

1.3.4. Nguyên tắc kinh tế

Nguyên tắc này nhằm đảm bảo độ chính xác đo trong điều kiện giá thành khâu đo thấp nhất. Điều này có liên quan đến:

- Giá thành của thiết bị đo, tuổi bền của thiết bị đo
- Số lượng sản phẩm
- Năng suất đo
- Yêu cầu trình độ người sử dụng và sửa chữa
- Khả năng chuyên môn hoá, tự động hoá khâu đo kiểm
- Khả năng lợi dụng các thiết bị đo phổ thông, thiết bị đo sẵn có hoặc các thiết bị gá lắp đo lường tự trang bị được.

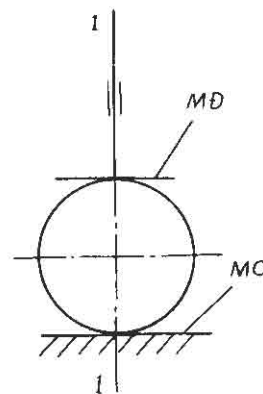
PHƯƠNG PHÁP ĐO CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC VÀ CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG CỦA CHI TIẾT CƠ KHÍ

2.1. PHƯƠNG PHÁP ĐO KÍCH THƯỚC THẲNG

2.1.1. Phương pháp đo hai tiếp điểm

Phương pháp đo hai tiếp điểm là phương pháp đo mà khi đo các yếu tố đo của thiết bị đo tiếp xúc với bề mặt chi tiết đo ít nhất là trên 2 tiếp điểm, trong đó nhất thiết phải có hai tiếp điểm nằm trên phương biến thiên của kích thước đo 1-1 (hình 2-1).

Trong hai tiếp điểm, một gắn với yếu tố định chuẩn MC và một gắn với yếu tố đo MĐ. Yêu cầu MĐ // MC và cùng vuông góc với 1 - 1. Áp lực đo có phương tác dụng trùng với 1 - 1. Để chi tiết đo được ổn định nâng cao độ chính xác khi đo người ta cần chọn mặt chuẩn và mặt đo phù hợp với hình dạng bề mặt đo sao



Hình 2-1.

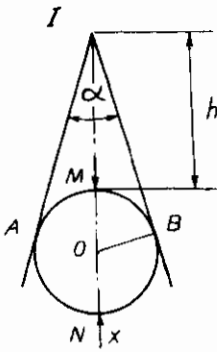
cho chi tiết đo ổn định dưới tác dụng của lực đo. Ngoài ra, để giảm ảnh hưởng của sai số chế tạo mặt chuẩn và mặt đo cần có thêm các tiếp điểm phụ để làm ổn định thông số đo.

2.1.2. Phương pháp đo ba tiếp điểm

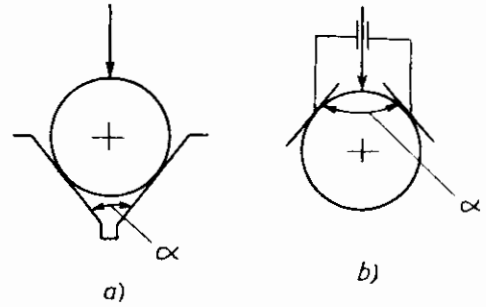
Phương pháp đo ba tiếp điểm là phương pháp đo mà khi đo các yếu tố đo của thiết bị đo tiếp xúc với bề mặt chi tiết đo ít nhất là trên 3 điểm, trong đó không tồn tại một cặp tiếp điểm nào nằm trên phương biến thiên của kích thước đo.

Cơ sở của phương pháp đo:

a) Từ một điểm I ngoài vòng tròn, quan sát vòng tròn dưới hai tiếp tuyến IA và IB hợp với nhau một góc α . Khi R thay đổi, tâm O của vòng tròn sẽ di chuyển trên phân giác Ix.



Hình 2-2.



Hình 2-3.

Để nhận biết sự thay đổi này, ta có thể đặt điểm quan sát tại M hoặc N. Chuyển vị ở M hoặc N sẽ cho ta sự thay đổi của h.

Với:

$$R = \frac{h}{1 \pm \sin \frac{\alpha}{2}}$$

lấy dấu + khi đặt điểm quan sát ở N (1).

lấy dấu - khi đặt điểm quan sát ở M (2).

Trong kỹ thuật ta bắt buộc phải tiến hành phép đo so sánh vì kích thước h không xác định được. Do đó ta có:

$$\Delta R = \frac{\Delta h}{\sin \frac{\alpha}{2}} \pm 1$$

và:

$$R = R_0 + \Delta R$$

với R_0 là bán kính chi tiết mẫu dùng khi đo so sánh.

Ứng với điều kiện (1) ta có sơ đồ đo (a) hình 2-3 và ứng với điều kiện (2) ta có sơ đồ đo (b) hình 2-3.

Tỷ số truyền phụ của sơ đồ đo:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta R} = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \pm 1$$

Với: $45^\circ < \alpha \leq 120^\circ$ ta luôn có $K_0 > 1$; $K_0 \leq 1$.

Sơ đồ đo (a) thường dùng khi kiểm tra thu nhận, yêu cầu độ chính xác cao và kích thước đo không lớn lắm.

Sơ đồ (b) thường dùng khi kiểm tra các chi tiết đang gia công, các chi tiết khó tháo ra khỏi vị trí gia công hoặc vị trí lắp ráp, chi tiết nặng. Dụng cụ đo được thiết kế dưới dạng tự định vị trên chi tiết. Phương pháp đo 3 tiếp điểm đặc biệt ưu việt khi đáp ứng yêu cầu đo đường kính các mặt trụ, mặt cầu gián đoạn như bánh răng, then hoa ..., đặc biệt mặt đo bị gián đoạn hoặc méo với số cạnh lẻ.

Khi đo đường kính mặt trụ gián đoạn như đường kính đỉnh răng bánh răng hay then hoa, các mặt méo đặc biệt là với số cạnh lẻ cần xác định góc α thích hợp của khối V:

$$\alpha = 180^\circ - n \frac{360^\circ}{z}$$

trong đó:

z - số răng hoặc số cạnh méo;

n - số bước góc bị kẹp trong V:

với $n = 1, 3, 5, 7 \dots$ khi z lẻ;

$n = 2, 4, 6, 8 \dots$ khi z chẵn.

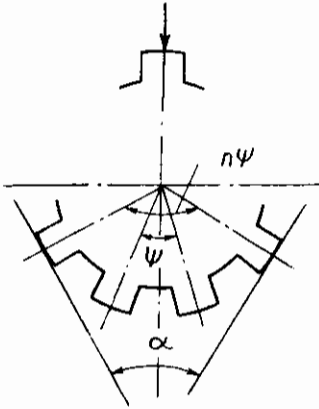
Ta có:

$$\Phi = \Phi_0 + 2 \frac{\Delta h}{K}$$

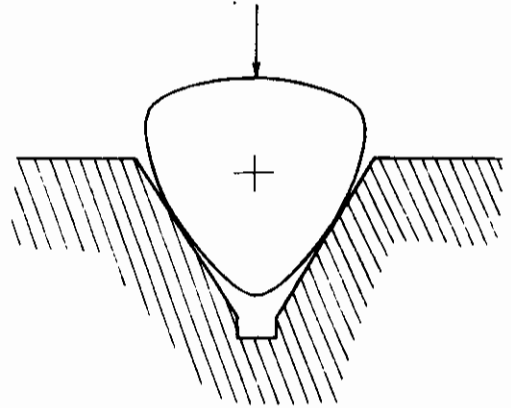
Φ_0 - kích thước mẫu dùng khi chỉnh "0";

Δh - sai lệch chỉ thị khi đo;

K - tỷ số truyền phụ của sơ đồ.



Hình 2-4.



Hình 2-5.

Với chi tiết méo 3 cạnh như hình 2-5, có đường kính mọi phía bằng nhau, phương pháp đo 2 tiếp điểm không phát hiện được độ méo của chi tiết này. Dùng phương pháp 3 tiếp điểm với $\alpha = 180^\circ - \frac{360^\circ}{z} = 60^\circ$ sẽ phát hiện được độ méo của sản phẩm.

b) Dựa trên nguyên tắc qua 3 tiếp điểm có thể dựng được một vòng tròn duy nhất. Như thế, nếu một trong 3 tiếp điểm thay đổi tọa độ thì sẽ có một vòng tròn mới có bán kính khác.

Ta cố định hai trong ba điểm và theo dõi chuyển vị của điểm thứ ba. Để đơn giản ta đặt điểm quan sát nằm trên trục đối xứng của A, B (hình 2-6):

$$AB = s$$

$$IC = h$$

$$CC' = \Delta h$$

Có thể dễ dàng có được quan hệ:

$$R_1 = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8h}$$

$$R_2 = \frac{(h + \Delta h)}{2} + \frac{s^2}{8(h + \Delta h)}$$

Nếu $\Delta h > 0$ thì $R_1 < R_2$ và ngược lại.

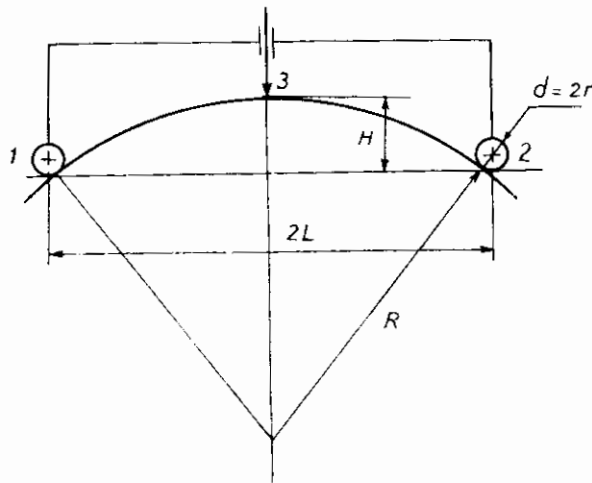
Trên nguyên tắc này người ta thiết kế ra phương pháp đo cung 3 tiếp điểm (hình 2-7). Trong hình, cặp con lăn 1 và 2 có khoảng cách tâm $s = 2L$, được lắp đối xứng qua phương chuyển vị của tiếp điểm 3 của đồng hồ. Có thể xác định được quan hệ:

Với cung lõm ta có:

$$D = 2R = \frac{H^2 - Hd + L^2}{H}$$

Với cung lồi ta có:

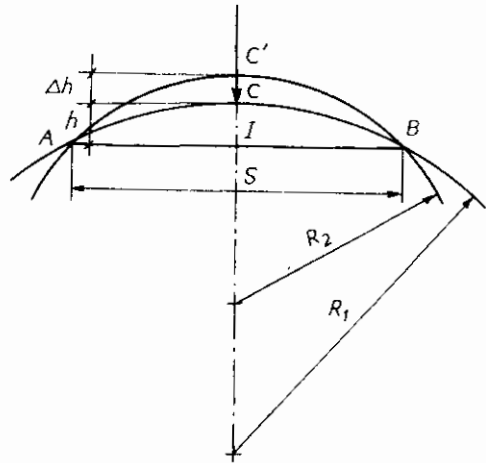
$$D = 2R = \frac{H^2 + Hd + L^2}{H}$$



Hình 2-7.

Khi tiến hành đo so sánh D, ta có:

$$\Delta D = - \left(\frac{L^2}{H^2} - 1 \right) \Delta h$$



Hình 2-6.

$$D = D_0 + \Delta D$$

Với D_0 , yêu cầu ta có thể tìm được trị số H_0 cho dụng cụ có L và d cho trước.

Khi đo cung lõm:

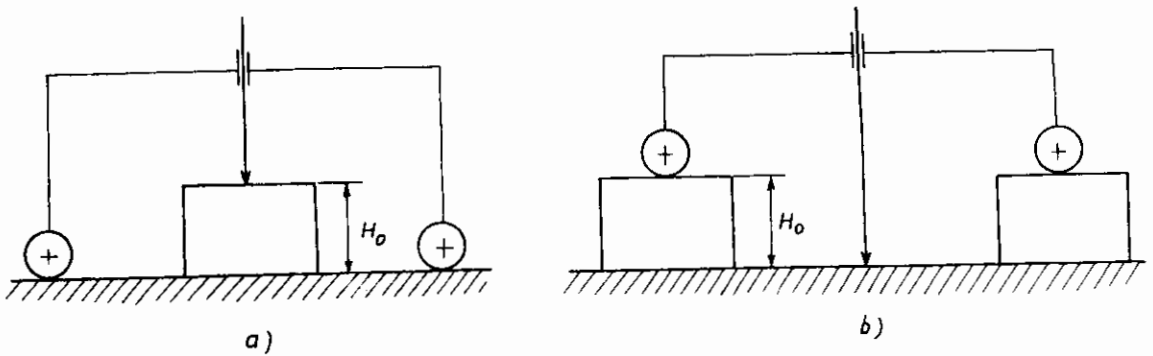
$$H_0 = \frac{D_0 + d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_0 + d}{2}\right)^2 - L^2}$$

Khi đo cung lõm:

$$H_0 = \frac{D_0 - d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_0 - d}{2}\right)^2 - L^2}$$

Dùng H_0 để chỉnh "0" cho dụng cụ như hình 2-8 mô tả.

Với phương pháp đo này ta có thể đo bán kính R của cung bất kỳ mà không cần có vòng tròn mẫu D_0 .



Hình 2-8.

Với các cung nhỏ, có thể suy biến cặp con lăn thành hai lưỡi dao, khi đó $d = 0$.

Khi đo chỏm cầu hoặc các lồng cầu, cặp con lăn suy biến thành một vòng chặn có đường kính $2L$.

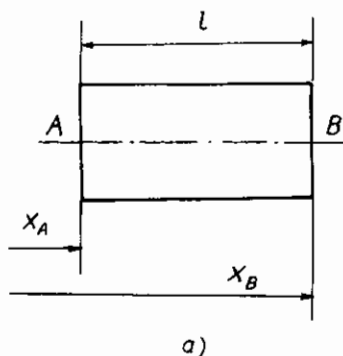
Có thể thấy rằng sơ đồ đo này thuộc sơ đồ 3 tiếp điểm cùng phía nên tỷ số truyền phụ:

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta D} = \left| -\frac{l}{L^2 - H^2} \right| \leq 1$$

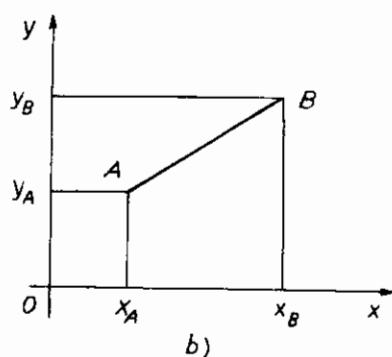
Hơn nữa K còn phụ thuộc $H = H_0 + \Delta h$ cho nên khi đo các vòng tròn kích thước khác nhau cần tính lại K.

2.1.3. Phương pháp đo một tiếp điểm

Phương pháp đo một tiếp điểm là phương pháp đo mà khi đo yếu tố đo của thiết bị đo tiếp xúc với bề mặt chỉ tiết đo trên một tiếp điểm. Kích thước đo được xác định từ tọa độ các điểm tiếp xúc khi đo. Vì vậy, phương pháp đo một tiếp điểm còn gọi là phương pháp đo tọa độ. Tùy theo yêu cầu đo mà có các phương pháp đo một, hai, ba hay nhiều tọa độ như hình 2-9 mô tả. Trong đó ở sơ đồ a, đoạn AB được đo trên thiết bị đo một tọa độ, ở sơ đồ b đoạn AB được đo trên thiết bị đo hai tọa độ với phương trình kết quả đo được tính theo sơ đồ đó:



$$\overline{AB} = X_B - X_A$$



$$\frac{y - y_A}{y_B - y_A} = \frac{x - x_A}{x_B - x_A}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}$$

Hình 2-9.

Ưu điểm của phương pháp đo tọa độ là có thể đo các kích thước chi tiết phức tạp, khó đo, không yêu cầu rà chỉnh chi tiết đo trước khi đo, giảm một cách đáng kể các động tác chuẩn bị khi đo.

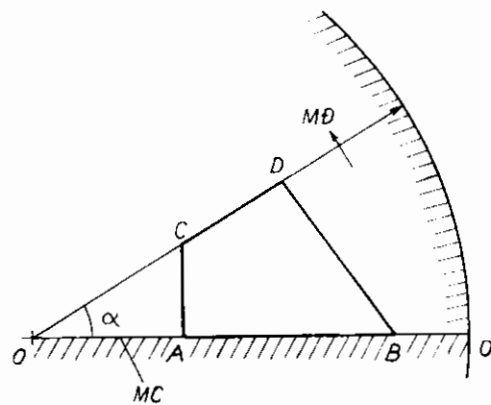
Tùy theo số tọa độ có thể của thiết bị đo mà thao tác đo và cách tính toán kết quả đo khác nhau. Số tọa độ của thiết bị càng nhiều thì thao tác đo càng đơn giản. Số tọa độ càng nhiều, số điểm đo càng nhiều việc tính toán kết quả đo càng khó khăn. Vì thế, để nâng cao độ chính xác khi đo người ta cần đo nhiều điểm đo và cần có sự giúp đỡ của thiết bị tính toán để giảm nhẹ lao động và đỡ lậm lẫm trong tính toán.

Phần lớn các thiết bị đo toạ độ có trang bị sẵn các chương trình tính cho các yêu cầu đo thường gặp để giúp cho quá trình đo được nhanh chóng. Độ chính xác của phương pháp đo phụ thuộc vào số điểm đo và cách phân bố các điểm đo trên chi tiết đo.

2.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO KÍCH THƯỚC GÓC

2.2.1. Phương pháp đo trực tiếp kích thước góc

Phương pháp này dựa trên cơ sở hệ toạ độ cực, trong đó góc toạ độ cực là tâm quay của yếu tố mang mật đo, còn vectơ gốc gắn với yếu tố mang mật chuẩn. Toạ độ mật đo được chỉ ra trên bảng chia độ góc gắn với yếu tố chuẩn. Tại vị trí "0", mật đo trùng với mật chuẩn, vectơ Ox chỉ "0". Khi đo góc α là góc giữa AB và CD , ta đặt $AB \equiv MC$, xoay $Ox \rightarrow CD$, vật chỉ thị sẽ chỉ cho ta trị số góc α trên bảng chia.



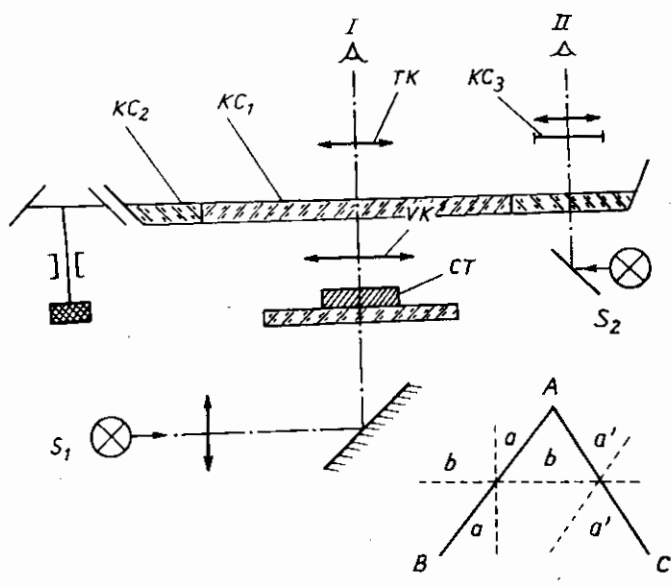
Hình 2-10.

Đây là nguyên tắc cơ bản để thiết kế các dụng cụ đo góc như thước đo góc, thị kính đo góc, bàn xoay đo góc trong các thiết bị đo góc...

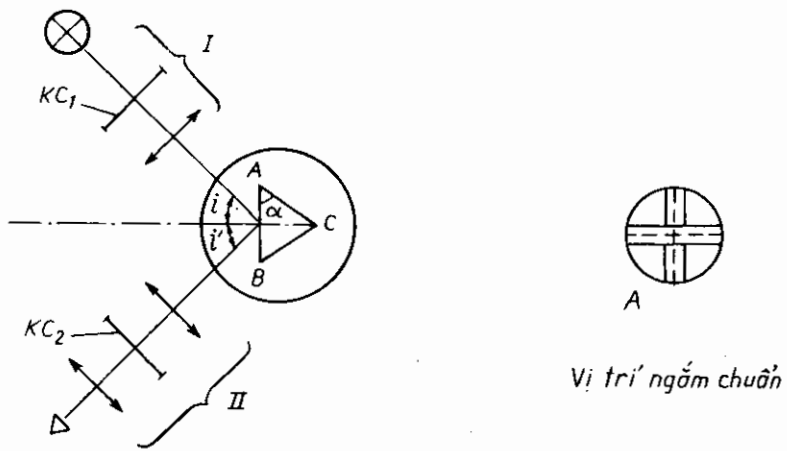
Độ chính xác của phương pháp đo phụ thuộc vào độ đồng tâm của bảng chia với tâm quay của mật đo. Đây là điểm hạn chế cơ bản của phương pháp đo góc trực tiếp khi muốn đạt tới độ chính xác đo cao.

Hình 2-11 mô tả nguyên tắc làm việc của thị kính đo góc. Ảnh của chi tiết được tạo trên mặt ảnh của vật kính trên hệ hiển vi I. Tại đây, người ta đặt kính chuẩn KC1 mang vạch chuẩn chữ thập và kính chuẩn KC2 lắp đồng tâm và cố định với nhau. KC1 và KC2 được lắp với vành răng côn và xoay được nhờ nắm vận mang bánh răng côn. Thị kính được lắp trên máy đo hai toạ độ xOy .

Khi đo ta điều chỉnh cho tâm vạch chuẩn nằm lên mép ảnh AB , xoay cho $aa' \equiv AB$. Trên kính hiển vi I ta đọc được toạ độ góc α_1 . Điều chỉnh cho 0 rời sang cạnh AC . Xoay $a'a' \equiv AC$. Trên kính hiển vi II ta đọc được toạ độ góc α_2 . Trị số góc đo được $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$.



Hình 2-11.



Hình 2-12.

Hình 2-12 mô tả nguyên tắc làm việc của máy đo góc, gồm :

- I - Hệ thống chiếu sáng
- II - Hệ thống hiển vi quan sát.

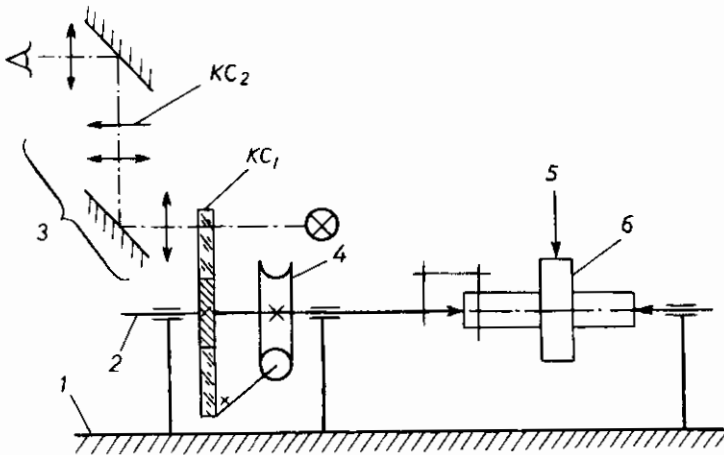
Bàn xoay mang chi tiết đo là lăng kính ABC. Khi đó, ta xoay bàn mang chi tiết cho AB hướng về chùm sáng tới.

Xoay II cùng với bàn xoay sao cho $i \equiv i'$ thì ảnh của kính chuẩn KC1 trùng chập với KC2 (hình 2-12). Hệ số đọc số tọa độ góc gắn với hệ II đọc được φ_1 . Tiếp tục quay AC tới phía chùm sáng và lặp lại được vị trí ngắm chuẩn sẽ đọc được φ_2 .

Trị số $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ là góc giữa hai pháp tuyến của mặt AB và AC. Trị số góc đo $\alpha = 180'' - \varphi$.

Trong máy đo góc, hệ I và II có thể được thay bằng một ống nhòm tự chuẩn trực. Trong trường hợp này, vị trí ngắm chuẩn tương ứng với trạng thái trực quang của hệ trùng với phương pháp tuyến của bề mặt đo đang ngắm. Phương pháp tính kết quả đo không có gì thay đổi.

Hình 2-13 mô tả nguyên tắc làm việc của máy đo góc mang tên là đầu chia độ. Bộ phận chính của thiết bị là đầu chia độ quang học, trong đó đĩa chia độ KC1 được lắp trên trục chính 2, trục này được dẫn động nhờ cặp bánh vít trục vít 4. Chuyển vị góc của đĩa KC1 đọc được nhờ hệ hiển vi đọc số 3. Chuyển vị góc được truyền qua trục mang chi tiết đo nhờ tốc gạt đặc biệt không có khe hở. Nhờ đồng hồ đo chuyển vị số 5 ta có thể đọc được lượng nâng hạ của cam đo số 6 tương ứng với các chuyển vị góc đọc được trên hiển vi số 3.



Hình 2-13.

Phương pháp đo góc theo nguyên tắc này rất ưu việt khi cần đo góc có các quan hệ phối hợp, chẳng hạn như đo góc phối hợp giữa các cam, đo góc xoắn, đo góc dao cắt... với độ chính xác cao.

2.2.2. Phương pháp đo gián tiếp kích thước góc

Phương pháp đo gián tiếp kích thước góc dựa trên cơ sở mối quan hệ lượng giác giữa các yếu tố cạnh và góc trong tam giác. Nhờ đó có thể dùng những phương tiện đo chiều dài để đo góc với độ chính xác cao ngay cả khi yếu tố góc được hình thành trong chi tiết rất khó đo.

a) Đo góc bằng bi cầu hoặc con lăn

Sơ đồ đo hình 2-14 mô tả mặt cắt của lỗ côn hay rãnh côn. Trong tam giác O_1IO_2 ta có :

$$\alpha = \arcsin \frac{O_2I}{O_1O_2}$$

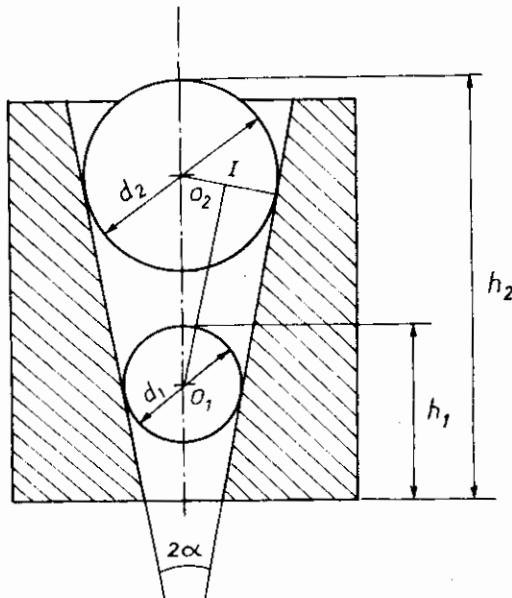
trong đó:

$$O_2I = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

$$O_1O_2 = h_2 - h_1 - \frac{d_2 - d_1}{2}$$

Do đó:

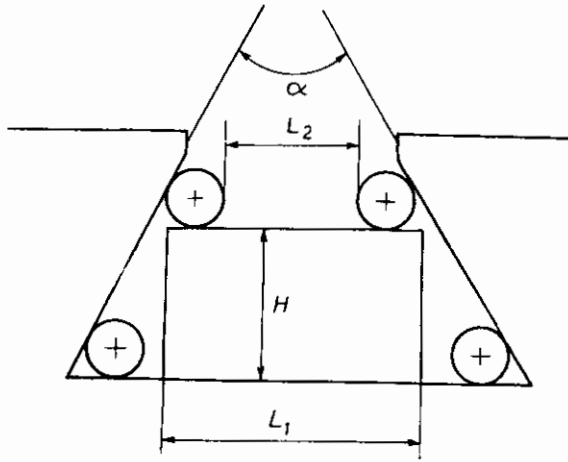
$$\alpha = \arcsin \frac{1}{2} \frac{d_2 - d_1}{h_2 - h_1 - \frac{d_2 - d_1}{2}}$$



Hình 2-14.

Trong hình 2-15 ta có:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \frac{L_1 - L_2}{2H}$$



Hình 2-15.

b) Đo góc bằng thước Sin, thước Tang

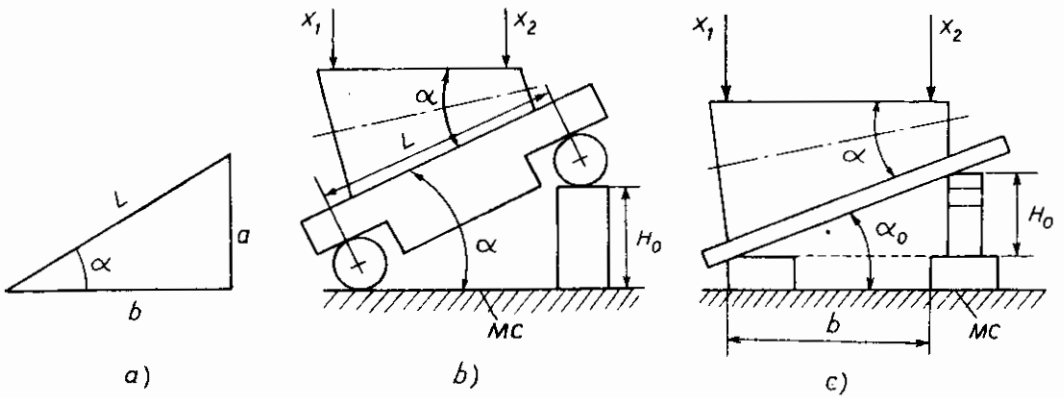
Dựa trên quan hệ lượng giác trong hình 2-16 a:

$$\alpha = \operatorname{arcsin} \frac{a}{L}$$

hoặc:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{a}{b}$$

người ta thiết kế ra các dụng cụ đo chuyên dùng là thước Sin và thước Tang.



Hình 2-16 a, b, c.

Trong thước Sin, khoảng cách giữa hai con lăn L không đổi, trong thước Tang là b không đổi.

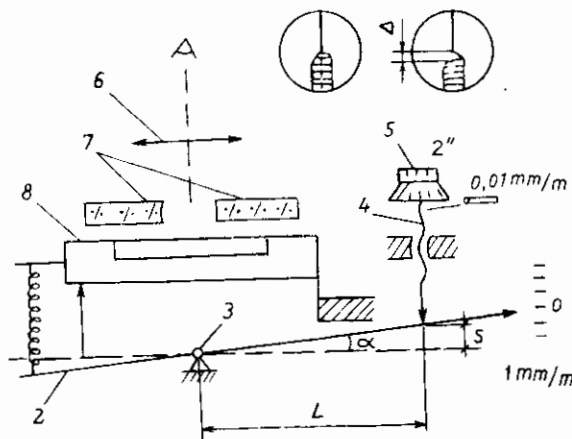
Khi α thay đổi sẽ làm cho a thay đổi. Từ sự thay đổi của a ta xác định được sự thay đổi của α .

Hình 2-16 b mô tả phương pháp đo góc bằng thước Sin. Hình 2-16 c mô tả phương pháp đo góc bằng thước tang. Trong đó $H_s = L \sin \alpha_0$ hay $H_s = b \tan \alpha_0$; với α_0 là trị số góc danh nghĩa dùng để chỉnh "0" cho thiết bị. $\Delta \alpha$ cần được tính ra chuyển vị dài Δx cho phép.

Phương pháp đo bằng thước Sin và thước Tang thường được dùng để đo góc tại hiện trường, tại phân xưởng hoặc dùng tạo ra các góc chuẩn trong gá đo lường hoặc đồ gá công nghệ.

Mở rộng phương pháp này người ta thiết kế ra các dụng cụ đo góc tế vi.

Dụng cụ đo góc tế vi là dụng cụ chuyên dùng để đo các góc lệch nhỏ, còn gọi là nivô đo góc. Dụng cụ hoạt động trên nguyên tắc sử dụng cơ cấu tang, sin ... biến chuyển vị góc tế vi thành chuyển vị dài tương ứng trên bán kính quay L. Chuyển vị dài thường dùng là panme 0,01 vì thế sai số đo chuyển vị góc rất nhỏ. Sơ đồ của dụng cụ được mô tả trên hình 2-16 d.



Hình 2-16 d.

Nivô 8 được treo một đầu trên vỏ máy, một đầu tựa trên đòn 2. Ở trạng thái thăng bằng dụng cụ chỉ "0". Qua lup 6, nhờ hệ lăng kính đặc biệt, mép ảnh ống phân làm hai nửa khi ấy phải trùng nhau. Khi đặt trên mặt phẳng nghiêng với mặt phẳng chuẩn góc α , mép bọt nước sẽ lệch đi, người ta vận nùm panme số 5 làm trục panme 4 chuyển vị đoạn S sao cho thấy lại hiện tượng trùng mép ảnh. Khi đó cả hệ

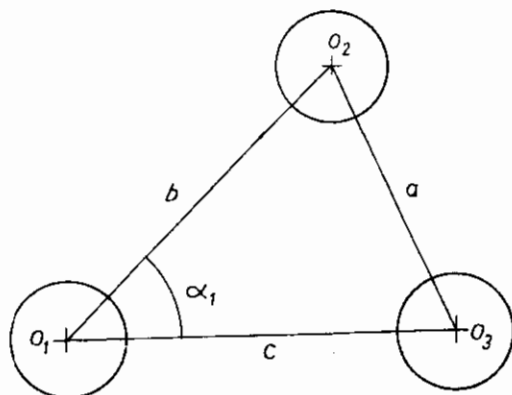
ngiêng đi góc $\alpha = \arctg(S/L)$. Kim chỉ thị chỉ cho ta góc lệch thờ, phân l  đến 2" đoc trên panme đo.

Tương tự c  thể tổ chức hệ thống cơ khí kết hợp sao cho c  thể tạo ra tỷ số truyền lớn hơn cho chuyển vị S ta sẽ c  dụng cụ đo c  độ chính xác cao hơn. Tuy nhiên khi hệ đo càng phức tạp, vấn đề độ ổn định sẽ giải quyết rất khó khăn.

2.2.3. Đo góc theo phương pháp tọa độ

Khi c  yêu cầu đo góc tạo bởi tâm 3 lỗ như hình 2-17, dùng phương pháp đo tọa độ ta xác định được tọa độ O_1, O_2, O_3 và khoảng cách tâm a, b, c. Góc cần đo α c  thể xác định qua hệ thức lượng trong tam giác thường:

$$\alpha = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$



Hình 2-17.

Phương pháp đo này đặc biệt ưu việt khi kiểm tra vị trí tương quan giữa các lỗ trên bản máy, vỏ hộp... với độ chính xác phụ thuộc vào độ chính xác của phương pháp xác định O_1, O_2, O_3 .

2.3. PHƯƠNG PHÁP ĐO KÍCH THƯỚC LỖ

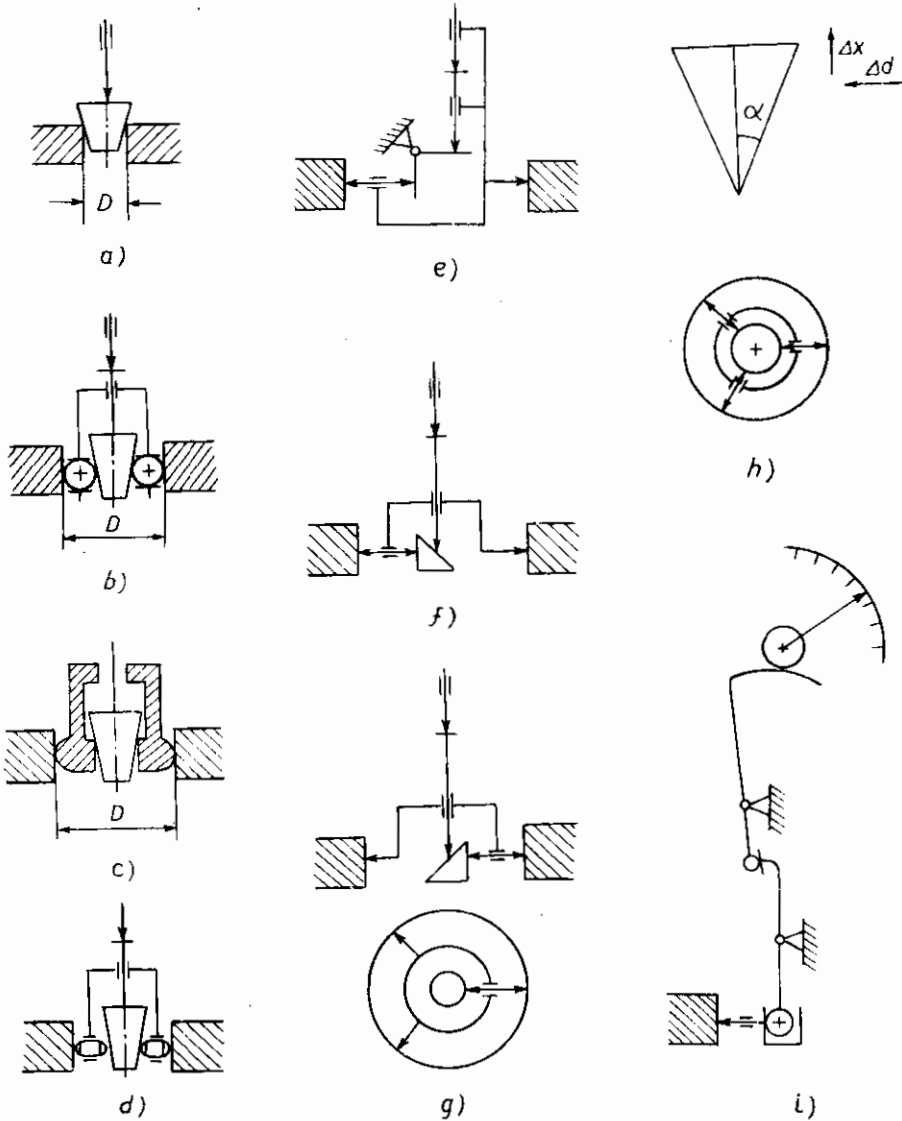
2.3.1. Phương pháp đo bằng đồng hồ đo lỗ

V  bản chất kích thước lỗ thuộc phạm trù kích thước thẳng nên v  nguyên tắc vẫn có thể dùng ba phương pháp đo cơ bản đã nêu để đo. Tuy nhiên, do đặc điểm kích thước là kích thước trong nên không gian rất hạn chế, cần thiết phải c  đầu đo chuyên dùng kết hợp với các phương tiện đo ngoài thông dụng để đo lỗ.

Trong kết cấu đầu đo lỗ cần giải quyết vấn đề:

- Biến đổi phương chuyển vị đo
- Bảo đảm chuyển vị đo theo đúng phương biến thiên kích thước đo
- Truyền chuyển vị đo đã đổi phương ra dụng cụ chỉ thị.

Người ta thường dùng kim côn, đòn bẩy hoặc nêm để đổi phương chuyển vị đo như hình 2-18 mô tả.



Hình 2-18.

Trong đó loại đầu đo dùng kim côn có tỷ số truyền khi đổi phương chuyển vị:

$$k = \frac{\Delta x}{\Delta d} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

trong đó:

Δx - sai lệch chuyển vị đo so với lỗ điều chỉnh;

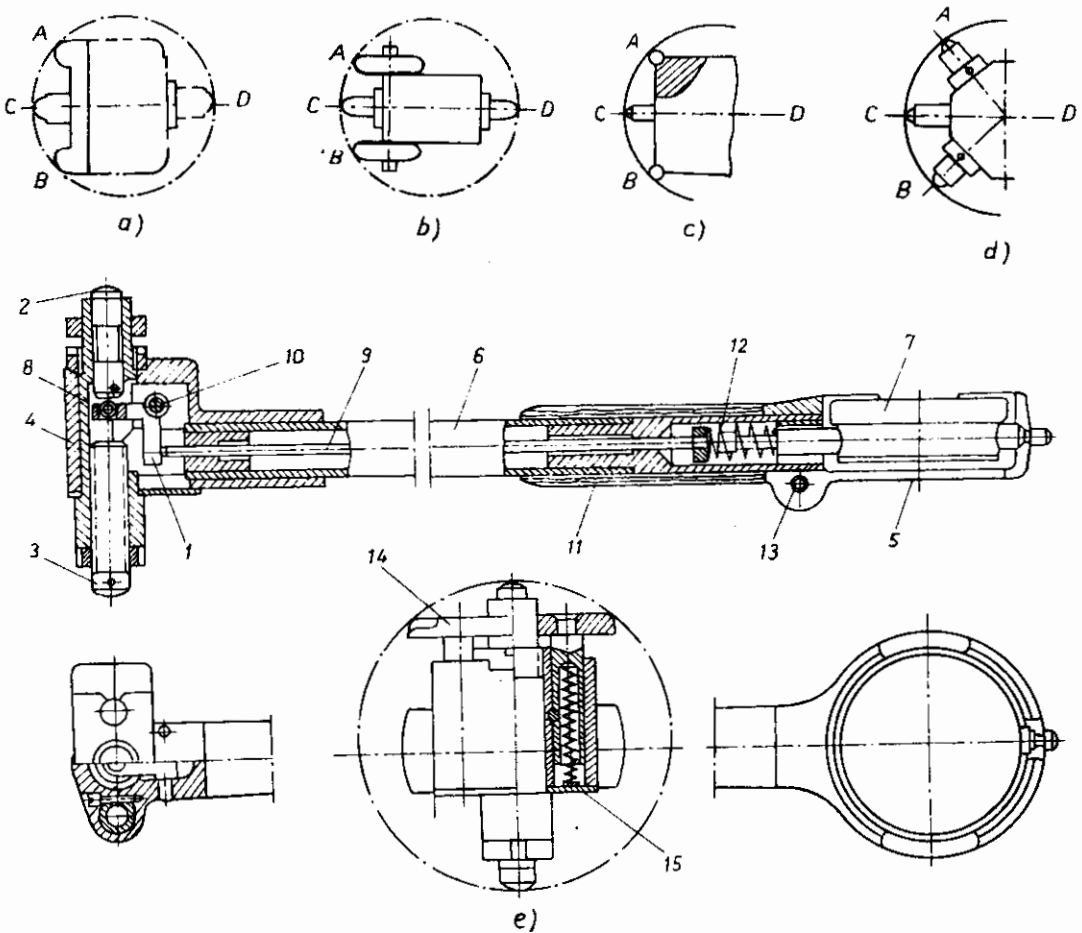
Δd - sai lệch kích thước đo và kích thước điều chỉnh.

Khi α giảm, $\operatorname{tg} \alpha$ giảm và k tăng.

Loại dùng đòn bẩy, phổ biến là dùng đòn vuông và tỷ số truyền $k = 1$.

Loại dùng nêm thường dùng góc nêm 45° , $k = 1$.

Để đảm bảo phương chuyển vị đo của tiếp điểm đo động nằm trên phương biên thiên kích thước đo, tức là phải đi qua tâm, người ta dùng các loại kết cấu cấu định tâm như hình 2-19 mô tả.



Hình 2-19.

Yêu cầu cơ bản của cầu định tâm là hai tiếp điểm cố định A, B phải đối xứng qua CD là phương đo.

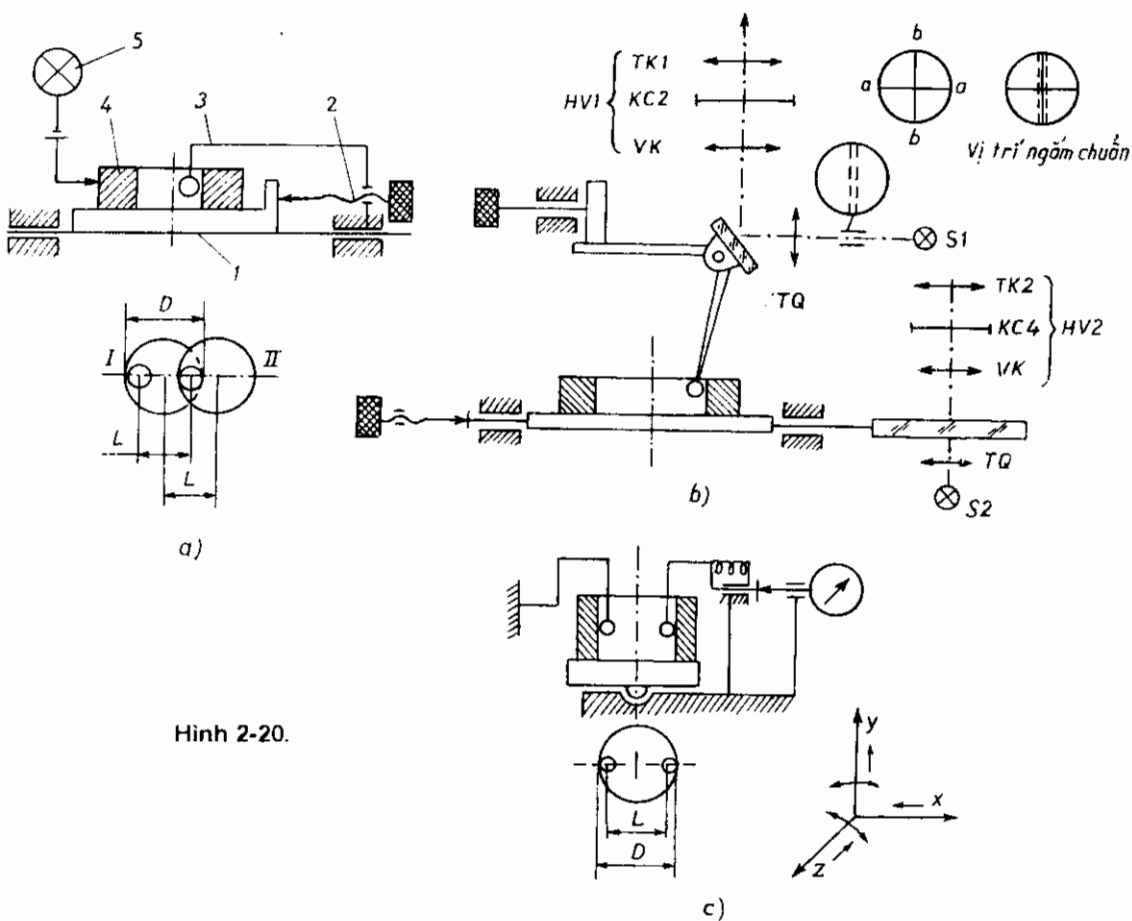
Để truyền chuyển vị đo sau khi đã đổi phương người ta dùng các thanh trượt khá dài để truyền chuyển vị tới đồng hồ đo ngoài để nhận được chỉ thị đo.

Độ chính xác của chuyển vị ra phụ thuộc vào độ chính xác của cầu định tâm, bộ nhận và đổi phương vị chuyển vị cũng như khả năng dẫn truyền chính xác tín hiệu đo ra đồng hồ chỉ thị.

Độ chính xác của dụng cụ đo lỗ bị hạn chế bởi độ chính xác của đầu đo lỗ, vì thế người ta chỉ lắp các đồng hồ chỉ thị thích hợp với độ chính xác của đầu đo. Việc thay đồng hồ chỉ thị chính xác hơn về cơ bản không cải thiện được độ chính xác của dụng cụ.

2.3.2. Dụng ga đo lỗ

Hình 2-20 mô tả phương pháp đo lỗ bằng các gá đo lỗ lắp trên các máy đo chiều dài thông dụng.



Hình 2-20.

Trong đó sơ đồ a) dùng trong Ôptimet ngang. Đèn 5 sáng báo điểm điều chỉnh xong, cho phép đọc tọa độ điểm đo. Sơ đồ b) dùng trong kính hiển vi dụng cụ. Vị trí ngắm chuẩn được quan sát trên hệ hiển vi HV1 báo điểm điều chỉnh đã xong, cho phép đọc tọa độ điểm đo trên HV2.

Sơ đồ a), b) đo theo phương pháp đo một tiếp điểm. Kết quả đo được tính:

$$L = x_2 - x_1 ; \quad D = L + d$$

với d là đường kính đầu đo.

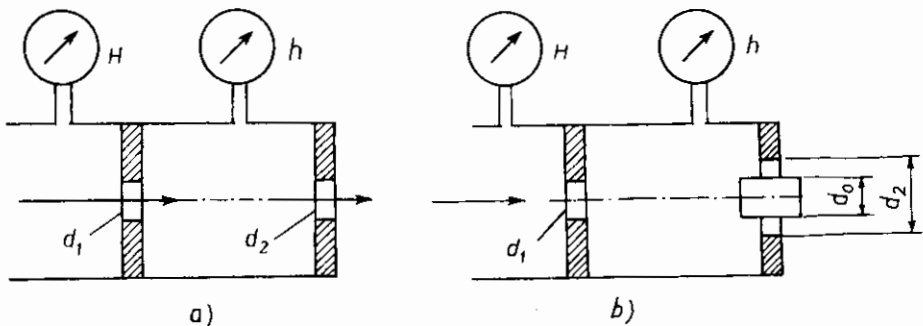
Sơ đồ c) dùng trong máy đo nằm ngang. Để đo được đúng đường kính theo phương vuông góc với đường trục, chỉ tiết được đặt lên một bàn đo tự lựa có khả năng quay quanh z , y và tịnh tiến theo 3 trục để điều chỉnh đo tại điểm đo mong muốn. Sơ đồ c) đo theo phương pháp đo 2 tiếp điểm. Kích thước đo được tính:

$$D = L + d$$

Độ chính xác của gá đo lỗ theo các phương pháp này phụ thuộc chủ yếu vào việc điều chỉnh tiếp điểm đo có qua tâm chi tiết hay không. Khả năng định tâm của tiếp điểm đo phụ thuộc vào quan hệ giữa bán kính đầu đo và đường kính chi tiết đo.

2.3.3. Phương pháp đo lỗ bằng phương tiện đo khí nén

Phương pháp đo lỗ kiểu đo khí nén dựa trên nguyên tắc: áp suất hoặc lưu lượng của dòng khí chịu nén sẽ thay đổi khi xuất hiện sự thay đổi của cản chần trên dòng chảy của nó. Sự thay đổi của cản chần là sự thay đổi kích thước lỗ đo. Sơ đồ đo hình 2-21 mô tả nguyên tác đo lỗ nhỏ bằng khí nén kiểu áp kế.



Hình 2-21.

Áp suất dư $H = \text{const}$ chảy qua đầu phun vào $d_1 = \text{const}$ rồi chảy qua lỗ cần đo d , gọi là đầu phun đo. Áp đo H chỉ phụ thuộc vào d_1 theo công thức:

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}$$

Bằng phương pháp đo so sánh với lỗ mẫu d_{20} , căn cứ vào sự thay đổi áp đo Δh có thể suy ra sự thay đổi đầu phun đo Δd_2 :

$$\Delta d_2 = \frac{\Delta h}{k}$$

Khi lỗ đo d_1 lớn hơn 1 mm thường dùng phương án b) hình 2-21 như sau: người ta đặt vào giữa lỗ phun đo một trục hoặc một bích có đường kính d_1 làm giảm tiết diện phun đo nhằm nâng cao độ chính xác khi đo.

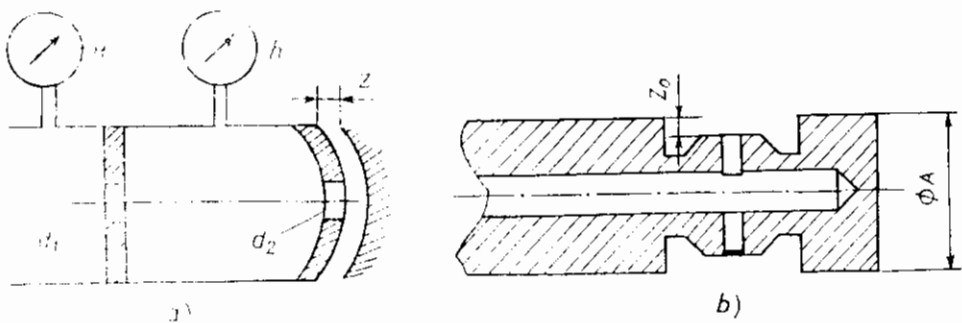
Hình 2-22 a) mô tả nguyên tắc đo lỗ có độ chính xác cao bằng khí nén: cản trở ở đầu ra tạo bởi trục phun đo và mặt lỗ cần đo. Khi H, d_1, d_2 là cố định thì sự thay đổi áp đo là chỉ phụ thuộc vào sự thay đổi của khe hở z theo công thức:

$$h = \frac{H}{1 + \frac{16d_2^2 z^2}{d_1^4}}$$

Hình 2-22 b) mô tả đầu đo chuyên dùng để đo lỗ chính xác cao. Trong đó ϕA được tính toán theo kích thước lỗ cần đo. Bằng phương pháp đo so sánh với lỗ mẫu D , căn cứ vào sự thay đổi Δh có thể xác định:

$$D = D_0 + \frac{\Delta h}{k}$$

Phương pháp đo lỗ bằng đầu đo khí nén thích hợp để đo lỗ chính xác cao, sản xuất hàng loạt trong công nghệ ổn định, đặc biệt khi đo lỗ không thông, lỗ ở vị trí khó đo, như: lỗ xi lanh bơm cao áp, xi lanh thủy lực, thân vòi phun, van thủy lực...



Hình 2-22.

Hệ thống đo khí nén kiểu áp kế có thể dùng áp thấp, áp trung và áp cao tùy theo trị số áp làm việc H của nguồn. Tỷ số truyền của hệ thống để đảm bảo đạt từ $5 \cdot 10^3$ đến 10^4 .

2.4. PHƯƠNG PHÁP ĐO KÍCH THƯỚC LỚN

Trong chế tạo cơ khí, kích thước trên 500 mm được xem là kích thước lớn. Tuy nhiên còn tùy thuộc kích thước đó là chiều dài hay đường kính. Trong sản xuất thông thường, đường kính trên 100 mm đã thuộc loại kích thước lớn.

Độ lớn của kích thước đo quyết định khoảng đo cần thiết của dụng cụ đo. Nếu đo kích thước lớn theo phương pháp đo thông dụng thì dụng cụ đo sẽ có kích thước rất lớn, nặng nề, khó thao tác, độ chính xác thấp do khó chế tạo, có sai số do biến dạng nhiệt... Hơn nữa, chi tiết đo có kích thước lớn sẽ rất khó khăn cho việc gá đặt, thực hiện các thao tác điều chỉnh, tạo chuyển động đo... Bởi thế khi đo kích thước lớn, đặc biệt là đường kính lớn thường dùng các phương pháp đo nêu dưới đây.

2.4.1. Phương pháp đo cung

Như hình 2-6 mô tả, các chi tiết lớn có mặt đầu như miệng thùng, miệng lò quay, miệng giếng, mặt đầu trụ... ta có thể xác định đường kính qua các yếu tố trong cung theo công thức:

$$D = h + \frac{S^2}{4h}$$

trong đó h là chiều cao cung ứng với chiều dài dây cung là S.

Với các chi tiết mặt đầu không phẳng hoặc không lộ ra như khi cần đo chi tiết trụ bị lắp khuất, bị phá huỷ không nguyên lành hoặc đang trong trạng thái lắp như lò quay, đang trong cụm thiết bị... ta đo đường kính theo sơ đồ đo hình 2-7, có:

$$D = \frac{H^2 \pm Hd + L^2}{H^2}$$

Dấu “+” ứng với cung lõm, dấu “-” ứng với cung lồi.

H là chiều cao cung ứng với dây cung là 2L hay khi đo so sánh với D_0 dự đoán trước:

$$\Delta D = - \left(\frac{L^2}{H^2} - 1 \right) \Delta H = K \Delta H$$

$$D = D_0 + K \Delta H$$

$$K = - \left(\frac{L^2}{H^2} - 1 \right)$$

Trong đó ΔH là sai lệch đo khi thiết bị chỉnh "0" với H_0 :

$$H_0 = \frac{D_0 \pm d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_0 \pm d}{2}\right)^2 - L^2}$$

Dấu "+" ứng với cung lồi, dấu "-" ứng với cung lõm.

2.4.2. Phương pháp chu vi

Dựa vào quan hệ giữa đường kính và chu vi vòng tròn C:

$$C = \pi D$$

ta có thể đo chu vi bằng các dụng cụ đo chiều dài thông dụng như các loại thước cuộn để suy ra đường kính chi tiết cần đo:

$$D = \frac{C}{\pi}$$

Độ chính xác đo phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác đo C.

Phương pháp này thường dùng đo các kích thước yêu cầu độ chính xác không cao lắm như kích thước ống lò, kích thước phôi...

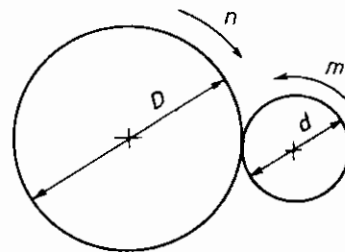
2.4.3. Phương pháp con lăn

Khi các chi tiết lớn đang gia công, không cần dừng máy có thể đo đường kính các chi tiết bằng gá đo tiếp xúc. Nguyên tắc gá đo mô tả trên hình 2-23, trong đó D là đường kính chi tiết, d là đường kính con lăn.

Con lăn được lắp với đồng hồ đo tốc độ. Khi chi tiết quay với tốc độ n, ta đặt gá đo cho con lăn tiếp xúc chi tiết, chi tiết sẽ truyền chuyển động quay sang con lăn làm con lăn quay với tốc độ m.

Ta có:

$$D = \frac{m}{n} d$$



Hình 2-23.

Độ chính xác của phương pháp phụ thuộc vào sự lăn không trượt của con lăn với chi tiết đo.

2.4.4. Phương pháp đo bằng máy kính vĩ

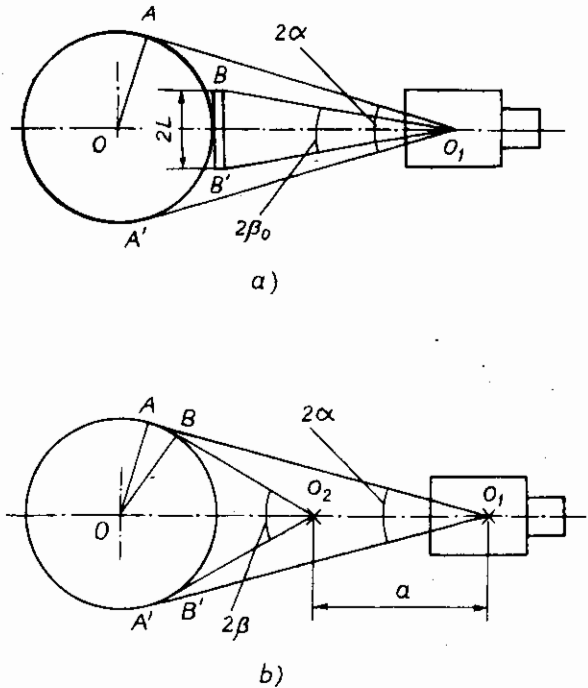
Hình 2-24 mô tả phương pháp đo kích thước bằng máy kính vĩ. Từ O_1 ngắm vòng tròn dưới hai tiếp tuyến O_1A và O_1A' dưới góc ngắm 2α . Sau đó ngắm bia BB' dưới góc ngắm 2β . Kích thước bia $BB' = 2L$. Có thể suy ra:

$$D = \frac{2L \sin \alpha \cdot \cot g \beta}{1 - \sin \alpha}$$

Trong sơ đồ b), sau khi từ O_1 ngắm vòng tròn dưới hai tiếp tuyến O_1A và O_1A' tạo góc ngắm 2α , ta dịch đến O_2 . Từ đây ngắm vòng tròn dưới hai tiếp tuyến O_2B và O_2B' dưới góc ngắm 2β . Suy ra:

$$D = 2a \frac{\sin \beta \cdot \sin \alpha}{\sin \beta - \sin \alpha}$$

Trong máy kính vĩ, độ chính xác đo góc rất cao vì thế độ chính xác đo theo sơ đồ a) chỉ phụ thuộc vào độ chính xác của kích thước bia và cách đặt bia, còn trong sơ đồ b), độ chính xác đo phụ thuộc vào độ chính xác điều chỉnh vị trí của kính.



Hình 2-24.

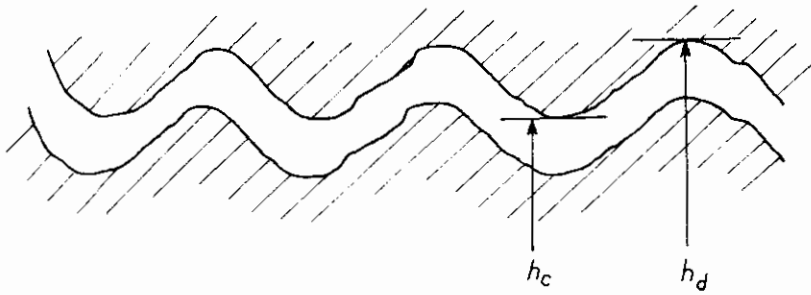
2.5. PHƯƠNG PHÁP ĐO KÍCH THƯỚC TẾ VI

Kích thước tế vi như là chiều cao nhám bề mặt, độ sóng, chiều dày lớp mạ, chiều sâu lớp mài mòn, an mòn hoặc lớp rỗ bề mặt...

Đặc điểm của kích thước là nhỏ, yếu, dễ biến dạng, khó quan sát. Vì thế, khi đo cần phải áp dụng phương pháp đo không có áp lực đo hoặc có áp lực đo rất nhỏ. Để đo được chính xác, kích thước đo cần được khuếch đại với độ khuếch đại rất lớn.

2.5.1. Phương pháp mặt cắt ánh sáng

Nếu ta chiếu một dải ánh sáng mỏng lên trên mặt bệ, vết sáng hiện trên bề mặt bệ sẽ bị bề gợn theo dạng bề mặt chi tiết. Dựa trên nguyên tắc này, người ta dùng thiết bị chiếu sáng tạo lên mặt chi tiết một vết ánh sáng mảnh. Sau đó dùng một hiển vi quan sát để khuếch đại vết sáng, tạo ảnh lên màn ảnh của thị kính. Trên thị kính ta nhận được ảnh của vết sáng đã bị bề theo dạng nhấp nhô bề mặt đo. Để đo độ nhấp nhô bề mặt người ta đo biên độ của nhấp nhô trên ảnh.



Hình 2-25.

Kích thước thực của chiều cao nhấp nhô là R_z được tính qua công thức:

$$R_z = \frac{h_d - h_c}{2\beta}$$

Trong đó h_d và h_c là tọa độ điểm đo ứng với đỉnh và chân nhấp nhô, β là độ khuếch đại ảnh của vật kính chọn dùng trong máy đo. Độ khuếch đại ảnh của vật kính được chọn dùng theo phạm vi cần đo R_z .

Phương pháp đo này chỉ dùng với các nhấp nhô bề mặt $R_z > 2 \mu m$.

Chú ý Khi thông số đo R_z là nhám bề mặt, số điểm đo cần theo đúng tiêu chuẩn là 5 nhấp nhô và:

$$R_z = \frac{1}{2\beta} \cdot \sum_{i=1}^5 (h_{di} - h_{ci})$$

2.5.2. Phương pháp giao thoa

Hình 2-26 a) là sơ đồ máy giao thoa dùng đo kích thước tế vi, trong đó θ là chi tiết cần đo.

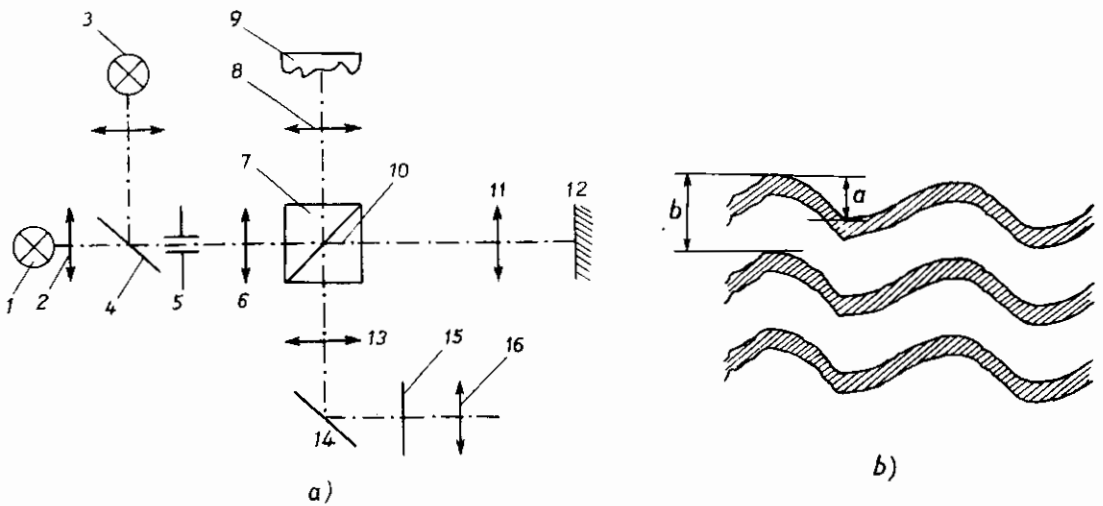
Trên thị kính ta nhận được ảnh giao thoa như hình 2-26 b). Dùng thiết bị đo độ cong a của vân và khoảng vân b . Độ nhấp nhô thực R_z được tính qua:

$$R_z = \frac{a}{b} \times \frac{\lambda}{2}$$

Trong đó λ là bước sóng ánh sáng quan sát.

Phương pháp này thường dùng đo các kích thước tế vi từ 0,05 đến dưới 2 μm . Khi đo nhám bề mặt cần đo trên 5 nhấp nhô và:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i}{\sum_{i=1}^5 b_i} \times \frac{\lambda}{2}$$



Hình 2-26.

2.5.3. Phương pháp đo tiếp xúc

Bề mặt chi tiết nhấp nhô do các vết gia công để lại. Nếu ta kéo một kim dò đi vuông góc với vết gia công thì độ nhấp nhô bề mặt sẽ làm cho kim dò chuyển vị. Chuyển vị này được khuếch đại và đưa vào bộ chỉ thị hoặc ghi đồ thị. Đó là nguyên tắc của các máy đo tiếp xúc có tên là profinlômet dùng để đo độ nhẵn, đo độ sóng, đo biên dạng hoặc các mặt bậc tế vi.

Khi đo tiếp xúc như thế có thể mô tả như quá trình lăn không trượt của vòng tròn có bán kính bằng bán kính r của đầu dò trên bề mặt đo. Nếu r càng lớn sai số

đo càng lớn. Ngoài ra, khi đo tiếp xúc cần lưu ý chọn lực đo hợp lý với vật liệu đo, sao cho:

$$\sigma_{ix} = 0,338 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot E^2}{r^2}} \leq \sigma_b$$

Trong đó:

$$E = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$$

với:

E_1, E_2 - môđun đàn hồi của vật liệu đầu đo và vật liệu đo;

P - áp lực đo;

r - bán kính đầu dò;

σ_b - ứng suất bền của vật liệu đo;

σ_{ix} - ứng suất do áp lực gây ra tại điểm đo.

Các máy đo thông dụng thường dùng là máy đo dùng chuyển đổi điện cảm.

Tuỳ theo độ lớn của R_x và vật liệu cần đo mà chọn dùng đầu dò có bán kính r và áp lực đo khác nhau.

Phương pháp đo này ngoài các phương pháp chỉ thị thông dụng để đọc được theo R_x hay R_y , máy còn gắn với bộ ghi đồ thị để có thể khuếch đại và ghi lại biên dạng nhấp nhô. Có thể tiến hành phân tích bề mặt và đo đạc trên đồ thị đã ghi lại.

2.6. PHƯƠNG PHÁP ĐO CÁC THÔNG SỐ CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG CHÍNH CỦA CHI TIẾT CƠ KHÍ

Chỉ tiêu chất lượng của chi tiết cơ khí bao gồm:


- Độ chính xác kích thước.
- Độ chính xác hình học của các mặt.
- Độ chính xác về vị trí tương đối giữa các mặt.
- Độ nhẵn bề mặt.
- Độ cứng bề mặt.

Trong các chỉ tiêu trên, độ chính xác kích thước và độ nhẵn bề mặt là hai chỉ tiêu mà phương pháp đo đã được trình bày kỹ trong phần các phương pháp đo cơ bản. Vì thế trong phần này chỉ trình bày phương pháp đo ba chỉ tiêu còn lại.

2.6.1. Phương pháp đo thông số sai số hình dáng bề mặt

Nhóm các thông số qui định sai số hình dáng bề mặt được nêu trong tiêu chuẩn TCVN - 11- 74 gồm các thông số ghi trong bảng 2-1.

Bảng 2-1

Tên sai lệch hình dáng		Ký hiệu	
Gọi tắt	Gọi đầy đủ	Trên bản vẽ	Viết tắt
Độ tròn	Sai lệch về độ tròn: độ không tròn	O	EFK
Độ trụ	Sai lệch về độ trụ: độ không trụ	|O|	EFZ
-	Sai lệch profin trên tiết diện dọc	==	EFP
Độ phẳng	Sai lệch độ phẳng: độ không phẳng		EFE
Độ thẳng	Sai lệch về độ thẳng: độ không thẳng	—	EFL

Trong đó độ trụ là chỉ tiêu tổng hợp của các chỉ tiêu về độ tròn và sai lệch profin dọc trục. Độ tròn, độ côn, độ cong đường sinh, độ cong trục là các chỉ tiêu riêng lẻ được qui định trên tiết diện ngang hoặc tiết diện dọc trục. Khi trình bày các phương pháp đo chúng ta cần tách chỉ tiêu tổng hợp thành các chỉ tiêu riêng và lấy đo làm đối tượng đo. Việc tách các chỉ tiêu tổng hợp thành các chỉ tiêu riêng lẻ sẽ gặp khó khăn về phân phối trị số dung sai tổng thành các dung sai thành phần. Thường thường để đơn giản cho bài toán người ta áp dụng phương pháp cân bằng tác dụng cho các thành phần. Tuy nhiên trong chỉ đạo cụ thể có thể căn cứ trên khả năng công nghệ mà có thể phân phối dung sai, không áp dụng phương pháp cân bằng tác dụng. Ngoài ra mỗi khi đo thông số này không tránh khỏi ảnh hưởng của các thông số khác có liên quan. Vì thế dung sai của thông số mà trong khi đo luôn luôn ảnh hưởng đến kết quả đo của các thông số khác được qui định khắt khe nhất, tức là có trị số bé nhất. Chẳng hạn độ tròn là thành phần có ảnh hưởng đến kết quả của các thông số đo tiếp sau như độ côn, độ cong, độ đảo... vì thế khi phân phối dung sai, bao giờ trị số độ tròn cũng cần nhỏ hơn, đến mức ảnh hưởng đến kết quả đo các thông số còn lại có thể bỏ qua được. Khi kiểm tra có thể một trong các chỉ tiêu đo được vượt trị số dung sai thành phần, song nếu khi tính sai lệch tổng hợp không vượt quá dung sai cho chỉ tiêu tổng hợp thì sản phẩm vẫn được xem là đạt yêu cầu.

2.6.1.1. Đo độ tròn

Độ tròn được định nghĩa là sai lệch lớn nhất giữa bề mặt thực đến đường tròn áp. Đường tròn áp là đường tròn lý thuyết bao lấy đường giới hạn bề mặt thực. Nếu

gọi R_a là bán kính vòng tròn áp và R_i là bán kính của bề mặt thực lấy cùng tâm với vòng tròn áp thì sai lệch lớn nhất giữa hai vòng tròn trên được viết là:

$$EFK = |R_a - R_i|_{\max}$$

Với chi tiết trục, R_a là bán kính vòng tròn ngoại tiếp và cũng là bán kính lớn nhất của bề mặt thực $R_{i\max}$, trị số độ tròn EFK sẽ nhận được khi $R_i = R_{i\min}$.

Với chi tiết lỗ, R_a là bán kính vòng tròn nội tiếp và cũng là bán kính bé nhất của bề mặt thực $R_{i\max}$, trị số độ tròn EFK sẽ nhận được khi $R_i = R_{i\max}$.

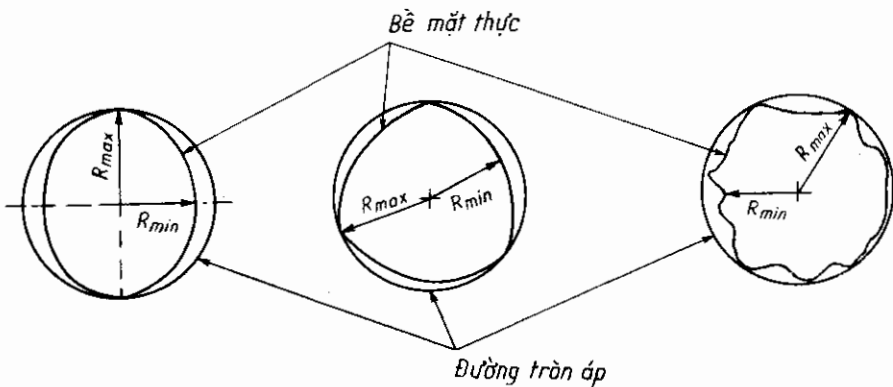
Trong cả hai trường hợp đều có thể viết:

$$EFK = R_{\max} - R_{\min} \quad (2-1)$$

Hình 2-27 là một ví dụ mô tả hiện tượng không tròn trên tiết diện trục, trong đó a) là méo 2 cạnh, b) là méo 3 cạnh, c) là méo bất kỳ.

Với chi tiết méo có số cạnh chẵn có thể suy ra:

$$EFK = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \quad (2-2)$$



Hình 2-27.

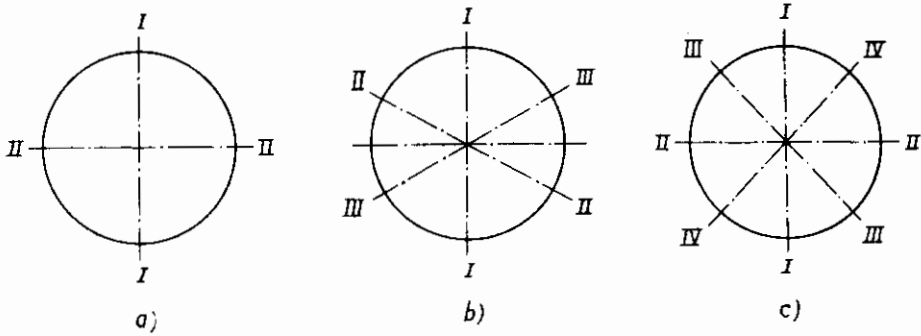
Từ công thức (2-1) và (2-2) nhận thấy rằng có thể xuất phát từ số cạnh méo mà có phương pháp đo độ tròn khác nhau:

a) Khi số cạnh n chẵn

Có thể dùng sơ đồ đo hai tiếp điểm để đo d_{\max} và d_{\min} rồi lấy:

$$EFK = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}$$

Muốn đo được d_{max} và d_{min} cần phải đo liên tục trên toàn vòng. Trong khi đo, chuyển đổi đo thường đứng yên, chỉ tiết xoay toàn vòng. Việc xoay chỉ tiết liên tục, đầu đo luôn luôn rà trên bề mặt chỉ tiết làm mòn đầu đo và mặt chuẩn đo. Trong thực tế, để tránh tổn hại dụng cụ đo và đo nhanh người ta chấp nhận việc hạn chế các phép đo như hình 2-28.



Hình 2-28.

Nếu hiệu $d_{max} - d_{min} / 1$ vòng quay là Δ và hiệu $d_{max} - d_{min} /$ một số điểm là V , gọi hệ số phản ánh đúng kết quả đo là $K = V/\Delta$. Việc kiểm tra theo các điểm ngẫu nhiên theo sơ đồ 2-28 a) cho $K = 1 \div 0$, xác suất nhận được $K = 0,75$ là 86%, do đó sơ đồ 2-28 a) cho kết quả nhanh chóng nhưng kém tin cậy. Hơn nữa, nếu số cạnh $n = 4, 8, 12 \dots$ với mọi phương đo đều cho $K = 0$.

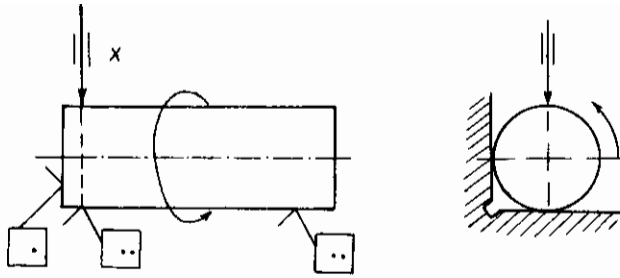
Khi đo theo sơ đồ 2-28 b), hệ số $K = 0,87 \div 0,75$ với mọi phương đo. Sơ đồ này có thể dùng đo độ tròn với các sản phẩm có số cạnh $n = 4, 8, 10, 14, 16 \dots$ trừ các số chẵn bội 3 như $n = 6, 12, 18 \dots$

Khi đo theo sơ đồ 2-28 c), hệ số $K = 1 \div 0,71$. Sơ đồ này có thể dùng đo các chi tiết méo cạnh $n = 6$.

Nhìn vào hệ số $\bar{K} = \frac{K_{max} + K_{min}}{2}$ ta thấy việc tăng số điểm đo sẽ làm tăng độ tin cậy, song việc tăng lên quá 3 điểm đo cũng không làm độ tin cậy tăng lên đáng kể mà làm phức tạp hoá quá trình đo hoặc kết cấu các điểm theo dõi số liệu đo.

Sơ đồ đo cơ bản dùng đo độ tròn theo phương pháp hai tiếp điểm như hình 2- 29. Chuyển vị của chuyển đổi cho trị số x_{max} và x_{min} sau 1 vòng quay, độ tròn:

$$EFK = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$$

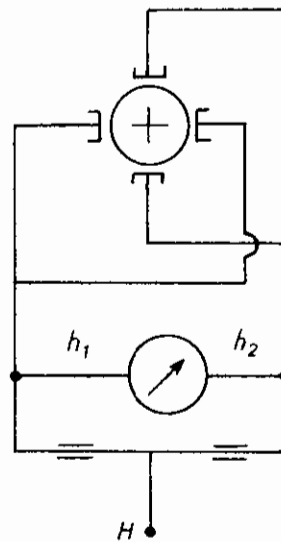


Hình 2-29.

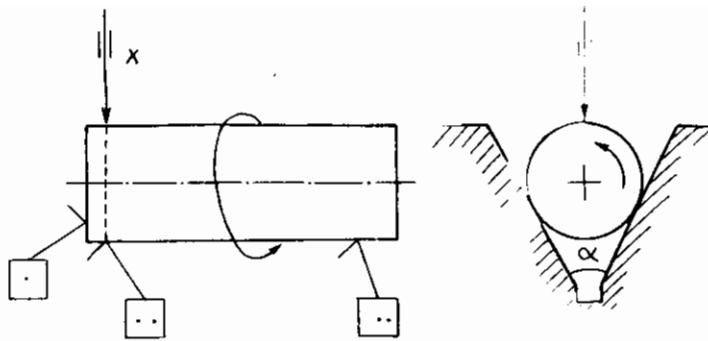
Trong kiểm tra tự động, để khỏi xoay chi tiết và tránh phải ghi nhận trị số chỉ thị người ta tổ chức các điểm theo dõi kích thước theo sơ đồ hình 2-28 rồi đưa các tín hiệu đo vào thiết bị trừ, kết quả chỉ cho ta ngay biên độ $x_{\max} - x_{\min}$. Ví dụ, có thể tổ chức sơ đồ như hình 2-30. Đây là sơ đồ đo kiểu khí nén. Hai nhánh đo theo dõi hai kích thước trên hai phương vuông góc như sơ đồ 2-28 a. Áp đo trên hai nhánh h_1 và h_2 được đưa vào áp kế vi sai. Trị số chỉ thị trên áp kế cho ta trị số độ oval hay hai lần độ tròn của chi tiết.

b) Khi số cạnh n lẻ

Các sản phẩm sau mài vô tâm, sau nghiền đĩa hay đo các biên dạng đàn hồi khi kẹp để gia công... thường cho sản phẩm bị méo với số cạnh lẻ. Để đo độ tròn khi chi tiết méo với số cạnh lẻ cần phải dùng sơ đồ đo 3 tiếp điểm. Chi tiết đo được định tâm theo vòng tròn ngoại tiếp với mặt trụ ngoài và vòng nội tiếp với mặt trụ trong. Tùy theo yêu cầu về độ chính xác và số cạnh người ta có thể dùng các sơ đồ đo có chuẩn định vị khác nhau và bố trí vị trí của chuyển đổi khác nhau sao cho có được hệ số phản ánh tương đối đơn giản. Thông thường người ta dùng sơ đồ đo 3 tiếp điểm dạng đối xứng như hình 2-31. Trong đó α là góc V được chọn theo số cạnh n của méo:



Hình 2-30.



Hình 2-31.

$$\alpha = 180^{\circ} - \frac{360^{\circ}}{n} \quad (2-3)$$

Nếu biên độ dao động của chuyển đổi sau 1 vòng quay của chi tiết là:

$$S = x_{\max} - x_{\min}$$

thì độ tròn:

$$EFK = \frac{S}{K} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K}$$

Trong đó K là hệ số phản ánh độ méo phụ thuộc vào góc của chuẩn V. Có thể chứng minh được rằng:

$$K = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \pm 1 \quad (2-4)$$

Lấy dấu + khi sơ đồ đo có ba tiếp điểm không cùng phía, lấy dấu - khi sơ đồ có ba tiếp điểm cùng phía.

Trị số K phụ thuộc α ứng với số cạnh méo được ghi trong bảng 2-2.

2.6.1.2. Đo độ trụ

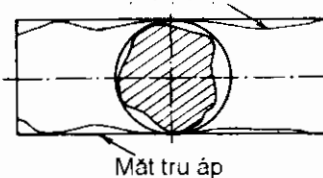
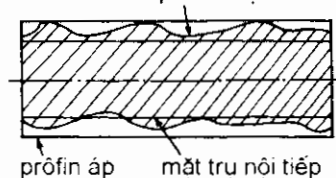
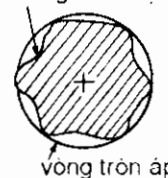
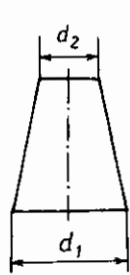
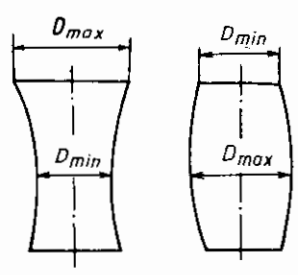
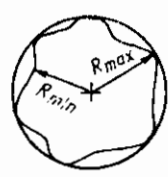
Độ trụ được định nghĩa là sai lệch lớn nhất giữa bề mặt thực đến bề mặt trụ áp, đó là mặt trụ lý thuyết bao lấy mặt trụ thực.

Hình 2-32 mô tả hiện tượng sai lệch về độ trụ. Đó là tổng hợp các sai lệch cả trên tiết diện ngang như độ tròn, và trên tiết diện dọc như độ côn, độ phình thụt, độ cong trục...

Từ định nghĩa có thể rút ra công thức tổng quát tính độ trụ:

Bảng 2-2

Các tham số đặc trưng của hệ đo 3 tiếp điểm đối xứng với n lỗ		
Số cạnh n	Góc α của chuẩn V	Hệ số K
3	60°	3
	120°	1
5	120° và 90°	2
	72°	1
7	120°	2
	103°	1
9	60°	3
	120°	1
Các tham số đặc trưng của hệ đo 3 tiếp điểm đối xứng có n kết hợp		
2, 5, 9	130°	~ 1,7
5, 7	120°	2
3, 9	120°	1
2, 3, 7, 9	108°	~ 1,4
3, 5	90°	2
3, 9	60°	3
7, 9	45°	2

	Sai lệch độ trụ	Sai lệch profin dọc Δ	Độ tròn
Sai lệch tổng hợp			
Sai lệch thành phần			
	<p>Độ côn</p> $\Delta = d_1 - d_2$	<p>Độ phình thắt</p> $\Delta = d_{max} - d_{min}$	<p>Độ cong trục</p>
			<p>Độ tròn</p> $\Delta = R_{max} - R_{min}$

Hình 2-32.

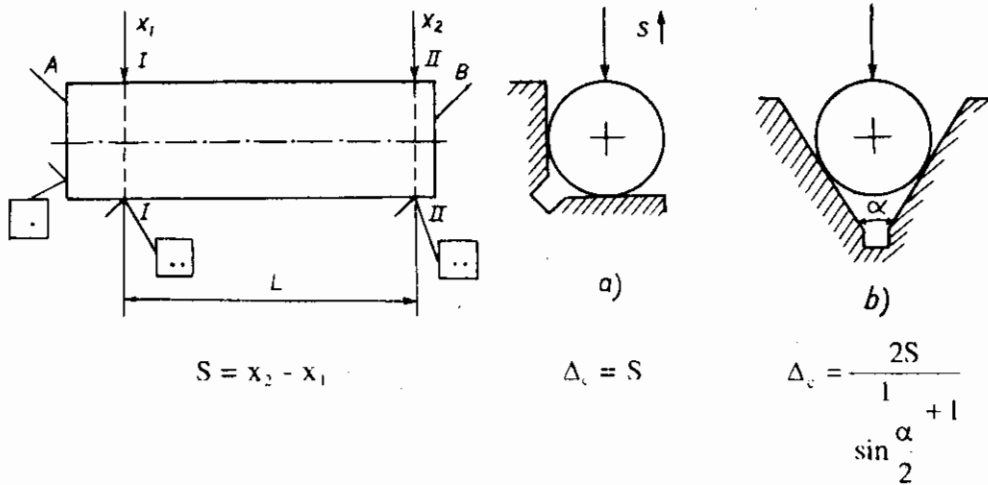
$$EF\% = \frac{D_{max} - D_{min}}{2} \quad (2-5)$$

trong đó:

D_{max} - đường kính mặt trụ ngoại tiếp;

D_{min} - đường kính mặt trụ nội tiếp với bề mặt thực, đồng tâm với mặt trụ áp.

a) *Đo độ côn*: Xác định đường kính tại hai tiết diện I-I và II-II cách nhau chiều dài chuẩn kiểm tra L (hình 2-33). Độ côn tuyệt đối bằng hiệu hai đường kính đo được. Độ côn tương đối bằng tỷ số giữa sai lệch hai đường kính đo và chiều dài chuẩn kiểm tra. Trị số L lấy theo điều kiện kỹ thuật của sản phẩm. Sau khi qui định chiều dài chuẩn kiểm tra, trị số độ côn được cho thành độ côn tuyệt đối. Như thế việc kiểm tra, ghi nhận kết quả đo và phân định chất lượng sản phẩm sẽ đơn giản dễ dàng hơn. Do bản chất của việc đo côn là việc đo đường kính nên ta có thể áp dụng các biện pháp và sơ đồ đo đối với việc đo đường kính để đo độ côn.



Hình 2-33.

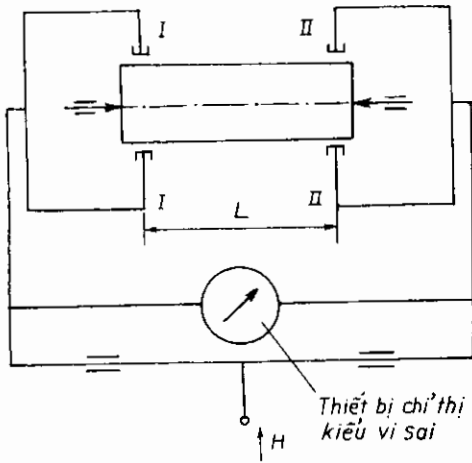
Sơ đồ đo cơ bản để đo độ côn được thể hiện trên hình 2-33. Để loại trừ các ảnh hưởng của sai số chuẩn nên đo d_1 ở đầu A rồi đảo đầu chỉ tiết cho B vào vị trí đo để đo d_2 . Sai lệch chỉ thị giữa hai lần đo cho ta là S. Độ côn đo được phụ thuộc S và hệ số ảnh hưởng của chuẩn đo như ví dụ ở hình 2-33.

Đo độ côn theo hình 2-33 năng suất thấp, chỉ thích hợp khi kiểm tra khối lượng sản phẩm không lớn lắm. Từ sơ đồ cơ bản trên có thể tổ chức sơ đồ đo vi sai (hình 2-34) hoặc dùng dụng cụ đo dạng tự chọn chuẩn (hình 2-35). Khi đó có thể đọc trực tiếp trị số độ côn trên dụng cụ đo.

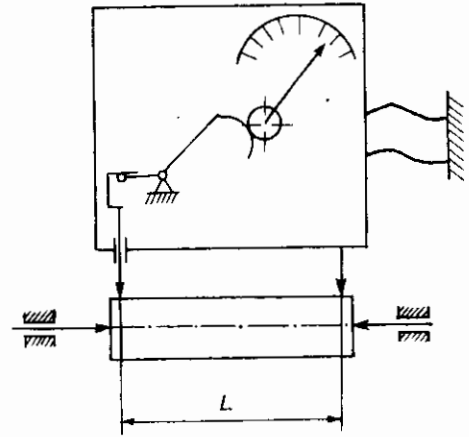
Khi dùng sơ đồ đo vi sai, việc gá đặt chi tiết rất thuận tiện vì không có sai số chuẩn như hình 2-33. Sơ đồ này được áp dụng để kiểm tra tự động độ côn trong khi gia công hoặc kiểm tra chất lượng sản phẩm loạt lớn.

b) *Đo độ phình thắt*

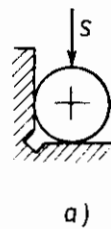
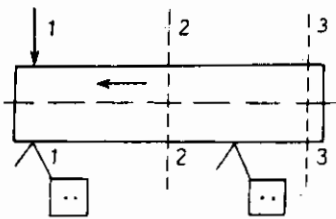
Chỉ tiêu độ phình thắt và cách tính như hình 2-32 đã hướng dẫn. Để đo độ phình thắt ta dùng sơ đồ đo đường kính. Việc đo được tiến hành trên suốt chiều dài chi tiết để tìm được d_{max} và d_{min} (hình 2-36).



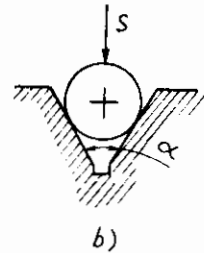
Hình 2-34.



Hình 2-35.



a)



b)

$$\Delta = x_{\max} - x_{\min}$$

$$\Delta = 2 \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Hình 2-36.

Tuy nhiên độ phẳng thật rất phụ thuộc vào phương pháp công nghệ cũng như trang bị gia công. Thường có thể xác định được qui luật của sự phẳng thật vì thế để đơn giản cho quá trình đo người ta biến việc đo liên tục trên suốt chiều dài thành việc đo các đường kính d tại các điểm dự đoán trên cùng một mặt phẳng qua trục. Khi số điểm đo tăng lên, chỉ tiêu độ phẳng thật với tần số cao sẽ gần với chỉ tiêu sai số profin trên tiết diện dọc trục. Trong đó sai số profin sẽ được tính bằng nửa độ biến thiên đường kính trên tiết diện dọc trục.

c) Đo độ cong trục

Tâm thực của bề mặt tại tiết diện nào đó là tâm đối xứng của các điểm trên bề mặt thực. Trục tâm thực của chi tiết là đường nối tâm của các tiết diện. Việc đo độ

cong trục, bản chất là xác định độ đối xứng của các điểm trên bề mặt thực quanh đường tâm lý tưởng tạo bởi đường nối tâm của hai tiết diện cách nhau chiều dài chuẩn kiểm tra. Chiều dài chuẩn kiểm tra và vị trí của đầu đo có ý nghĩa rất quy định đến trị số độ cong trục, thường được ghi sẵn trong yêu cầu kỹ thuật hoặc hướng dẫn kiểm tra. Nếu trong yêu cầu kỹ thuật không ghi rõ chiều dài chuẩn thì phải hiểu là chỉ tiêu cho trên suốt chiều dài chi tiết. Khi chi tiết không có đột biến về mặt kết cấu, độ cong trục sẽ lớn nhất tại điểm giữa chiều dài chi tiết. Khi chi tiết có đột biến về tiết diện, độ cong trục sẽ lớn nhất tại nơi có đột biến. Đầu đo của chuyển đổi cần được đặt ở nơi có thể phát hiện ra độ cong trục lớn nhất. Để giảm ảnh hưởng của sai số phụ khác, đầu đo cần được đặt trên mặt nào đó có độ tròn và độ nhẵn cao hơn.

Việc đo độ cong trục có thể theo sơ đồ hình 2-37. Chuyển vị của đầu đo $S = x_{max} - x_{min}$ đo sau một vòng quay của chi tiết.

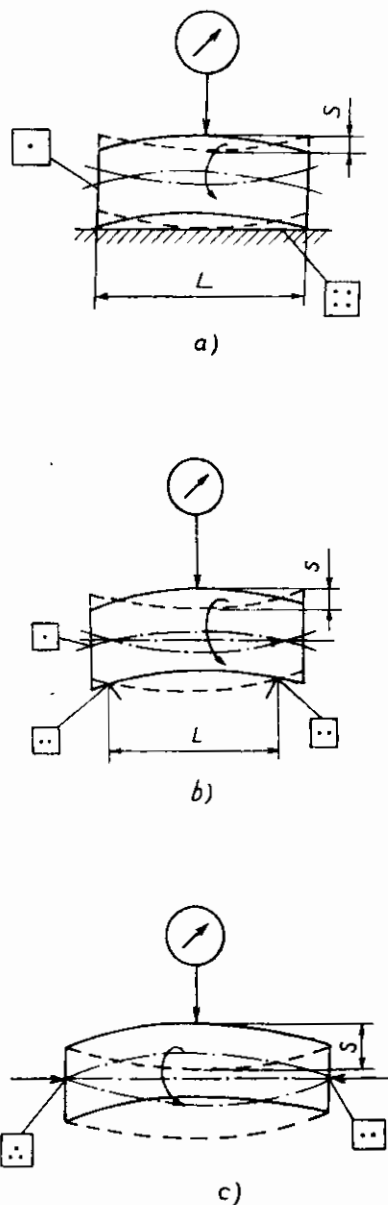
Kết quả đo theo sơ đồ 2-37 a trên chuẩn phẳng $\Delta_{cg} = S$.

Kết quả đo theo sơ đồ 2-37 b trên hai chuẩn V ngắn và đo theo sơ đồ 2-37 c theo chuẩn đường tâm của hai mũi chống tâm cho $\Delta_{cg} = S/2$.

2.6.1.3. Đo độ thẳng

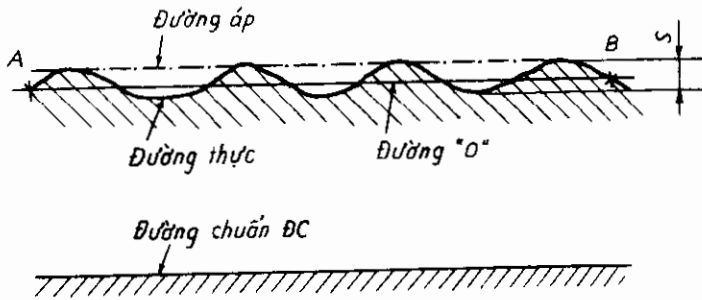
Độ thẳng được định nghĩa là sai lệch lớn nhất giữa đường thẳng thực và đường thẳng áp.

Để đo được độ thẳng, người ta phải dịch chuyển chuyển đổi đo theo phương của đường áp. Chuyển vị của đầu đo



Hình 2-37.

dịch chuyển theo phương pháp tuyến của đường áp. Trong kỹ thuật, gọi phương của đường áp là phương "0", đường thẳng đi qua hai điểm chuẩn đo song song với nó được gọi là đường "0". Người ta lấy đường "0" làm đường chuẩn hay đường trượt chuẩn để đo độ thẳng.



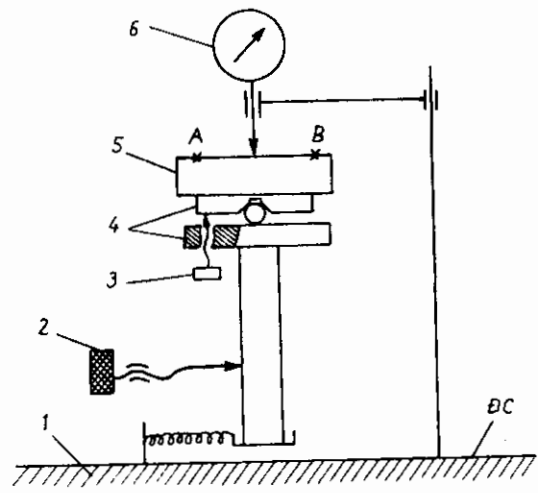
Hình 2-38.

Sai lệch chỉ thị lớn nhất của đầu đo theo phương trượt chuẩn cho ta độ thẳng:

$$EFL = x_{\max} - x_{\min}$$

Với các chi tiết không lớn lắm, người ta gá nó lên bàn điều chỉnh được. Với chiều dài chuẩn kiểm tra là AB, người ta điều chỉnh sao cho AB song song với phương trượt chuẩn DC là phương trượt dẫn của băng máy đo có mang chuyển đổi như hình 2-39.

Trong hình 2-39, 1 là băng trượt chuẩn, 4 là bàn mang chi tiết. Chi tiết 5 đặt trên bàn. Điều chỉnh cho AB//DC nhờ vít 3. Vít me 2 thực hiện chuyển động đo để đầu đo rà từ A đến B. Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác dẫn trượt của băng



Hình 2-39.

máy và khả năng điều chỉnh cho AB//ĐC.

Để nâng cao độ chính xác dẫn trượt và để giảm ma sát cho chuyển động đo, trong nhiều máy đo người ta sử dụng dẫn trượt trong đệm khí hoặc trong dầu.

Với các chi tiết nặng như băng trượt của máy, việc đặt chi tiết lên các cơ cấu điều chỉnh là rất khó khăn, nhiều khi là không thể được. Để đo được độ thẳng có thể tiến hành bằng cách lắp hệ thống đo sao cho có thể điều chỉnh phương băng trượt chuẩn cho ĐC//AB đã đạt cố định.

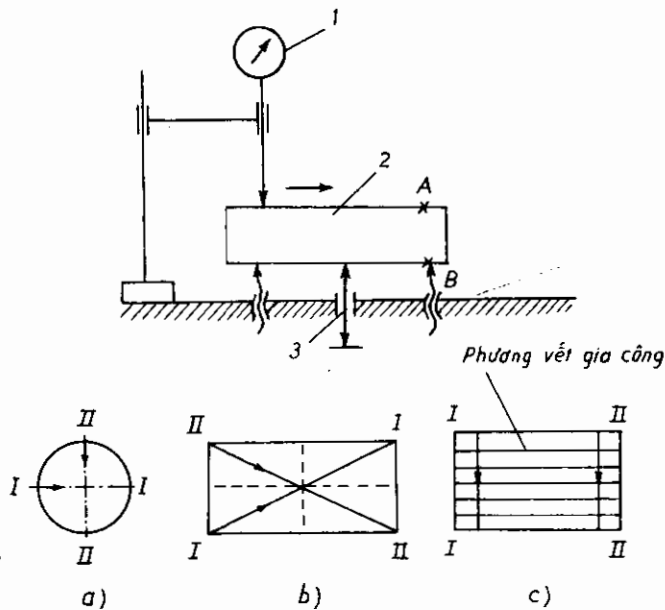
Với các chi tiết dẫn hướng lớn như băng máy công cụ, băng máy đo ... người ta còn dùng ống nhôm tự chuẩn để đo độ thẳng. Phương pháp này sẽ được trình bày trong phần đo độ phẳng.

2.6.1.4. Đo độ phẳng

Độ phẳng được định nghĩa là sai lệch lớn nhất giữa bề mặt thực và bề mặt áp. Đó chính là khoảng cách lớn nhất từ bề mặt thực đến bề mặt áp, đo theo phương pháp tuyến với bề mặt áp.

Để đo độ phẳng người ta phải dịch chuyển chuyển đổi đo theo mặt phẳng chuẩn song song với mặt áp. Chuyển vị của đầu đo dịch chuyển theo phương pháp tuyến với mặt áp.

Để loại trừ ảnh hưởng của các yếu tố khác trong chi tiết, chi tiết cần đặt trên bàn điều chỉnh được. Khi đo, cần điều chỉnh chi tiết sao cho mặt phẳng "0" song song với mặt phẳng chuẩn. Mặt phẳng "0" có thể được tạo thành bởi 3 hoặc 4 điểm cách xa nhau



Hình 2-40.

nhất trên bề mặt thực. Khi điều chỉnh trước khi đo, cần chỉnh chỉ tiết sao cho chỉ thị của dụng cụ đo sau khi rà theo mặt chuẩn MC sẽ có chỉ số đo tại 3 hay 4 điểm trên băng nhau để mặt phẳng "0" song song với mặt phẳng chuẩn MC. Hình 2-40 mô tả nguyên tắc đo độ phẳng.

Khi chỉ tiết có bề mặt không qui luật, độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào số điểm đo.

Khi bề mặt chỉ tiết có vết gia công theo qui luật, số điểm đo có thể giảm đi. Thông thường việc đo được đi theo từng tuyến như hình 2-40. Trong mỗi tuyến rà sẽ có chỉ thị x_{max} , x_{min} . Kết quả đo độ phẳng sẽ được tính là:

$$EFE = \max x_{i,max} - \min x_{k,min}$$

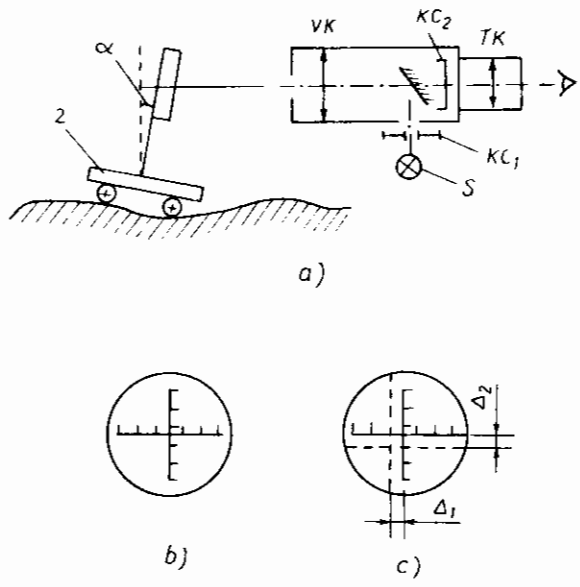
trong đó:

i, k - tên tuyến rà.

Với chỉ tiết lớn, nặng, người ta lắp hệ đo sao cho có thể chỉnh cho mặt phẳng trượt chuẩn song song với mặt phẳng "0" của chỉ tiết đã cố định.

Với các mặt phẳng dẫn hướng như mặt phẳng đế dẫn trượt bàn xe dao, bàn đo... người ta dùng phương pháp đo bằng ống nhòm tự chuẩn như hình 2-41 mô tả. Trong đó giá gương được gắn trên xe trượt, xe trượt rà trên bề mặt đo. Ống nhòm được điều chỉnh "0" với phương pháp tuyến của mặt đo, khi đó mặt gương vuông góc với quang trục.

Ảnh của kính chuẩn KC_1 và KC_2 trùng nhau. Khi gương đi trượt trên bề mặt đo, do mặt chỉ tiết không phẳng gương sẽ dao động theo phương pháp tuyến với mặt đo, gương sẽ xoay đi góc α (theo cả phương y và phương z). Ảnh của KC_1 và KC_2 lệch nhau theo cả hai phương Δ_1 và Δ_2 . Đo được Δ_1 và Δ_2 có thể xác định được độ không thẳng và không phẳng của bề mặt



Hình 2-41.

đo.

Với các mặt phẳng độ nhẵn và độ chính xác cao người ta dùng bản phẳng song song để kiểm tra. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc giao thoa qua bản mỏng hình nêm tạo bởi bề mặt kiểm tra và bề mặt bản phẳng. Đếm số vân giao thoa hiện lên không kể vân mép có thể tính được độ phẳng:

$$EFE = n \frac{\lambda}{2}$$

trong đó:

n - số vân cùng một màu;



λ - bước sóng ánh sáng quan sát.

Thường quan sát dưới ánh sáng trắng, có thể lấy gần đúng $\lambda = 0,6 \mu m$.

2.6.2. Phương pháp đo thông số sai số vị trí tương đối


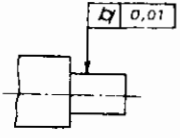
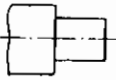

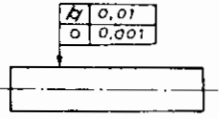
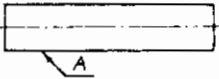

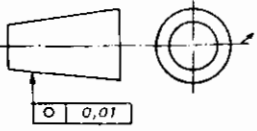
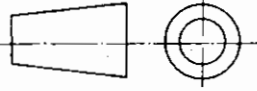

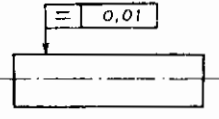
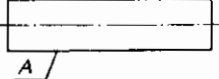

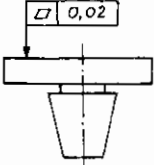
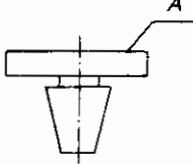

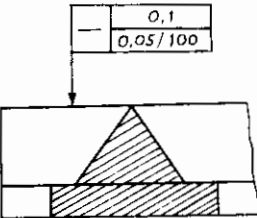
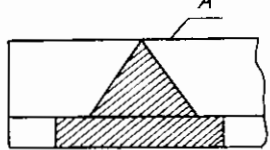
Nhóm các thông số qui định sai số vị trí tương đối giữa các mặt, các đường được nêu trong tiêu chuẩn TCVN-11-74 gồm các thông số ghi trong bảng 2-3.

Bảng 2-3

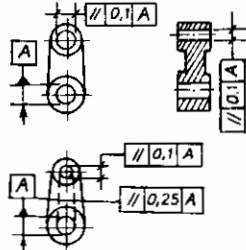
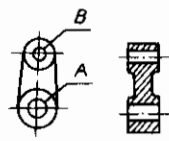
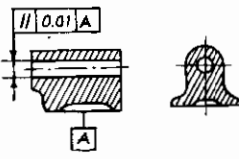
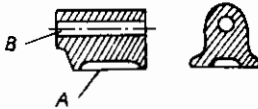
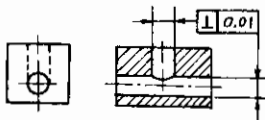
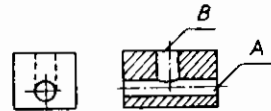
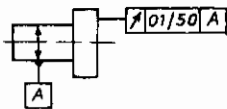
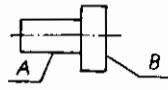
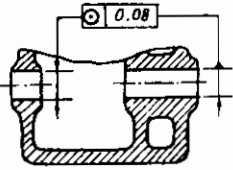
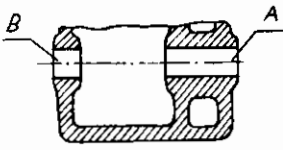
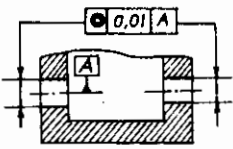
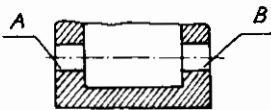
TT	Tên các thông số	Ký hiệu	Viết tắt
1	Độ song song	//	EPA
2	Độ vuông góc	\perp	EPR
3	Độ đồng tâm	\odot	EPC
4	Độ đảo hướng tâm	/	ECR
5	Độ đảo hướng trục	/	ECA
6	Độ đảo hướng tâm toàn phần		ECTR
7	Độ đảo hướng trục toàn phần		ECTA
8	Độ đối xứng	+	EPS
9	Độ xuyên tâm	x	EPX
10	Sai lệch góc nghiêng	\angle	EPN

Sai số vị trí là sự sai khác giữa vị trí các bề mặt thực và vị trí danh nghĩa của nó.

Hình 2-42 mô tả các loại sai số vị trí, cách ký hiệu và giải thích về các chỉ tiêu qui định.

Ký hiệu	Trên bản vẽ	Trong yêu cầu kỹ thuật
		 <p data-bbox="726 309 1134 368">Độ không trụ bề mặt A không lớn hơn 0,01 mm</p>
		 <p data-bbox="739 533 1125 591">Độ không trụ mặt A không quá 0,01 mm. Độ tròn không quá 0,001</p>
		 <p data-bbox="752 799 1099 829">Độ tròn mặt côn không quá 0,01</p>
		 <p data-bbox="739 1015 1112 1074">Sai lệch profile tiết diện trục mặt A không quá 0,01 mm</p>
		 <p data-bbox="726 1309 1125 1338">Độ phẳng mặt A không quá 0,02 mm</p>
		 <p data-bbox="726 1571 1138 1660">Độ thẳng đường A không quá 0,1 mm trên toàn chiều dài không quá 0,05 trên chiều dài 100 mm</p>

Hình 2-42.

Ký hiệu	Trên bản vẽ	Trong yêu cầu kỹ thuật
//		 <p>Độ song song đường tâm lỗ B và đường tâm lỗ A không quá 0,1 mm. Độ nghiêng trục không quá 0,25 mm</p>
//		 <p>Độ song song đường tâm lỗ và mặt A không quá 0,01 mm</p>
⊥		 <p>Độ vuông góc đường tâm lỗ B và đường tâm lỗ A không quá 0,04 mm</p>
↗		 <p>Độ đảo mặt đầu B so với mặt trụ A không quá 0,1 mm trên đường kính 50 mm</p>
○		 <p>Độ đồng tâm của lỗ B so với lỗ A không quá 0,08 mm</p>
⊙		 <p>Độ đồng tâm của các lỗ với trục chung không quá 0,01 mm</p>

Hình 2-42 (tiếp theo).

Ký hiệu	Trên bản vẽ	Trong yêu cầu kỹ thuật
		 Độ đảo hướng kính của mặt trụ B, C với trục lỗ A không quá 0,01 mm
		 Độ đối xứng của hai mặt B với trục lỗ A không quá 0,04 mm
		 Độ xuyên tâm hai lỗ không quá 0,06 mm

Hình 2-42 (tiếp theo).

2.6.2.1. Đo độ song song

Độ song song được định nghĩa là sai lệch khoảng cách lớn nhất giữa hai yếu tố (đường hay mặt) đo trên chiều dài chuẩn kiểm tra.

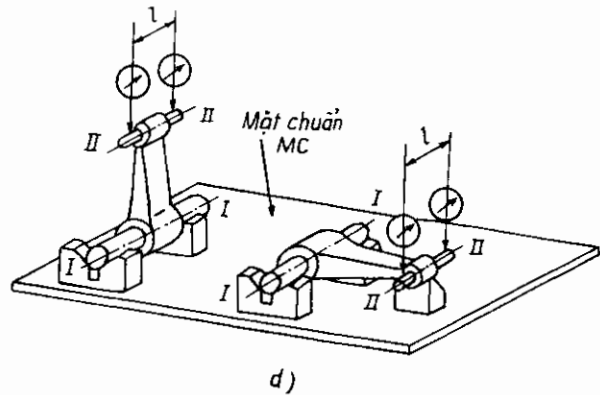
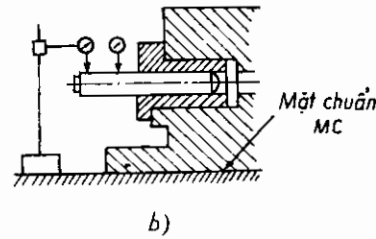
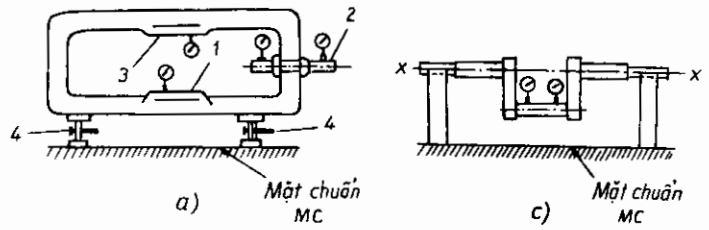
Độ song song giữa các mặt phẳng, mặt phẳng với đường tâm lỗ, tâm trục hoặc giữa các đường với nhau thường được đo theo phương pháp rà hoặc đo điểm trên chiều dài chuẩn quy định trước.

Độ song song ghi trong chỉ tiêu kỹ thuật thường được cho có thứ nguyên độ dài là *milimet*. Thường có thể dùng các dụng cụ đo độ dài vạn năng để đo. Khi đo, dụng cụ đo được dẫn trượt theo yếu tố chuẩn, đầu đo rà trên yếu tố đo. Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác dẫn trượt chuẩn.

Khi độ song song cho phép trên từng chiều dài chuẩn, ở các mặt đo lớn, người ta có thể chuyển nó sang dạng tang góc nghiêng giữa hai mặt. Khi đó có thể dùng dụng cụ đo chuyên dùng như nivô kỹ thuật, nivô đo góc nhỏ... nhằm đánh giá độ song song qua góc nghiêng giữa hai mặt.

Hình 2-43 mô tả phương pháp đo độ song song giữa các yếu tố.

Hình 2-43 a: đo độ song song của hai mặt 1 và 3 với lỗ 2. Khi lỗ 2 nhỏ không thể đưa dụng cụ đo vào rà trong lỗ người ta biến tâm lỗ thành tâm trục bằng cách lồng trục chuẩn 2 vào lỗ. Các vít chỉnh 4 dùng để điều chỉnh cho 2 song song với mặt trượt chuẩn MC. Rà lần lượt chuyển đổi đo trên mặt 1 và 3 theo mặt trượt chuẩn MC. Sai lệch lớn nhất sau mỗi tuyến rà cho ta độ song song của mặt kiểm tra so với MC, được xem là độ song song của nó với lỗ 2.



Hình 2-43.

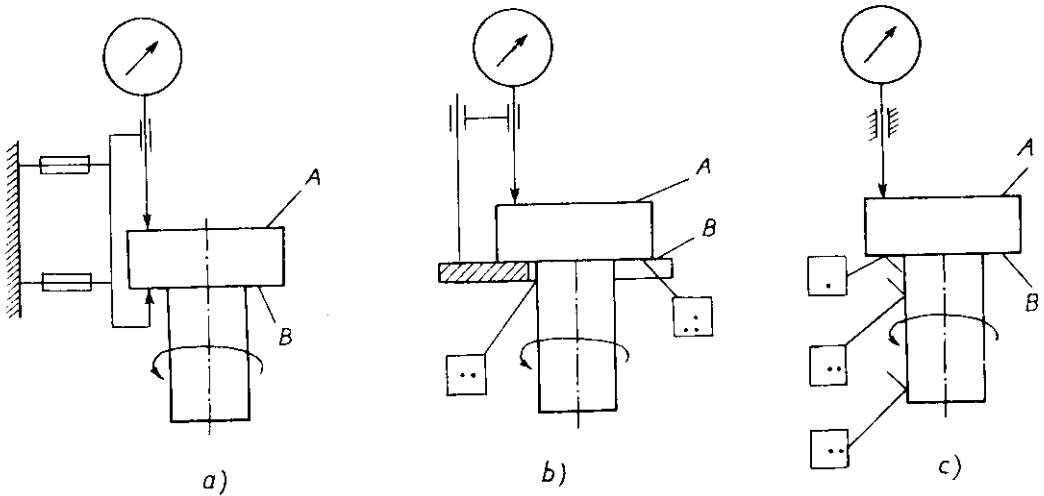
Hình 2-43 b: đo độ song song của đường tâm lỗ với mặt đáy. Khi lỗ chỉ tiết khá lớn, việc dùng trục chuẩn sẽ khó khăn.

Người ta thường dùng thêm các bạc lót có đường kính trong phù hợp với trục chuẩn phổ thông, đường kính ngoài chế tạo theo độ chính xác sản phẩm sao cho khi thực hiện mỗi lần ráp với lỗ cần đo sẽ cho khe hở lắp nhỏ, không gây sai số đo đáng kể.

Hình 2-43 c: đo độ song song của cổ biên trục khuỷu với hai cổ trục chính. Hai cổ trục chính định tâm trên hai khối V ngắn có tâm V song song với MC. Đầu đo rà trên mặt trụ cổ biên theo MC. Sai lệch sau khi rà từ 1 đến 2 cho ta độ song song của cổ biên so với cổ trục chính.

Hình 2-43 d: đo độ song song của hai lỗ tay biên. Việc đo được tiến hành trên hai phương vuông góc với nhau. Khi đo cần biến tâm lỗ thành tâm trục. Điều chỉnh cho trục mang yếu tố chuẩn song song với mặt chuẩn MC, đầu đo thực hiện chuyển động rà trên yếu tố đo theo chiều dài chuẩn quy định. Sai lệch chỉ thị sau mỗi tuyến rà cho ta độ song song của hai yếu tố theo phương đo tương ứng.

Hình 2-44 là sơ đồ đo độ song song của vai trục với mặt đầu. Trong đó hình 2-44 a là sơ đồ đo cho trường hợp dùng dụng cụ cầm tay hoặc đo trên các gá đo mềm. Dụng cụ tự định chuẩn trên mặt B. Kết quả đo theo sơ đồ đo hai tiếp điểm đạt độ chính xác cao.



Hình 2-44.

Hình 2-44 b là phương án đo tốt, ổn định, thường dành cho việc đo độ song song của các mặt có diện tích nhỏ, độ phẳng tốt.

Hình 2-44 c là phương án tương tự phương án a, dùng cho gá đo để bàn có điểm chuẩn đo cố định, dùng đo các mặt có độ phẳng tốt.

2.6.2.2. Đo độ vuông góc

Đo độ vuông góc được định nghĩa là sai lệch góc giữa hai yếu tố (đường thẳng hay mặt phẳng) so với góc vuông.

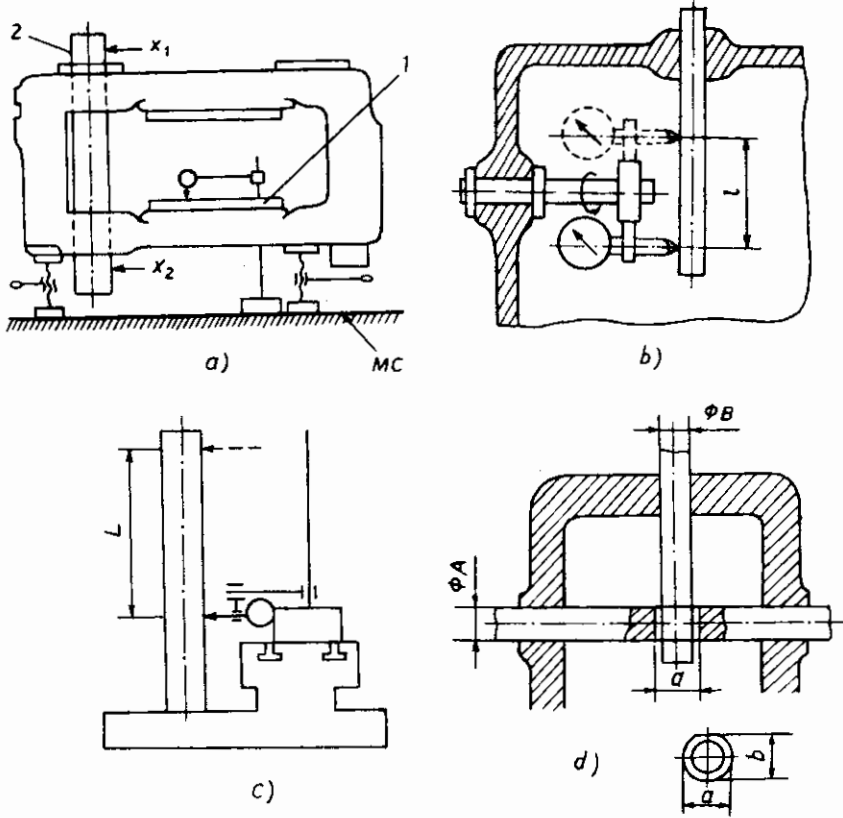
Độ vuông góc giữa các mặt, giữa đường và mặt, giữa các đường với nhau thường được đo bằng phương pháp rà. Khác với trường hợp đo độ song song, khi đo độ vuông góc luôn luôn cần có chuyển động rà trượt chuẩn phải vuông góc với mặt chuẩn MC. Độ chính xác của kết quả đo rất phụ thuộc vào độ vuông góc của chuyển động rà với MC. Hình 2-45 mô tả phương pháp đo độ vuông góc của yếu tố.

Hình 2-45a đo độ vuông góc của đường tâm lỗ với các mặt phẳng. Khi đo, trục chuẩn 2 được lồng vào chi tiết. Dùng các vít điều chỉnh cho mặt 1 song song với MC, chuyển động đo di trượt trên phương vuông góc MC. Sai lệch giữa x_1 , x_2 đo trên chiều dài chuẩn kiểm tra cho ta độ vuông góc giữa 2 và 1.

Tương tự có thể thực hiện phép đo theo hướng chỉnh cho $x_1 = x_2$ làm cho 2 vuông góc MC rồi đo độ song song giữa 1 và MC. Kết quả đo này cho ta độ vuông góc giữa 1 và 2.

Hình 2-45 b: đo độ vuông góc giữa hai đường tâm lỗ với nhau.

Hình 2-45 c: đo độ vuông góc giữa bản máy và trụ đứng.



Hình 2-45.

Hình 2-45 d dùng kiểm tra độ vuông góc giữa hai lỗ nhỏ bằng calip. Trong đó ΦA và ΦB là hai trục chuẩn. Trên ΦA người ta tạo ra một lỗ có kích thước:

$$a = \Phi B + EsB + \Delta_v$$

$$b = \Phi B + EsB + \Delta_t$$

trong đó:

ΦB - kích thước danh nghĩa của lỗ B;

Δ_v - độ vuông góc cho phép;

Δ_t - độ xuyên tâm cho phép.

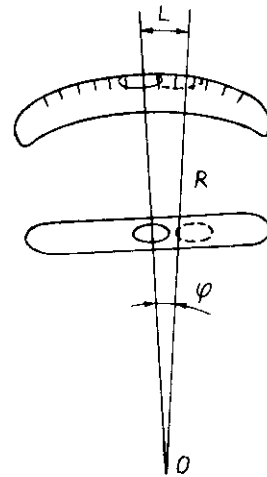
2.6.2.3. Đo sai lệch góc nghiêng

Sai lệch góc nghiêng là sai lệch góc giữa đường thẳng hay mặt phẳng so với đường thẳng hay mặt phẳng chuẩn cho trước.

Thông thường sai lệch góc nghiêng về bản chất thông số, nó được qui nạp về độ song song. Phương mặt phẳng hay đường thẳng chuẩn thường được hiểu là phương nằm ngang hay phương thẳng đứng.

Chẳng hạn góc nghiêng của bàn máy với phương nằm ngang, góc nghiêng giữa hai trục...

Để đo góc nghiêng của mặt phẳng so với phương nằm ngang, thường người ta dùng nivô kỹ thuật hay nivô đo góc nhỏ. Yếu tố nhạy của nivô là một ống nhỏ mang bọt nước như hình 2-46. Ống nivô được gắn trong phương nằm ngang thì bọt nước nằm trùng điểm "0". Khi đặt nivô trên mặt phẳng nghiêng với phương nằm ngang, bọt nước sẽ chuyển dịch một đoạn L (đọc bằng số vạch của nivô). Có thể tính được góc nghiêng quan hệ với chuyển vị:



Hình 2-46.

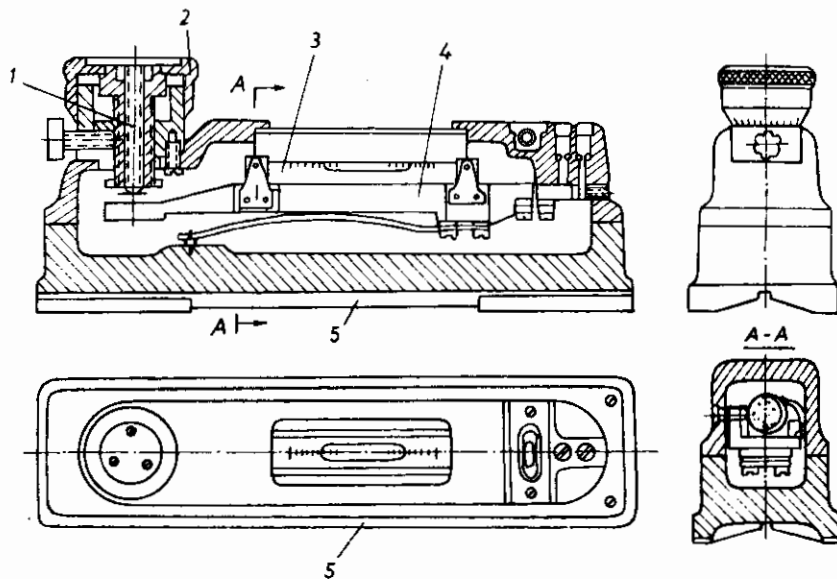
$$L = \varphi R, \text{ mm}$$

Thường góc nghiêng cho theo trị số tang góc nghiêng. Từ trị số tang có thể tính ra chuyển vị tương ứng của L .

Người ta có thể thực hiện các cơ cấu khuếch đại chuyển vị hoặc các phương pháp quan trắc khác nhau để đạt được độ chính xác khác nhau. Hình 2-47 là kết cấu nivô tế vi.

Khi bọt nước của nivô 3 bị lệch đi, người ta vận panme 2 sao cho bọt nước trở về vị trí 0. Chuyển vị của đầu panme được đọc theo tang góc lệch, mỗi vạch panme ứng với $0,01 \text{ mm}/1 \text{ m}$.

Hình 2-48 mô tả phương pháp đo sai lệch góc nghiêng giữa hai trục: giá trượt được định tâm trên ΦA với 4 bậc tự do. Bậc tự do thứ năm đặt trên mặt chuẩn MC song song với tâm ΦA . Dịch chuyển hệ đo di chuyển dọc trục. Sai lệch chỉ thị trên chiều dài chuẩn kiểm tra cho ta sai lệch góc nghiêng giữa hai trục.

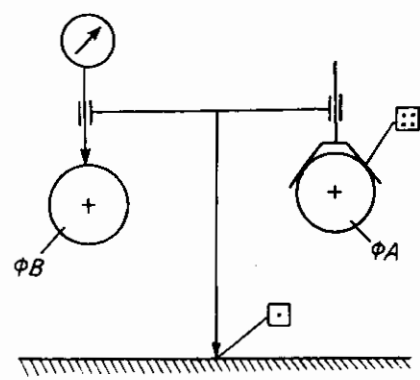


Hình 2-47.

Nếu đặt bệ định vị thứ năm trên chính $\varnothing B$, sai lệch chỉ thị giữa hai điểm đo trên chiều dài chuẩn sẽ cho ta hai lần sai lệch góc nghiêng

2.6.2.4. Đo độ đồng tâm và độ đảo hướng tâm

Độ đồng tâm là khoảng cách lớn nhất giữa tâm của mặt cần được đo và tâm được dùng làm yếu tố chuẩn, đo trên chiều dài chuẩn kiểm tra.



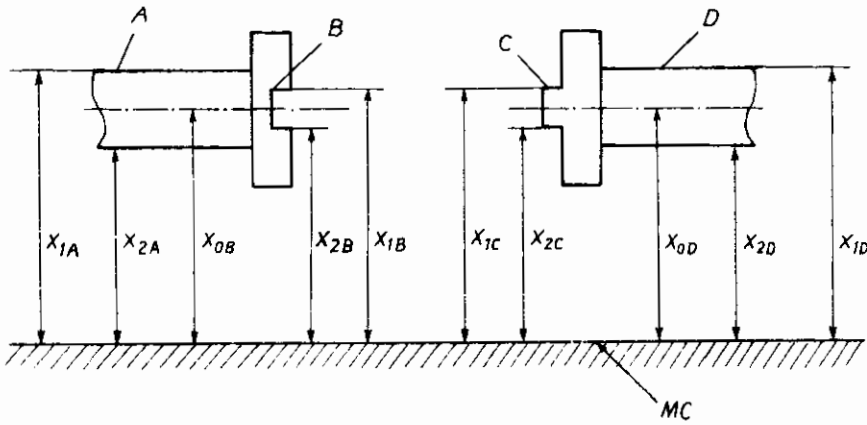
Hình 2-48.

Tâm của một mặt là đường tâm đối xứng của các điểm tương ứng trên bề mặt. Bởi vậy các trục có tiết diện tam giác, tứ giác, đa giác đều hoặc có tiết diện tròn đều có thể tồn tại khái niệm độ đồng tâm.

Trong trường hợp các trục có tiết diện tròn, chỉ tiết có thể quay quanh đường tâm, người ta dùng khái niệm độ đảo, đó là sai lệch khoảng cách lớn nhất của tâm tiết diện thực của bề mặt chỉ tiết đo so với tâm tiết diện quay quanh trục chuẩn, đo trên phương vuông góc với trục quay.

Do đó chỉ tiến hành đo độ đồng tâm khi tiết diện chỉ tiết không tròn. Và nói chung không thể thực hiện chuyển động quay quanh tâm được. Các trường hợp cho

phép có thể quay quanh tâm, người ta dùng phương pháp đo độ đảo, sơ đồ đo đơn giản hơn, chỉ số đo phát hiện là độ đảo lớn gấp hai lần độ đồng tâm tất nhiên kết quả đo sẽ chính xác hơn.



Hình 2-49.

Hình 2-49 mô tả phương pháp đo độ đồng tâm của hai vấu khớp ly hợp. Trước hết cần kiểm tra độ đồng tâm giữa A và B; C và D.

$$\Delta_{B/A} = \left| \frac{X_{1B} + X_{2B}}{2} \right| - \left| \frac{X_{1A} + X_{2A}}{2} \right|$$

$$\Delta_{C/D} = \left| \frac{X_{1C} + X_{2C}}{2} \right| - \left| \frac{X_{1D} + X_{2D}}{2} \right|$$

Sau khi $\Delta_{B/A}$ và $\Delta_{C/D}$ rất không đáng kể so với sai số độ đồng trục cho phép giữa B và C, ta có độ đồng tâm B/C:

$$\Delta_{B/C} = \left| \frac{X_{1B} + X_{2B}}{2} - \frac{X_{1C} + X_{2C}}{2} \right|$$

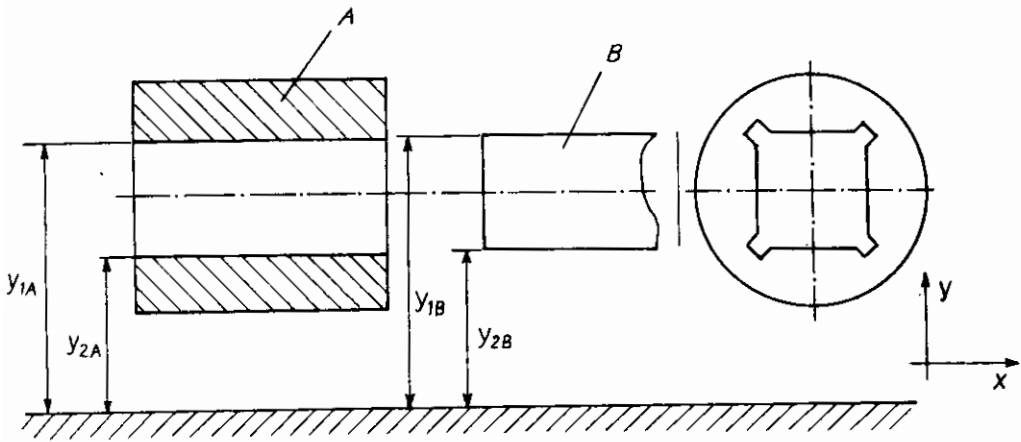
Hình 2-50 mô tả phương pháp đo độ đồng trục của then dẫn với bạc trượt.

Độ đồng tâm được xác định tương tự như hình 2-49 trên cả hai phương x và y. Độ đồng tâm của A và B sẽ là:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$$

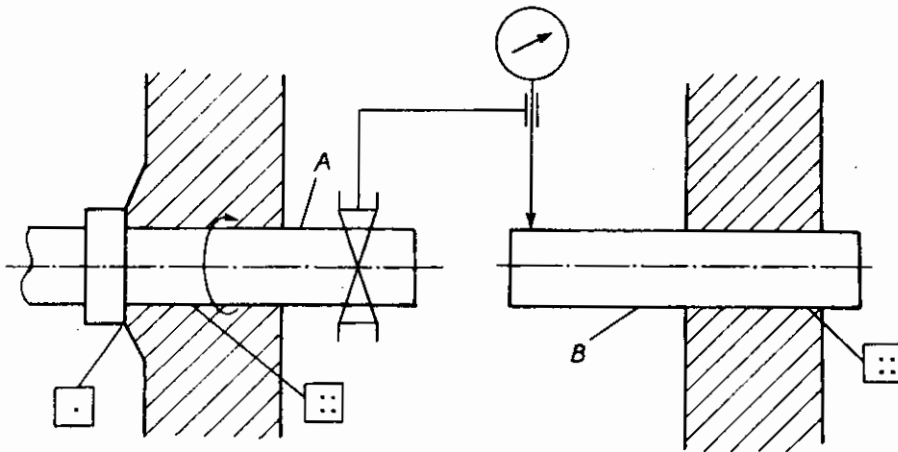
$$\Delta_x = \left| \frac{X_{1A} + X_{2A}}{2} - \frac{X_{1B} + X_{2B}}{2} \right|$$

$$\Delta_Y = \left| \frac{y_{1A} + y_{2A}}{2} - \frac{y_{1B} + y_{2B}}{2} \right|$$



Hình 2-50.

Khi một trong hai yếu tố xét độ đồng tâm có thể quay quanh tâm người ta dùng sơ đồ đo độ đảo. Hình 2-51 mô tả sơ đồ đo độ đồng trục giữa hai lỗ A và B. Biến tâm lỗ thành tâm trục nhờ hai trục chuẩn A và B. Trục chuẩn A mang hệ đo quay quanh tâm A.



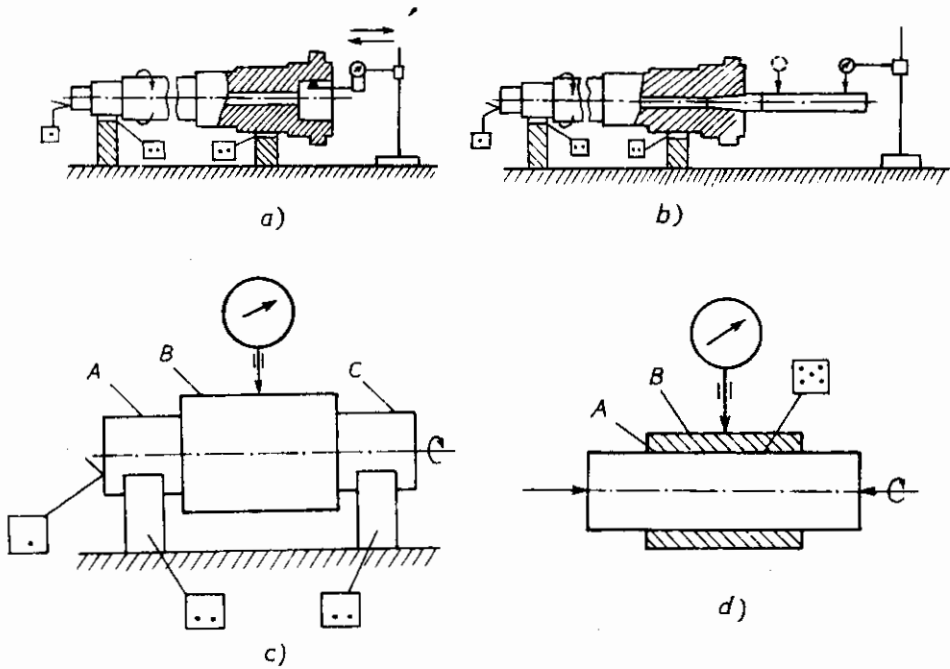
Hình 2-51.

Đầu đo rà liên tục trên một tiết diện vuông góc với trục. Sai lệch chỉ thị lớn nhất và nhỏ nhất sau 1 vòng quay chính là sai lệch giữa khoảng cách lớn nhất và nhỏ nhất từ các điểm trên tiết diện đo ở trục B tới đường tâm quay, đó chính là độ đảo hướng tâm giữa hai trục, bằng hai lần độ đồng tâm của A và B.

$$ECR = x_{\max} - x_{\min}$$

Đo theo sơ đồ đo 2-51 nhanh chóng, chính xác. Gá đo tự chuẩn trên chi tiết, không cần có các mặt chuẩn trung gian. Sơ đồ đo này rất thuận lợi khi cân đo độ đồng tâm của chi tiết lớn và nặng.

Hình 2-52 mô tả phương pháp đo độ đảo hướng tâm của các mặt trên cùng chi tiết.



Hình 2-52.

Hình 2-52 a) dùng đo độ đảo hướng tâm của lỗ trục chính để lắp mâm cặp với hai ổ trục dùng lắp ổ bi, đại diện cho tâm quay của trục chính.

Hình 2-52 b): sơ đồ tương tự, nhưng yếu tố đo là lỗ côn để lắp đầu kẹp đàn hồi.

Hình 2-52 c): đo độ đảo giữa mặt B với ổ trục A, C.

Hình 2-52 d): đo độ đảo giữa mặt ngoài B và mặt lỗ A. Chi tiết được định vị 5 bậc tự do trên trục côn có độ côn nhỏ và mang chi tiết cùng quay, thực hiện chuyển động đo.

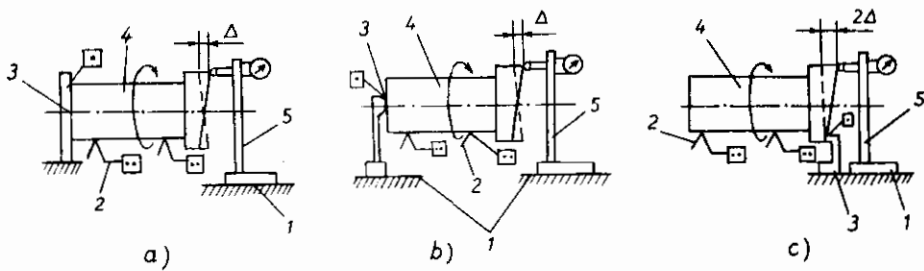
Khi đo độ đảo hướng tâm, kết quả đo luôn luôn bao gồm cả độ tròn của tiết diện đo và độ cong trục của chi tiết. Vì thế cần đặt khâu đo độ đảo hướng tâm sau khi đã kiểm tra độ tròn và độ cong trục của chi tiết và để giảm thiểu ảnh hưởng của độ cong trục cần đặt điểm đo gần chuẩn nhất.

2.6.2.5. Đo độ đảo hướng trục

Độ đảo hướng trục là chỉ tiêu thường ghi cho mặt đầu chi tiết, vì thế còn gọi là độ đảo mặt đầu.

Độ đảo hướng trục được định nghĩa là hiệu giữa khoảng cách lớn nhất và nhỏ nhất kể từ tiết diện thực của mặt đo đến mặt phẳng vuông góc với trục chuẩn.

Hình 2-53 là sơ đồ đo độ đảo hướng trục. Trong đó chi tiết được định vị 5 bậc tự do. Trục chuẩn là trục của mặt trụ ngoại tiếp, định vị 4 bậc tự do trên hai khối V ngắn. Tùy theo phương pháp chọn điểm định vị thứ năm mà kết quả đo được có khác nhau.



Hình 2-53.

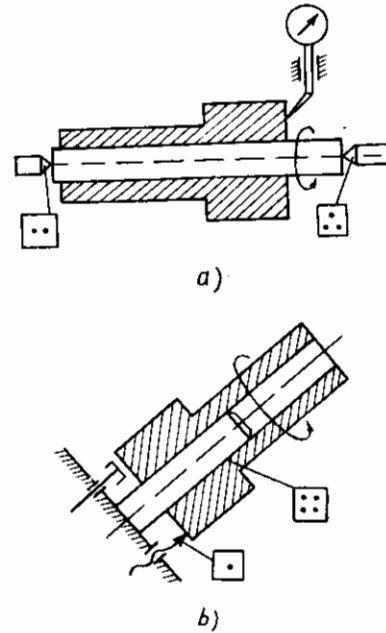
Trong hình 2-53, trường hợp a), dùng một mặt phẳng vuông góc với trục để chống di chuyển dọc trục, sai lệch chỉ thị sau một vòng quay cho ta kết quả đo độ đảo. Ở sơ đồ đo này, chất lượng bề mặt 3 tiếp xúc với yếu tố định vị không ảnh hưởng đến kết quả đo.

Trường hợp hình 2-53 b), chống di chuyển dọc trục bằng một tỷ điểm đặt tại tâm chi tiết. Kết quả đo được trị số độ đảo. Điểm đặt tỷ điểm này không phải khi nào cũng đạt được.

Trường hợp hình 2-53 c), chống di chuyển dọc trục bằng một tỷ điểm đặt trên cùng bán kính kiểm tra với dấu đo trên mặt đầu cần đo. Kết quả đo cho hai lần độ đảo. Có thể thấy phương án c đạt độ chính xác đo cao nhất.

Khái niệm độ đảo mặt đầu chỉ có thể tồn tại khi chi tiết quay quanh trục của nó. Chỉ tiêu này cần kiểm tra khi mặt đầu chi tiết là một mặt làm việc và trong quá trình làm việc chi tiết quay quanh trục của nó. Sở dĩ có độ đảo mặt đầu vì mặt đầu không vuông góc với trục quay của chi tiết. Trị số độ đảo phản ánh hai lần trị số độ vuông góc của mặt đầu với trục quay.

Hình 2-54 là sơ đồ đo độ đảo của mặt đầu so với đường tâm lỗ. Ở sơ đồ a chỉ tiết được định vị trên trục côn. Chỉ thích hợp với chi tiết nhỏ, miền phân tán của lỗ bé, năng suất đo thấp. Sơ đồ b là sơ đồ đo độ đảo mặt đầu so với tâm lỗ bằng các chuyển đổi đo không tiếp xúc, thích hợp với loại sản phẩm có lỗ chính xác, độ phân tán không hạn chế, độ chính xác và năng suất đo cao, gá đặt đơn giản.

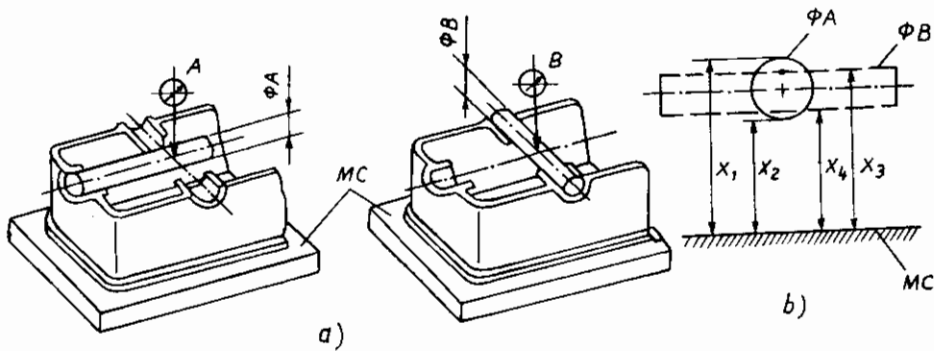


Hình 2-54.

2.6.2.6. Đo độ xuyên tâm

Độ xuyên tâm giữa hai trục, giữa trục và mặt phẳng là khoảng cách nhỏ nhất giữa chúng khi chúng giao nhau.

Hình 2-55 mô tả phương pháp đo độ xuyên tâm của đường tâm hai lỗ A và B trên vỏ hộp. Biến tâm hai lỗ thành tâm trục nhờ lồng vào lỗ trục chuẩn bằng kích thước lỗ trên vỏ hộp như hình 2-55 a. Tại vị trí giao nhau của hai lỗ, tiến hành đo các trị số theo sơ đồ hình 2-55b.



Hình 2-55.

Độ xuyên tâm được tính bằng:

$$\Delta_{xt} = \left| \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{x_3 + x_4}{2} \right|$$

Khi không đồng thời đo được cả x_1, x_2, x_3, x_4 ta có thể đo một trong hai số trong cặp:

$$\Delta_{xt} = \left| \left(x_1 - \frac{\Phi_A}{2} \right) - \left(x_3 - \frac{\Phi_B}{2} \right) \right|$$

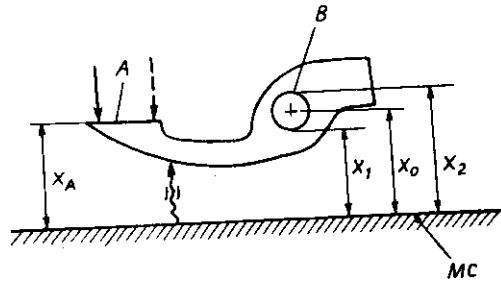
hoặc:

$$\Delta_{xt} = \left| \left(x_2 - \frac{\Phi_A}{2} \right) - \left(x_4 - \frac{\Phi_B}{2} \right) \right|$$

Hình 2-56 là sơ đồ đo độ xuyên tâm của mặt culit với tâm đòn bẩy trong cơ cấu truyền. Đòn bẩy được định vị trên trục quay Φ_B . Dùng vít chỉnh cho mặt A song song với MC. Đo được trị số x_A, x_1, x_2 :

$$x_{0B} = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$\Delta_{xt} = |x_A - x_{0B}|$$



Hình 2-56.

2.6.2.7. Đo độ đối xứng

Độ đối xứng là sai lệch giữa các mặt cần xác định với mặt phẳng hay đường thẳng đối xứng của yếu tố chuẩn.

Thông thường các mặt phẳng hay đường thẳng dùng làm tâm đối xứng là mặt ảo hay đường ảo, chẳng hạn mặt phẳng qua trục, đường trục ...

Trong thực tế, khi gặp yếu tố chuẩn là mặt ảo cần phải chuyển ra mặt thực.

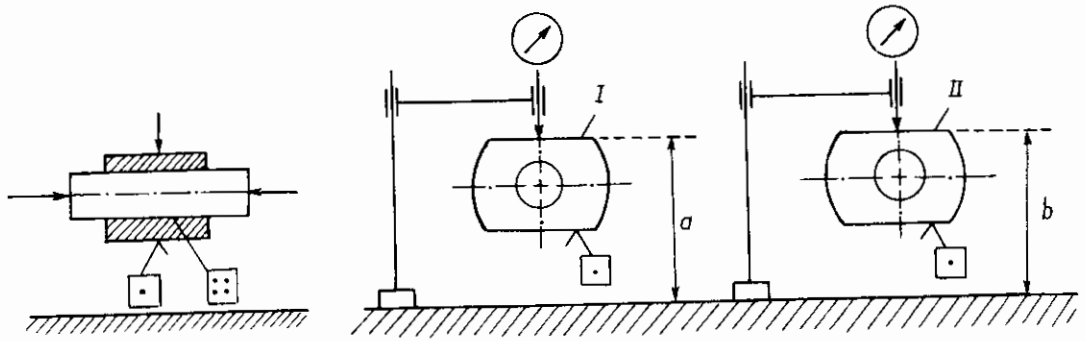
Hình 2-57 là sơ đồ đo độ đối xứng của hai mặt bên với tâm lỗ. Chi tiết được gá trên trục chuẩn có độ côn nhỏ và được định vị như hình vẽ. Đo ở vị trí I được kích thước a, đảo 180° đo ở vị trí II được kích thước b. Độ đối xứng là sai lệch giữa a và b:

$$\Delta_{dx} = |a - b|$$

Trong thực tế không cần quan tâm đến kích thước thực của a và b mà chỉ cần lấy sai lệch chỉ thị x_I và x_{II} sau hai lần đo:

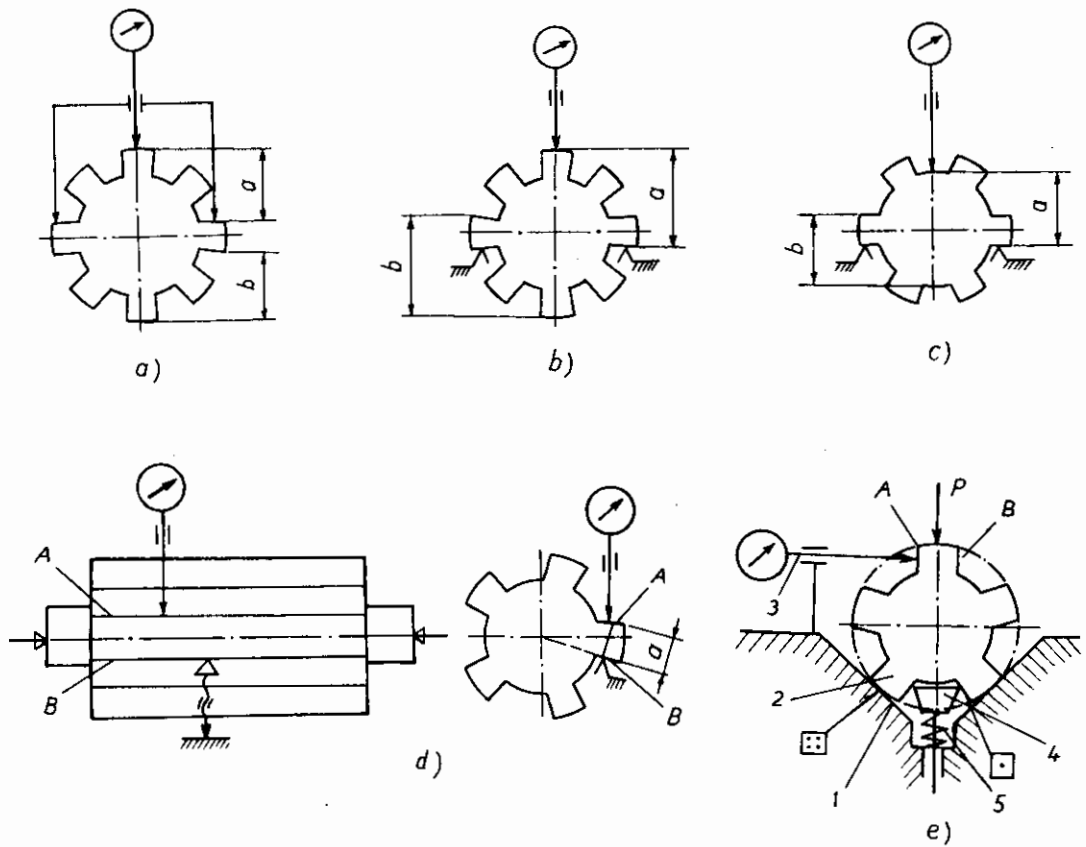
$$\Delta_{xt} = |x_I - x_{II}|$$

Hình 2-58 mô tả sơ đồ đo độ đối xứng của mặt bên răng then hoa với tâm.



Hình 2-57.

Các sơ đồ 2-58 a, b dùng khi then hoa định vị theo vòng đỉnh, sơ đồ 2-58 c dùng khi then hoa định vị theo vòng chân. Độ đối xứng đánh giá bằng sai lệch của a, b hay sai lệch chỉ thị x_I và x_{II} ứng với hai lần đo.



Hình 2-58.

Trường hợp hình 2-58 e dùng cho các trường hợp then dẫn định vị trên vòng định với số răng bất kỳ. Góc V là α được tính bằng:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{360^\circ}{z}$$

Sai lệch chỉ thị sau hai vị trí đo tại A và B đảo nhau 180° được trị số đối xứng. Trong đó lực kẹp P nhằm cho chi tiết tự lựa theo bậc định vị thứ năm.

Trường hợp hình 2-58 d) dùng cho trường hợp then hoa có số răng bất kỳ và không phụ thuộc vòng định vị của then hoa.

2.7. PHƯƠNG PHÁP ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA CHI TIẾT REN

Ren là một chi tiết lắp ghép quan trọng, nó còn được dùng để thực hiện các truyền động chính xác, thực hiện các chuyển vị điều chỉnh nhỏ.

Để đạt được tính đối lẫn trong lắp ghép, việc kiểm tra các thông số lắp ghép ren là rất cần thiết. Kích thước lắp ghép của mỗi ghép ren là đường kính trung bình biểu kiến. Kích thước này có quan hệ với các thông số cơ bản của chi tiết ren. Với ren mét là ren phổ thông thì:

$$D_2 = d_2 + 1,732f_p + 0,3p \frac{f_\alpha}{2}$$

trong đó

f_p - lượng bù hướng kính do sai số bước;

f_α - lượng bù hướng kính do sai số góc nửa profin;

p - bước ren.

Để kiểm tra chi tiết ren, thông thường người ta dùng phương pháp kiểm tra tổng hợp bằng ca líp. Với các chi tiết ren chính xác, khi nghiên cứu độ chính xác gia công, lập bản vẽ theo mẫu... nhất thiết phải đo các thông số cơ bản của ren đó là đường kính trung bình d_2 , bước ren P và góc nửa ren $\alpha/2$.

2.7.1. Đo đường kính trung bình của ren

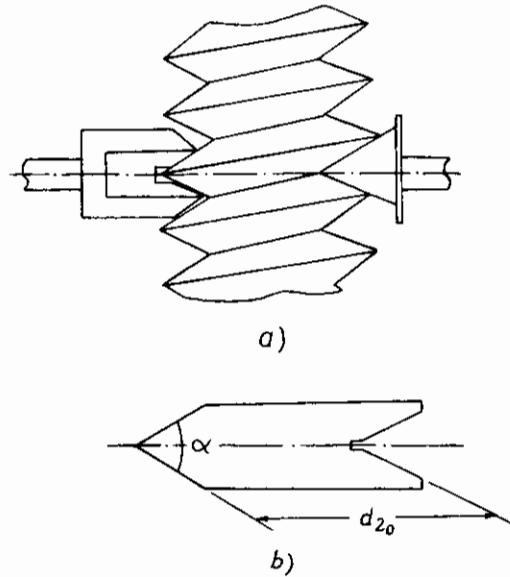
1. Đo bằng đầu đo phụ

Tuỳ theo phạm vi kích thước, đặc biệt là bước ren, góc ren, người ta chế tạo ra các cặp đầu đo phụ, một đầu côn và một đầu mang rãnh V, sao chép lại hình ảnh

rãnh ren và răng ren. Khi đo, đầu đo dạng răng ren sẽ khớp với rãnh ren, còn đầu đo dạng rãnh ren chụp vào răng ren đo. Khi đo người ta chọn cặp đầu đo phụ theo dạng ren có góc α và bước phù hợp.

Hình 2-59 a mô tả phương pháp đo đường kính trung bình ren bằng đầu đo phụ. Cặp đầu đo phụ được lắp vào các đầu đo dạng hai tiếp điểm như panme, máy đo chiều dài, ôtimet... Thông thường, dụng cụ đo được chỉnh "0" với cỡ đi kèm trong hộp đầu đo như hình 5-29b.

Phương pháp đo này chỉ dùng với các ren có profin đối xứng. Độ chính xác khi đo phụ thuộc vào độ đối xứng của profin răng cũng như độ đối xứng giữa các má đo phụ. Khi đo so sánh với cỡ, độ chính xác đo sẽ cao hơn.



Hình 2-59.

2. Đo bằng dây đo

Việc đo ren bằng dây đo nhằm biến việc đo kích thước d_2 của mặt ren thành việc đo kích thước thẳng thông thường. Trên các dụng cụ và máy đo chiều dài có thể lắp các gá đo dây để đo đường kính trung bình ren. Các dây đo có đường kính chính xác, ghi rõ trên giá dây để biết khi chọn dây và khi tính kích thước.

Có thể đo d_2 theo các kiểu như hình 2-60 mô tả. Phổ biến nhất là phương pháp ba dây. Khi đó ta có quan hệ:

$$d_2 = M - d \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{1}{2} p \cot g \frac{\alpha}{2}$$

Với ren met, $\alpha = 60^\circ$, ta có:

$$d_2 = M - 3d + 0,866p$$

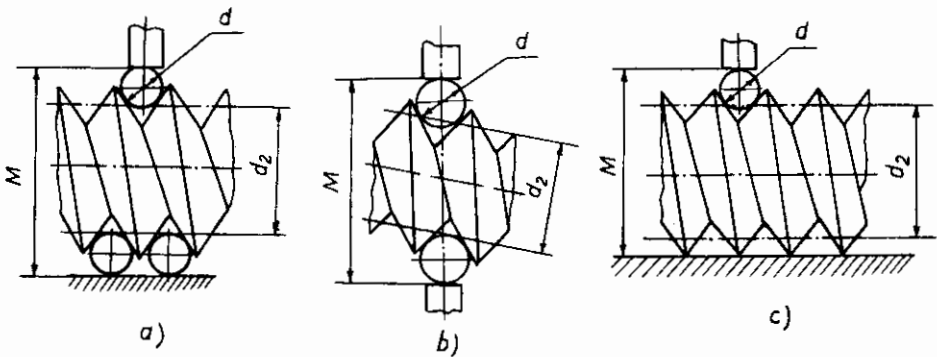
Với ren không đối xứng:

$$d_2 = M - d \left(1 + \frac{\cos \frac{\beta - \gamma}{2}}{\sin \frac{\beta + \gamma}{2}} \right) + p \frac{\cos \beta \cos \gamma}{\sin(\beta + \gamma)}$$

Trong các công thức trên, p là trị số bước ren, β và γ là góc nửa profin trái và phải.

Để tăng độ chính xác khi đo, tiếp điểm của dây đo nên nằm quanh đường trung bình, do đó đường kính dây đo chọn bằng:

$$d = \frac{p}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$



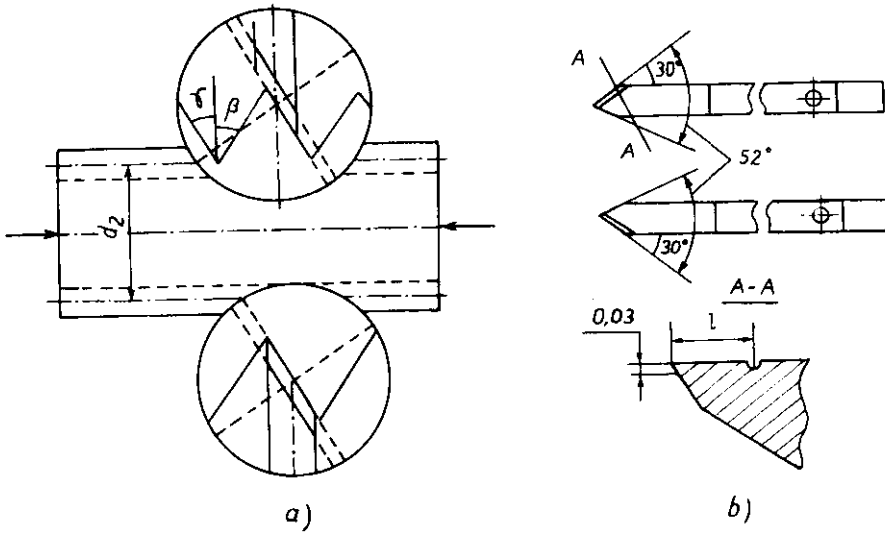
Hình 2-60.

3. Đo theo phương pháp chiếu hình

Đo ren theo phương pháp chiếu hình được thực hiện trên các máy đo kiểu hiển vi và chiếu hình như trên các loại kính hiển vi dụng cụ, hiển vi vạn năng, máy chiếu hình. Việc đo d_2 được tiến hành cùng một lần với đo góc ren và đo bước ren.

Hình 2-61 mô tả sơ đồ đo ren trên kính hiển vi chiếu hình. Chi tiết được gá trên bàn làm việc của máy. Ảnh chi tiết được khuếch đại trên tiêu diện của thị kính là tiết diện qua trục của chi tiết.

Mặt ren là một mặt không gian có góc nâng của đường ren vít ω . Để ảnh của chi tiết đúng là ảnh của tiết diện qua trục, đầu hiển vi phải nghiêng đi góc ω để ngắm đúng vào tiết diện chính. Các yếu tố cơ bản của ren phải được đo trên tiết diện qua trục của ren.



Hình 2-61.

Khi đo d_2 , người ta thực hiện ngắm chuẩn cho tâm vạch chuẩn trùng mép ảnh lần lượt trên hai sườn răng đối diện. Vạch chuẩn dịch chuyển theo phương vuông góc với trục ren. Trị số tọa độ ngắm chuẩn được đọc trên thước tọa độ ngang của máy. Hiệu hai trị số cho ta đường kính d_2 của ren.

Do nhiều lý do, ảnh của các sườn ren không rõ nét chẳng hạn do góc nghiêng, do độ nhẵn của sườn răng, do ánh sáng bị nhiễu... hoặc do sườn răng quá ngắn, việc ngắm chuẩn kém chính xác. Để nâng cao độ chính xác ngắm chuẩn, người ta dùng các gá dao đo. Dao đo có cấu tạo như hình 2-61 b. Điều chỉnh cho dao đo tiếp xúc với sườn răng. Việc ngắm chuẩn được thực hiện với vạch chuẩn khác trên dao song song với lưỡi dao và cách một khoảng l . Sai số đo khi ngắm chuẩn bằng dao đo δd_2 bằng:

$$\delta d_2 = \frac{2\delta l}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Với δl là sai số khác vạch của khoảng l .

Sai số đo d_2 còn phụ thuộc vào bước và góc ren như hình 2-30 mô tả:

$$\delta d_2 = (\delta p_{tr} - \delta p_t) \cot g \frac{\alpha}{2} \pm \frac{0,582}{\sin \alpha} (\delta \gamma - \delta \beta) \Delta r$$

trong đó:

δp_{tr} và δp_l - sai số bước tích lũy đo theo sườn trái và sườn phải;

$\delta\gamma$ và $\delta\beta$ - sai số góc nửa profin trái và phải.

Δr - khoảng cách từ điểm ngắm chắn tới đường trung bình lý thuyết.

Để tránh ảnh hưởng của sai số góc ta muốn điểm ngắm chuẩn nằm trên đường trung bình. Muốn điều chỉnh cho $\Delta r \rightarrow 0$ rất khó khăn. Ta có thể bằng thủ thuật đo như hình 2-62: đo d'_2 điểm ngắm A trên đường d_2 và d''_2 điểm D ngắm dưới đường d_2 trong kết quả trung bình của hai lần đo:

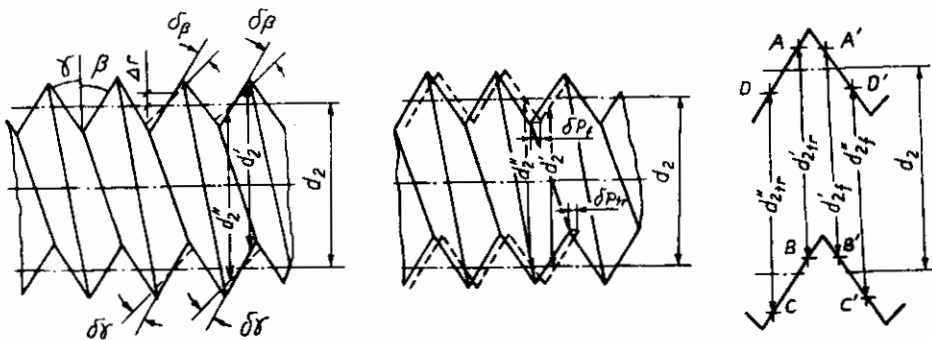
$$d_2 = \frac{d'_2 + d''_2}{2}$$

sẽ không có ảnh hưởng của sai số góc.

Để tránh ảnh hưởng của sai số đo phương đo không vuông góc với trục ren, người ta đo hai kích thước xuất phát từ hai sườn răng khác tên d_{2l} và d_{2tr} . Trong kết quả đo:

$$d_2 = \frac{d_{2l} + d_{2tr}}{2}$$

sai số đo đo phương đo sẽ được loại bỏ.



Hình 2-62.

2.7.2. Đo góc nửa profin ren

Profin thực của ren và vị trí tương đối của nó với đường tâm xác định bởi sai số góc nửa profin. Sai số góc nửa profin chủ yếu do góc dao cắt, gá dao không vuông góc với đường tâm chi tiết, dao bị mòn không đều gây ra. Bởi vậy sai số góc nửa

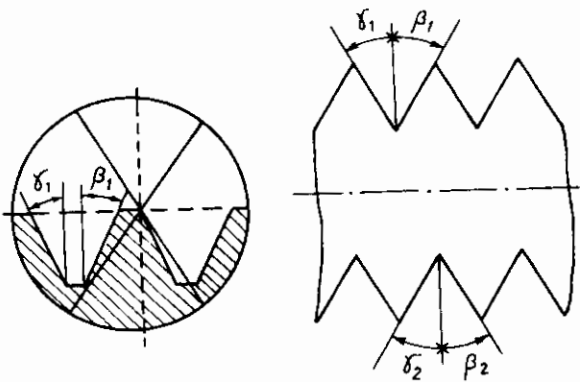
profin đặc trưng cho hình dáng và vị trí tương đối của profin răng với trục tâm. Nếu $\beta = \gamma = \alpha/2$ thì profin răng cân, phân giác góc đỉnh ren vuông góc với trục tâm. Sai số góc nửa profin được tính bằng:

$$\delta_{\alpha/2} = \frac{1}{2} (|\delta\beta| + |\delta\gamma|)$$

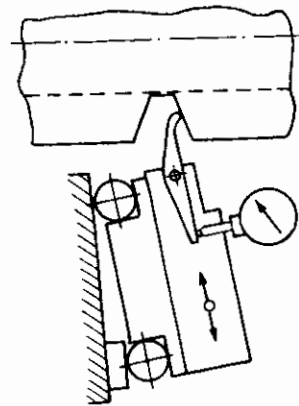
Tuỳ theo kích thước và mức độ chính xác của chi tiết ren mà ta có các phương pháp đo góc khác nhau. Thông thường góc ren được đo theo phương pháp chiếu hình trên kính hiển vi dụng cụ trong cùng một lần với đo d_2 . Khi chi tiết ren lớn có thể dùng thước góc cơ khí, thước góc quang học hoặc gá đo dùng thước sin để đo. Hình 2-63 là sơ đồ đo góc nửa profin ren. Phương chuẩn là phương vuông góc với đường tâm ren. Việc đo góc được thực hiện nhờ thị kính đo góc như hình 2-11 mô tả. Để nâng cao độ chính xác ngắm chuẩn người ta cũng dùng gá cố dao để đo. Để khử ảnh hưởng sai số do góc nghiêng của mặt phẳng qua trục với phương nằm ngang cần đo bốn nửa góc như hình 2-63:

$$\beta = \frac{1}{2} (\beta_1 + \beta_2) ; \quad \gamma = \frac{1}{2} (\gamma_1 + \gamma_2)$$

Hình 2-64 là sơ đồ đo góc nửa profin ren khi ren có kích thước lớn, ren truyền động có độ chính xác cao hoặc các ren không đối xứng.



Hình 2-63.



Hình 2-64.

2.7.3. Đo bước ren

Sai lệch bước ren đánh giá chỉ tiêu động học của chi tiết. Bước ren là một trong ba chỉ tiêu cơ bản tham gia vào kích thước lắp ghép. Vì vậy, việc đo bước ren cũng như sai lệch đường vít là rất quan trọng, đặc biệt là đối với calip ren, dụng cụ cắt ren, ren đo, ren điều chỉnh tế vi, ren vitme ...

Đo bước ren thường được thực hiện theo phương pháp đo gián đoạn từng bước lẻ hoặc bước tích lũy để xác định sai lệch bước. Việc đo bước gián đoạn có thể thực hiện nhờ các dụng cụ đo bước chuyên dùng hoặc đo theo phương pháp chiếu hình: cùng một lần khi đo d_2 và $\alpha/2$ trên kính hiển vi dụng cụ, máy chiếu hình...

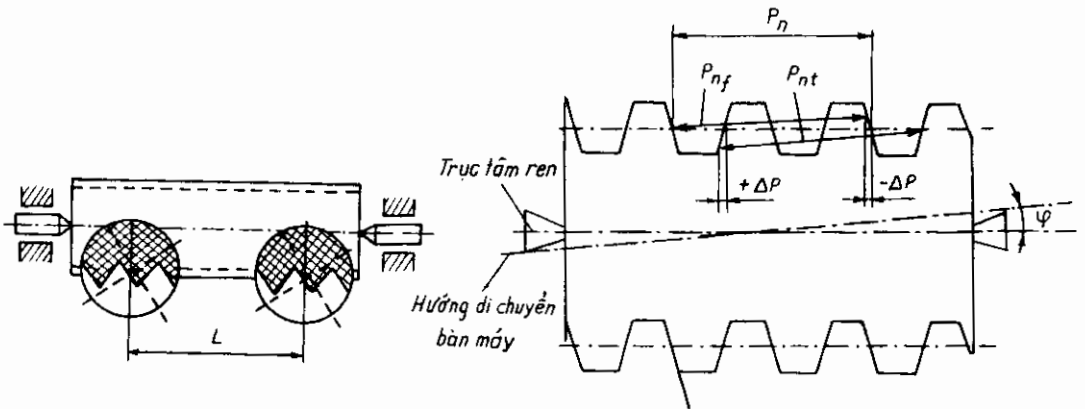
Khi cần kiểm tra các ren đo, ren điều chỉnh và ren vít me quan trọng, người ta thực hiện đo liên tục, gọi là đo sai lệch đường vít. Sai lệch đường vít thường được đo sau một vòng quay hoặc trên toàn hành trình làm việc.

1. Đo theo phương pháp chiếu hình

Ảnh chi tiết được tạo lên màn ảnh là tiết diện qua trục ren. Chi tiết được định vị sao cho phương trục ren song song với phương dịch chuyển của bàn đo. Khi đo bước người ta lần lượt ngắm chuẩn trên hai sườn răng cùng tên. Tâm vạch chuẩn đứng yên, bàn đo mang chi tiết thực hiện chuyển vị theo phương dọc trục chi tiết. Trị số toạ độ các điểm ngắm trên sườn răng có thể đọc được trên thước dọc dịch chuyển dọc của máy đo. Để nâng cao độ chính xác ngắm chuẩn, người ta cũng dùng dao đo như hình 2-65. Trong đó khoảng đo L có thể là một hoặc n bước ren. Khi đo bước, để giảm sai số do ngắm chuẩn và sai số tích lũy người ta thường đo liên n bước, chiều dài của bước sẽ tính bằng:

$$\bar{P} = \frac{L}{n}$$

Do chi tiết ren gá trên mũi tâm có thể là không song song với phương dịch chuyển của bàn máy, khi đó bước sẽ không phải là đo theo phương trục mà đo theo phương dịch chuyển của bàn đo và sẽ gây sai số đo.



Hình 2-65.

Hình 2-66.

Hình 2-66 là sơ đồ đo nhằm khử ảnh hưởng của sai số này. Thực hiện đo bước tích lũy P_n trên sườn trái được P_{nt} và trên sườn phải được P_{nf} . Trong kết quả trung bình:

$$p = \frac{P_{ut} + P_{ut}}{2n}$$

sẽ không tồn tại sai số do góc nghiêng φ gây ra.

2. Đo sai lệch đường vít

Có thể tiến hành đo sai lệch đường vít sau mỗi vòng quay bằng đầu đo góc lắp trên kính hiển vi dụng cụ vạn năng như hình 2-67. Đầu đo góc có thể cho ta chuyển vị tối thiểu là $30''$, thông thường là từng độ một. Nếu đầu đo góc quay $360''$, sườn răng ngám chuẩn sẽ chuyển đi một bước ren. Có thể tính chiều dài chuyển vị lý thuyết:

$$L = \frac{P \cdot \varphi}{360''}$$

với φ là góc quay của đầu đo góc.

Sai lệch chuyển vị đo thực theo phương pháp chiếu hình với chuyển vị tính là sai lệch đường vít trên góc quay cho trước φ :

$$\Delta L_{\varphi} = L_1 - L$$

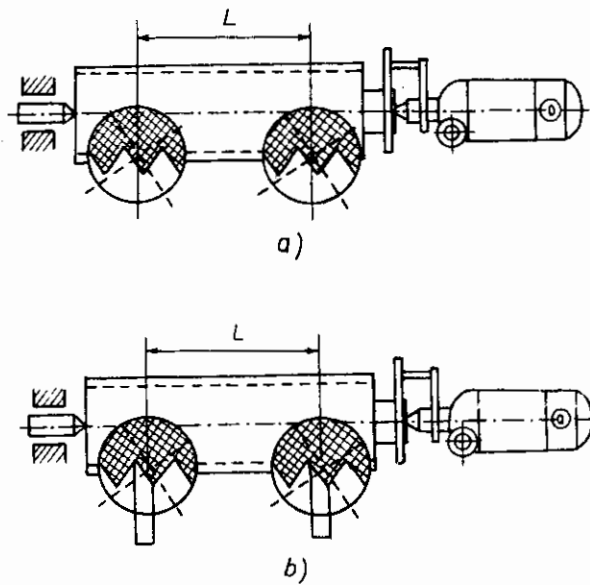
với:

L_1 - chuyển vị đo thực sau góc quay φ ;

L - chuyển vị tính tương ứng với φ .

Khi phải kiểm tra sai lệch đường vít trên một

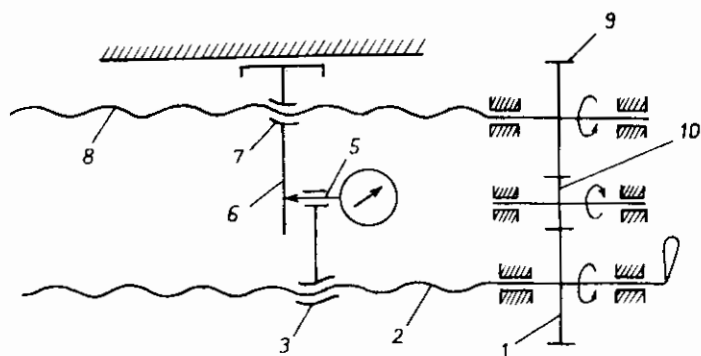
hành trình lớn, người ta dùng thiết bị đo so sánh có sơ đồ như hình 2-68. Trong đó 2 là trục vít mẫu được lắp với bánh răng 1. Khi quay trục vít 2 đai ốc 3 chuyển vị mang theo đồng hồ 5 tạo ra chuyển động mẫu, truyền động qua bánh răng 1-10 sang bánh răng 9 làm quay trục vít kiểm tra 8. Trục vít 7 quay cùng tốc độ với trục 2. Khi trục 8 quay, đai ốc 7 chuyển vị, đai ốc gắn với thanh 6 tạo ra chuyển động đo.



Hình 2-67.

Thiết bị thực hiện so sánh chuyển động mẫu và chuyển động đo thể hiện qua sự không đồng bộ của 5 và 6. Sai lệch chuyển động được chỉ ra trên đồng hồ 5.

Thông thường người ta sử dụng cùng một trục vít mẫu để đo so sánh. Để 1 và 9 quay đồng bộ hoặc theo tỷ số truyền định trước tùy thuộc độ lớn của bước ren đo so với bước ren mẫu, người ta dùng một cụm bánh răng thay thế đặt ở giữa 1 và 9.



Hình 2-68.

2.8. PHƯƠNG PHÁP ĐO CÁC THÔNG SỐ BÁNH RĂNG

Bánh răng là loại chi tiết được dùng rất phổ biến trong kỹ thuật công nghiệp và đời sống. Nó được dùng làm bộ truyền động và là thành phần cơ bản trong các bộ truyền động, đặc biệt là đối với các máy cắt, ô tô máy kéo, máy móc đo lường, các cơ cấu chia độ, cơ cấu điều chỉnh...

Chất lượng bánh răng quyết định độ chính xác truyền động máy, làm ảnh hưởng đến độ chính xác của sản phẩm cũng như các kết quả đo được trên nó.

Căn cứ vào công dụng và nhiệm vụ chủ yếu của bánh răng, người ta qui định các chỉ tiêu chất lượng cho bánh răng như sau:

- Mức chính xác động học.
- Mức làm việc êm.
- Mức tiếp xúc.
- Mức độ hở mặt bèn.

Các chỉ tiêu chất lượng trên là các chỉ tiêu chất lượng tổng hợp.

Trong sản xuất và nghiên cứu các thông số hình học của bánh răng có ảnh hưởng tới các chỉ tiêu tổng hợp khác nhau. Vì thế ngoài phương pháp đo các chỉ

tiêu tổng hợp người ta còn có các phương pháp đo các chỉ tiêu riêng lẻ mà nó có ảnh hưởng tới chất lượng làm việc của bánh răng tương đương với các chỉ tiêu tổng hợp. Các thông số đo riêng lẻ đó được quy định trong bộ thông số tương đương ghi trong bảng dưới đây.

Bảng 2-4

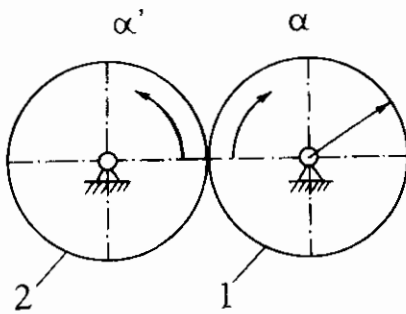
Bộ thông số kiểm tra mức chính xác bánh răng (TCVN 1067-84)

TT	Thông số kiểm tra	Ký hiệu dung sai	Cấp chính xác	
	Mức chính xác động học		$m_n < 1$	$m \geq 1$
1	F'_{ir}	F'_i	4-8	3-8
2	F_{pr} F_{pkr}	F_p F_{pk}	4-6	3-6
3	F_{pr}^*	F_p	7-8	7-8
4	F_{rr} F_{vwr}	F_r F_{vw}	4-8	3-8
5	F_{rr} F_{er}	F_r F_e	4-8	3-8
6	F''_{ir} F_{er}	F''_i F_e	5-8	5-8
7	F''_{ir} F_{vwr}	F''_i F_{vw}	5-8	5-8
8	F''_{ir}	F''_i	9-12	9-12
9	F_{rr}	F_r		7-8**
* Đối với bánh răng quạt $m_n < 1 \text{ mm}$ thông số F_{pkr}				
** Với đường kính bánh răng 1600 mm				
Thông số kiểm tra mức làm việc êm				
1	f''_{ir}	f'_i	4-8	3-8
2	$[f_{sk} \quad f_{ir}]$	f_{zh} f'_i	không xét	3-8
3	$(f_{pbr} \quad f_{tr})$	$\pm f_{pb}$ f_f	4-8	3-8
4	f_{pbr} f_{ptr}	$\pm f_{pb}$ $\pm f_{pl}$	4-8	3-8
5	f'_{ir}	f'_i	5-12	5-12
6	f_{ptr}	$\pm f_{pl}$	không xét	9-12
Thông số kiểm tra mức tiếp xúc				
1	Vết tiếp xúc		4-12	3-9
2	$[F_{pxnr} \quad F_{kr}]$	$\pm F_{pxnr}$ F_k		3-12
3	$[F_{pxnr} \quad f_{pnr}]$	$\pm F_{pxnr}$ $+f_{pb}$	không nêu	3-12
4	F_r		4-12	3-12
5	F_{kr}	F_k	không nêu	3-12

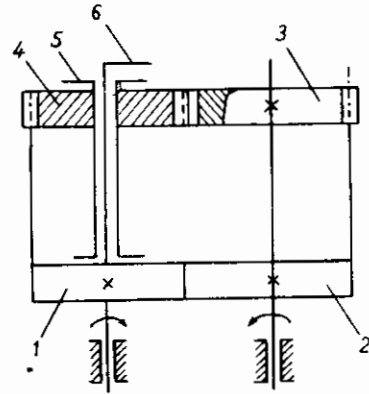
2.8.1. Phương pháp kiểm tra tổng hợp loại ăn khớp một bên

Phương pháp kiểm tra tổng hợp là phương pháp kiểm tra sai số động học của bánh răng trong điều kiện làm việc thực của nó. Trong phương pháp này bánh răng thực hiện ăn khớp một bên, giống điều kiện làm việc thực của bánh răng.

Sai số động học được qui định là sai số góc lớn nhất sau một vòng quay của bánh răng, khi nó ăn khớp một bên với bánh răng mẫu và được tính ra độ dài cung.



Hình 2-69.



Hình 2-70.

Hình 2-69 là sơ đồ nguyên tắc đo sai số động học: bánh răng mẫu 1 và bánh răng kiểm tra 2 có cùng thông số thiết kế. Khi bánh răng 1 quay một góc α , nếu bánh răng 2 không có sai số thì nó cũng quay đi một góc $\alpha' = \alpha$. Khi bánh răng 2 có sai số thì $\alpha' \neq \alpha$.

$$\Delta\alpha = \alpha' - \alpha$$

Sai số động học được tính bằng:

$$F'_{\alpha} = R \cdot \Delta\alpha_{\Sigma}$$

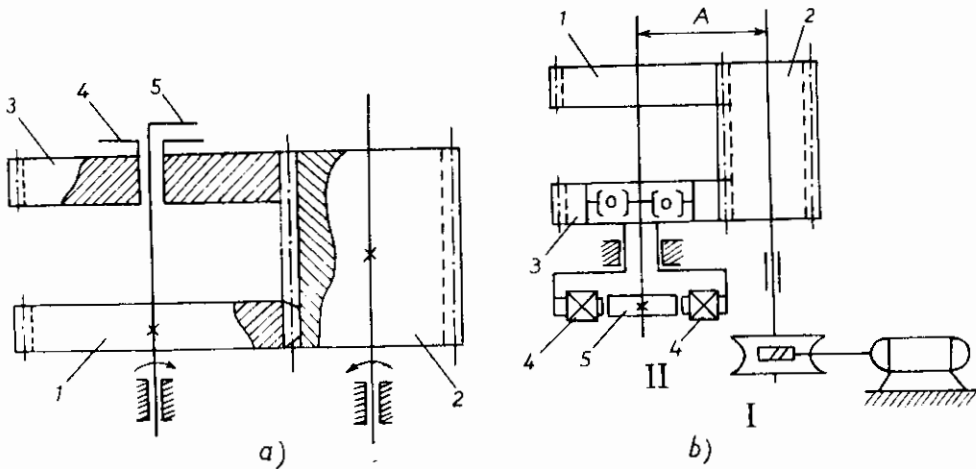
Trong đó $\Delta\alpha_{\Sigma}$ là sai lệch góc của bánh răng kiểm tra so với bánh răng mẫu khi bánh răng này quay một vòng.

Trong thực tế việc đo F'_{α} theo sơ đồ đo trên không dễ thực hiện được. Để đo được thuận lợi và chính xác người ta tiến hành khuếch đại tín hiệu đo qua các bộ truyền, tạo ra hai chuyển động: chuyển động mẫu và chuyển động đo. Trong đó chuyển động mẫu gồm các chi tiết mẫu ăn khớp với nhau; chuyển động đo là chuyển động gồm các chi tiết ăn khớp mẫu ăn khớp với bánh răng đo. Sai lệch của hai chuyển động đánh giá mức độ sai lệch truyền động của bánh răng đo khi sai số của chi tiết mẫu không đáng kể so với chi tiết đo.

Có thể thực hiện các chuyển động mẫu bằng các phương pháp khác nhau. Hình 2-70 là sơ đồ nguyên tắc của máy kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp một bên, mà chuyển động mẫu được thực hiện bằng cặp truyền động ma sát. Trong đó cặp đĩa ma sát được thiết kế theo đường kính vòng ăn khớp của bánh răng mẫu 4 và bánh răng kiểm tra 3.

Khi bánh răng 3 không có sai số, trục 1 mang kim chỉ 6 và bảng chia 5 chuyển động đồng bộ. Sai lệch của hai chuyển động chỉ ra trên bảng chia 5 mô tả sai số truyền động của bánh răng 3.

Máy đo dùng truyền động ma sát làm chuyển động mẫu đơn giản, xích truyền động ngắn, rẻ tiền nhưng có nhược điểm lớn là có tồn tại sai số do trượt, ngoài ra phải có lực ép giữa hai trục, lực này gây ra sai số tỷ số truyền khi trục bị cong.



Hình 2-71.

Hình 2-71 a là sơ đồ nguyên tắc của máy đo sai số tổng hợp kiểu ăn khớp một bên mà chuyển động mẫu được thực hiện nhờ truyền động ăn khớp bánh răng mẫu 3 với bánh răng trung gian 2; còn chuyển động đo là truyền động ăn khớp giữa bánh răng kiểm tra 1 và bánh răng trung gian 2. Bánh răng mẫu cùng thông số thiết kế với bánh răng kiểm tra. Sai lệch giữa hai chuyển động được chỉ ra trên bảng chia 4.

Hình 2-71 b là sơ đồ máy đo dùng bánh răng trung gian. Tín hiệu đo được đưa vào bộ chuyển đổi điện cảm, đưa vào máy ghi và bộ chỉ thị. Kiểu máy dùng bánh răng trung gian có ưu điểm là kích thước nhỏ gọn, đảm bảo truyền động không có trượt, không có lực ép giữa hai trục làm cong trục, không đòi hỏi điều kiện làm việc cao (chống rung, bụi...) như dùng bộ truyền ma sát. Tuy nhiên do khoảng cách trục không điều chỉnh được nên không điều chỉnh được tỷ số truyền; máy vẫn cần nhiều chi tiết mẫu. Máy chỉ thích hợp khi dùng kiểm tra loại sản phẩm hàng khối, hàng loạt. Máy kiểu này thường dùng đo bánh răng có môđun $m = 1 \div 10 \text{ mm}$, khoảng cách trục $A = 100 \div 400$.

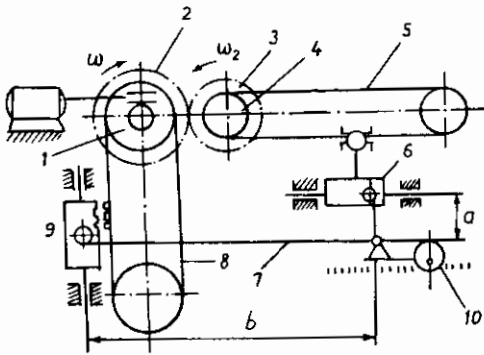
Hình 2-72 là sơ đồ nguyên tắc của máy đo sai số tổng hợp dùng đòn trung gian. Loại máy này khắc phục được nhược điểm của các loại máy trên là số chi tiết mẫu ít

hơn, có thể thay đổi tỷ số truyền nhờ thay đổi đòn trung gian. Máy thích hợp với bánh răng sản xuất loạt nhỏ.

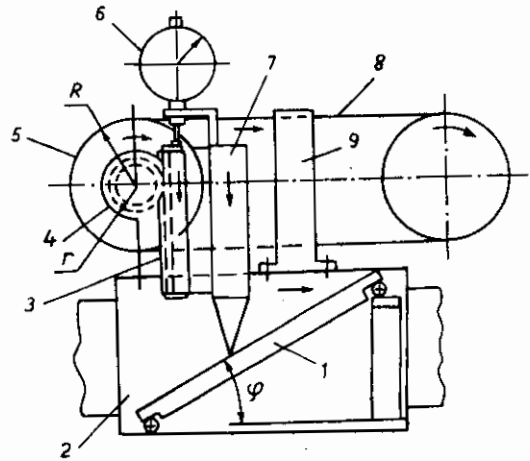
Trong sơ đồ, bánh răng mẫu 2 ăn khớp với bánh răng kiểm tra 3. Chuyển động quay của các bánh răng được biến thành chuyển vị dài của các khâu 6 và 9 nhờ hệ truyền đai có mang khâu trượt. Để so sánh hai chuyển động người ta dùng đòn trung gian 7 để đưa chuyển vị về cùng phương. Tùy theo thông số thiết kế của bánh răng mẫu và bánh răng cần kiểm tra, người ta xác định được kích thước cần điều chỉnh b (a cố định), sao cho khi bánh răng đo không có sai số thì khâu 8 và 9 chuyển động đồng bộ.

$$b = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_3} a$$

Kích thước của b dọc được trên kính hiển vi 10.



Hình 2-72.



Hình 2-73.

Hình 2-73 là sơ đồ nguyên tắc của máy đo sai số tổng hợp dùng thước sin. Trong máy, 4 là bánh răng kiểm tra, 3 là thanh răng mẫu. Thước sin số 1 được gá với góc nghiêng φ thích hợp để phối hợp chuyển động sao cho khi bánh răng quay một vòng, cần số 9 mang bàn trượt tịnh tiến một đoạn $l = \pi \cdot D$ thì con trượt 7 mang đồng hồ 6 phải đi xuống đoạn $h = \pi \cdot d_1$. Muốn vậy:

$$\varphi = \arctg \frac{\pi d_1}{\pi D} = \arctg \frac{mz}{D}$$

trong đó:

m - môđun;

z - số răng;

D - đường kính bánh đai.

Chuyển động mẫu là chuyển vị rơi xuống của con trượt; chuyển động đi xuống của thanh răng mẫu khi nó ăn khớp với bánh răng đo là chuyển động đo. Sai lệch giữa hai chuyển động được chỉ ra trên đồng hồ 6.

Loại máy này có ưu điểm là có thể điều chỉnh tỷ số truyền nhờ điều chỉnh góc gá φ ; số chi tiết mẫu ít. Do đặc điểm của máy, nó chỉ thích hợp dùng kiểm tra bánh răng có môđun nhỏ.

Máy đo có đặc điểm là xích truyền dài, ảnh hưởng đến độ chính xác khi đo.

Với các sơ đồ nguyên tắc đã nêu, phương pháp kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp một bên cho ta kết luận về chất lượng sản phẩm sát với chất lượng khi làm việc của chi tiết vì nó được kiểm tra như điều kiện làm việc thực. Kết quả đo cho phép kết luận về các chỉ tiêu chất lượng của bánh răng như:

+ Mức chính xác động học: được đánh giá qua sai số động học F'_{α} . Đó là sai số chuyển vị góc lớn nhất xuất hiện sau một vòng quay, tính ra độ dài cung.

+ Mức làm việc êm: được đánh giá qua sai số động học cục bộ F'_{β} , đó là giá trị trung bình của sai số chuyển vị góc sau mỗi răng, tính ra độ dài cung.

+ Nếu bôi bột màu lên mặt răng, sau khi ăn khớp sẽ xuất hiện các vết tiếp xúc trên mặt răng. Đo chiều dài vết tiếp xúc có thể đánh giá được mức tiếp xúc $F_{\rho\alpha}$, $F_{\rho\beta}$.

+ Khi thực hiện quá trình đo thuận nghịch, kết quả hai lần đo cho phép xác định được khe hở mặt bên tối thiểu cũng như khe hở tại vị trí bất kỳ.

$$J_n = J_{no} - (F'_{nh} + F'_{ng})$$

trong đó:

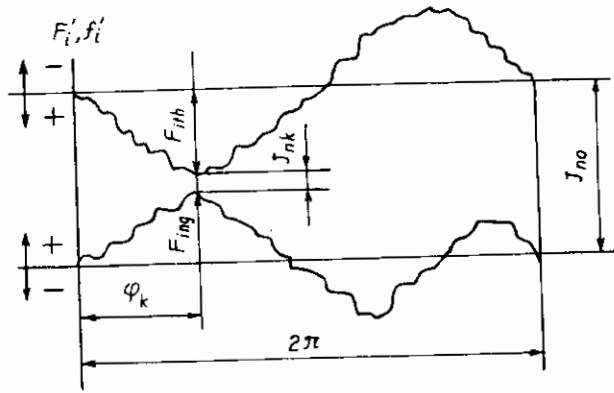
J_n - khe hở mặt bên tại vị trí khảo sát;

J_{no} - khe hở mặt bên tại thời điểm thực hiện quay ngược khi thực hiện quá trình đo nghịch;

F'_{nh} và F'_{ng} - sai số động học ở hai quá trình đo thuận và đo nghịch tại vị trí nghiên cứu.

Trị số J_{min} sẽ quyết định dạng đối tiếp của cặp bánh răng ăn khớp theo tiêu chuẩn TCVN - 1067 - 84.

Phương pháp kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp một bên cho phép ta đánh giá chính xác chất lượng làm việc thực của bánh răng một cách nhanh chóng. Tuy nhiên do phải sử dụng các chi tiết mẫu có độ chính xác cao nên nó chỉ thích hợp với việc kiểm tra trong sản xuất mặt hàng ổn định, khối lượng sản phẩm lớn và dùng khi kiểm tra thu nhận. Phương pháp kiểm tra này không chỉ rõ được nguyên nhân sai hỏng sản phẩm nên không dùng khi nghiên cứu độ chính xác gia công bánh răng.



Hình 2-74.

2.8.2. Phương pháp kiểm tra tổng hợp loại ăn khớp khít

Phương pháp kiểm tra tổng hợp loại ăn khớp khít là phương pháp kiểm tra sai số động học của bánh răng trong điều kiện ăn khớp không có khe hở mật bên, tức là loại ăn khớp cả hai mặt răng hay còn gọi là ăn khớp khít. Các chỉ tiêu mức chính xác động học được đánh giá qua độ dao động khoảng cách tâm đo sau một vòng quay, ký hiệu là F_i'' .

Hình 2-75 là sơ đồ nguyên tác của máy kiểm tra tổng hợp loại ăn khớp hai bên.

Khoảng cách trục a_w phụ thuộc vào các thông số thiết kế của cặp ăn khớp giữa hai bánh răng mẫu và 1 và bánh răng đo 2. Người ta điều chỉnh máy với khoảng cách tâm lý thuyết a_w .

- Khi không có dịch dao:

$$a_w = a_w = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$$

Với d_1, d_2 - đường kính vòng chia của bánh răng mẫu và bánh răng đo.

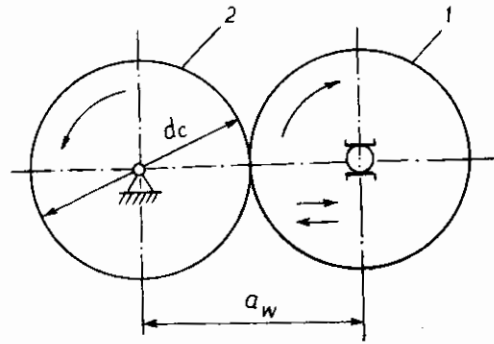
- Khi có dịch dao, khoảng cách tâm sẽ thay đổi: $a_w \neq a_w$.

Gọi $a = \frac{a_w - a_w}{m}$ là hệ số sai lệch khoảng cách trục thì:

$$a_w = a_w + a \cdot m$$

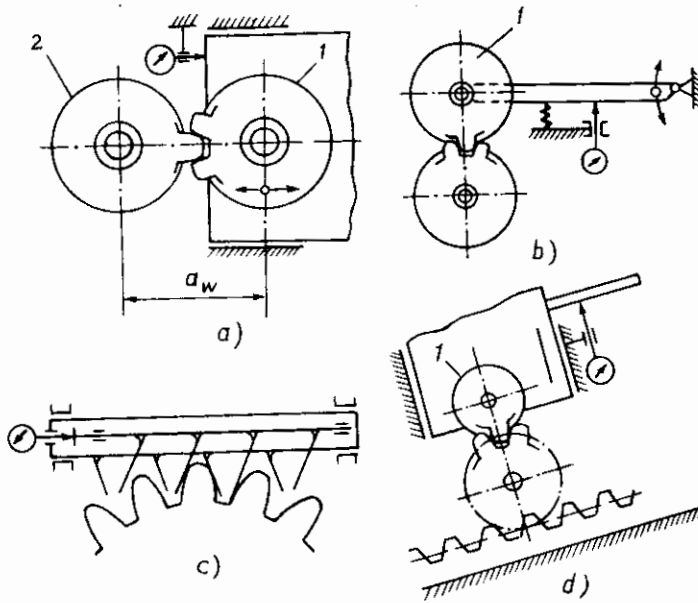
$$a_w = a_w + a \cdot m = \left[\frac{1}{2}(z_1 + z_2) + a \right] \cdot m$$

Khi dẫn động vào bánh răng 1, làm quay bánh răng 2. Do bánh răng 2 có sai số, khoảng cách từ tâm tới một dây cung có chiều dài xác định bằng chiều dày răng sẽ thay đổi. Do cặp bánh răng ăn khớp khít nên sự thay đổi này dẫn đến sự thay đổi khoảng cách tâm.



Hình 2-75.

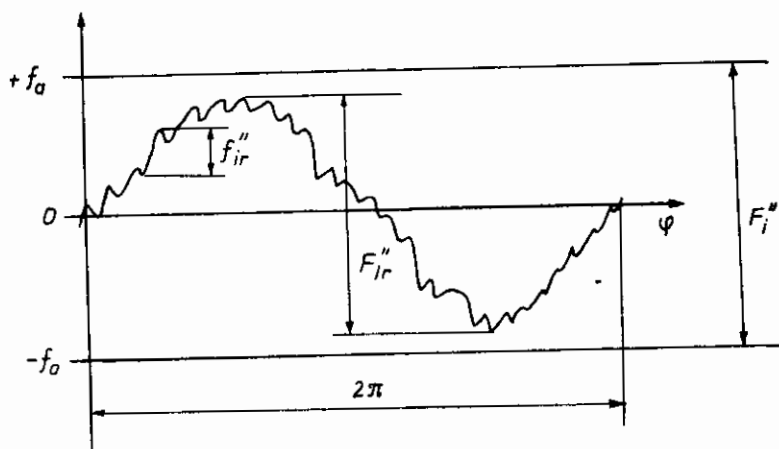
Độ dao động khoảng cách tâm do sau một vòng quay phản ánh tổng hợp mọi sai số theo phương hướng kính của bánh răng như độ đảo vành răng, sai lệch chiều dày răng, độ không đồng đều của bước răng...



Hình 2-76.

Hình 2-76 là các sơ đồ máy đo độ dao động khoảng cách tâm dựa trên nguyên tắc đo đã nêu trên hình 2-75, trong hình 2-76a, bánh răng mẫu 1 được lắp trên bàn trượt luôn luôn được ăn khớp khít với bánh răng kiểm tra 2 nhờ lực lò xo nén theo phương hướng kính. Đồng hồ 3 chỉ cho ta độ dao động khoảng cách tâm giữa hai bánh răng. Đây là sơ đồ đo phổ thông nhất. Trong hình 2-76 b bánh răng mẫu được

lắp trên cân lắc, độ dao động khoảng cách tâm đo phản ánh qua góc lắc của cân, qui ra chuyển vị đo tại điểm đặt đồng hồ. Sơ đồ 2-76 c là sơ đồ máy đo dùng khi kiểm tra tự động.



Hình 2-77.

Trong kiểm tra tổng hợp bánh răng kiểu ăn khớp khít, chỉ tiêu đo được F''_{ir} chưa đủ để đánh giá chất lượng làm việc thực của bánh răng, vì thế thông thường còn phải quan tâm đến sai lệch giới hạn của khoảng cách tâm. Bánh răng được đánh giá là đạt khi thông số độ dao động khoảng cách tâm $F''_{ir} < F''_i$ và sai lệch giới hạn khoảng cách tâm $< \pm f_a$ (theo tiêu chuẩn TCVN 214-77 hoặc SEV 641-77).

Kết quả đo khoảng cách tâm đo còn được đưa vào bộ ghi đồ thị.

Kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp khít cho phép ta kết luận được về mức chính xác động học, mức làm việc êm, chỉ tiêu vết tiếp xúc, khi kết hợp với các sai lệch giới hạn có thể xác định được cả khe hở mặt bèn (hình 2-77).

Kiểm tra tổng hợp kiểu ăn khớp khít đơn giản, dễ thực hiện, máy đo dễ chế tạo, dễ đạt độ chính xác cao, dễ thao tác, kết quả kiểm tra nhanh chóng. Tuy nhiên, do yêu cầu về chi tiết mẫu, phương pháp đo này cũng chỉ thích hợp với kiểm tra trong sản xuất hàng loạt, hàng khối. Mặt khác, do điều kiện kiểm tra khác điều kiện làm việc thực, các sai số theo phương tiếp tuyến không được phản ánh vào kết quả đo nên kết quả đo không hoàn toàn đúng với chất lượng làm việc thực của bánh răng.

2.8.3. Phương pháp đo sai số tích tụ bước vòng

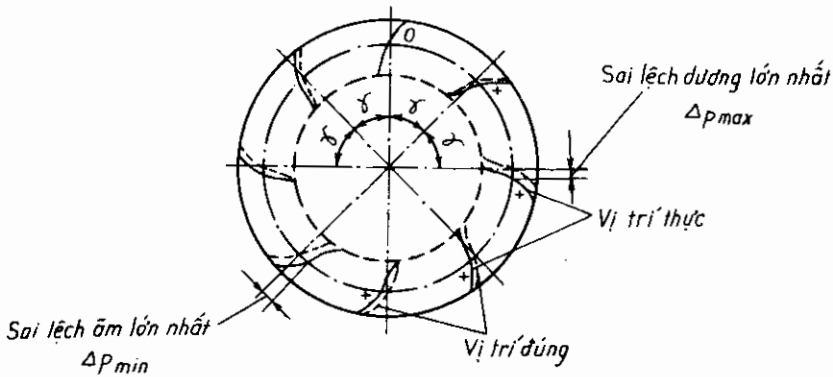
Bước vòng p_i là khoảng cách giữa hai prôlin cùng phía của hai răng kề nhau đo theo cung vòng tròn đồng tâm của bánh răng.

Sai lệch bước vòng phản ánh độ không đồng đều của bước vòng, đó là sai lệch vị trí tương đối của các răng với nhau. Hình 2-78 mô tả sự phân bố của các răng gây nên sai số tích lũy bước vòng.

Sai số tích lũy bước vòng là trị số sai lệch bước vòng lớn nhất sau một vòng quay của bánh răng và được quy định là sai lệch giới hạn của bước vòng f_{pt} dùng đánh giá mức làm việc êm của bánh răng.

$$f_{pt} = \sum_{i=1}^z \Delta p_{ti} = \Delta p_{max} - \Delta p_{min}$$

Sai lệch bước vòng giới hạn có thể được đo theo ba phương pháp:



Hình 2-78.

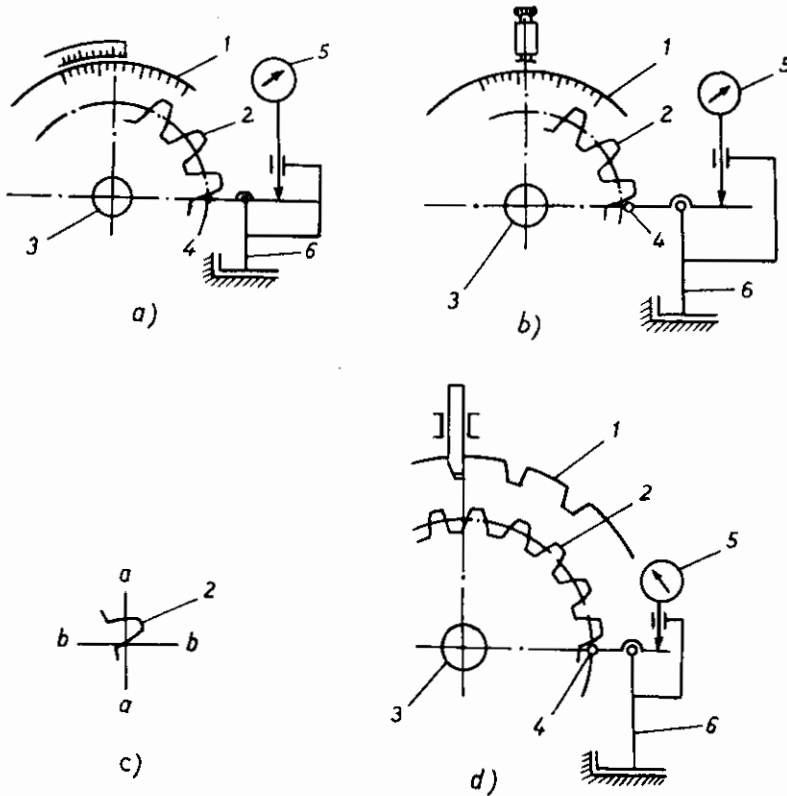
- Đo sai lệch bước góc.
- Đo sai lệch bước vòng trên vòng tròn đo.
- Đo sai lệch bước trên nửa vòng quay.

1. Đo theo sai lệch bước góc

Bước góc $\tau = \frac{2\pi}{z}$ là góc chấn bước vòng. Vì vậy, có thể đo sai lệch bước vòng

qua đo sai lệch bước góc. Hình 2-79 mô tả phương pháp đo sai lệch bước vòng theo phương pháp đo sai lệch bước góc. Trong đó bánh răng đo được lắp đồng trục với các cơ cấu chia độ, ở hình a, b, c là bàn chia độ cơ khí hoặc bàn chia độ quang học, ở hình d là đĩa chia độ. Trong hình a, b thông qua đầu đo lắp trên đòn bẩy 4 tiếp xúc với sườn răng, đồng hồ 5 là dụng cụ chỉ "0", ở hình c điều chỉnh ngắm chuẩn cho tâm vạch chuẩn a-a và b-b nằm trên biên dạng răng. Khi quay bánh răng lần lượt cho các sườn răng vào vị trí đo "0" ta sẽ đọc được các trị số góc đã chuyển qua

sai lệch góc giữa góc đo τ , với τ , cho ta sai lệch bước góc và ta tính được sai lệch bước vòng tại các điểm đo tương ứng. Ngoài ra cả 4 sơ đồ đều có thể áp dụng nguyên tắc: quay bánh răng đi góc τ qui định, chuyển đổi đo sẽ chỉ cho ta sai lệch bước vòng trên cung đo. Ở hình 2-79 c), sai lệch bước vòng tính qua sai lệch chuyển vị của tâm vạch chuẩn tới biên dạng răng đo.



Hình 2-79.

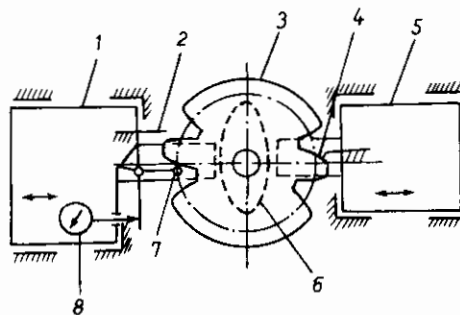
Tùy theo yêu cầu về độ chính xác và kích thước của bánh răng đo mà có thể đo lần lượt cả z bước liên tiếp hoặc vài ba bước đo một lần. Với bánh răng nhỏ có thể so sánh sai số trên hai hay ba bước.

Độ chính xác khi đo theo phương pháp đo bước góc cao hơn nhưng năng suất đo thấp. Phương pháp đo này chỉ thích hợp với sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ.

2. Đo theo sai số tích lũy bước sau nửa vòng quay của bánh răng

Trong phương pháp đo này người ta tiến hành so sánh để lấy sai lệch cung chắn góc 180° , tức là bước tích lũy sau n bước với $n = z/2$. Sơ đồ máy đo như hình 2-80 mô tả: bánh răng đo 3 được lắp trên trục chính của máy. Trên trục chính lắp cam

đẩy 6. Khi cam quay đến bán trục lớn, hai bàn trượt 1 và 5 sẽ bị đẩy ra làm cho bánh răng quay đến vị trí cần đo. Sau đó cam quay đến bán trục bé, dưới tác dụng của lò xo hai bàn trượt tiến lại làm cho đầu đo tiến vào vị trí đo. Đầu đo 4 là đầu đo cố định đóng vai trò chuẩn đo cho tiếp điểm đo động 7. Lò xo 2 dùng gây áp lực đo. Tại vị trí đúng, đầu đo 7 và 4 cách nhau 180° gọi là vị trí "0". Sau đó tiếp tục chu kỳ làm việc của cam, bàn trượt lần lượt ra vào và trên đồng hồ 8 ta đọc được sai lệch của bước tích lũy sau nửa vòng quay.



Hình 2-80.

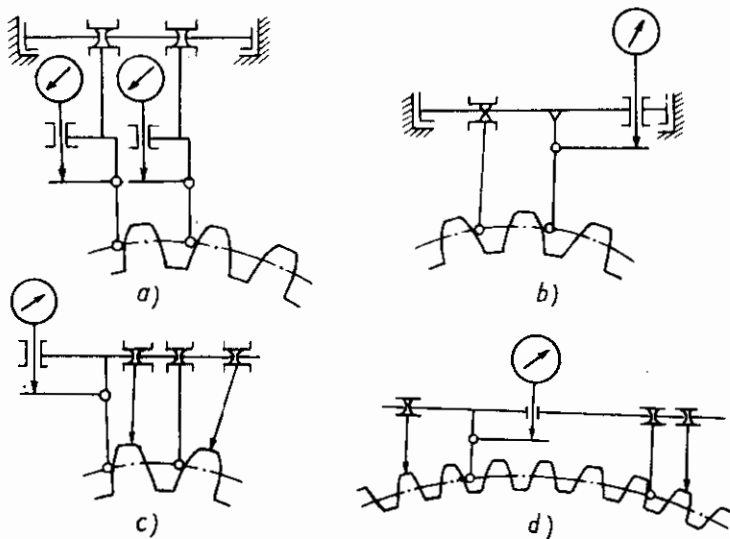
Đo theo phương pháp đo bước tích lũy sau nửa vòng quay đơn giản, dễ cơ khí hoá và tự động hoá, năng suất đo cao hơn.

3. Đo sai lệch bước vòng trên vòng tròn đo

Trong phương pháp này, người ta tiến hành so sánh các bước vòng trên vòng tròn đo với nhau bằng cách tiến hành chỉnh "0" cho máy hoặc dụng cụ đo bằng một bước bất kỳ trên vòng tròn đo rồi tiến hành đo các bước còn lại, sai lệch chỉ thị cho ta sai lệch bước đo so với bước ban đầu lúc chỉnh "0".

Sai lệch giới hạn bước vòng được tính bằng hiệu các sai lệch chỉ thị max và min.

Hình 2-81 mô tả các sơ đồ đo sai lệch bước vòng.



Hình 2-81.

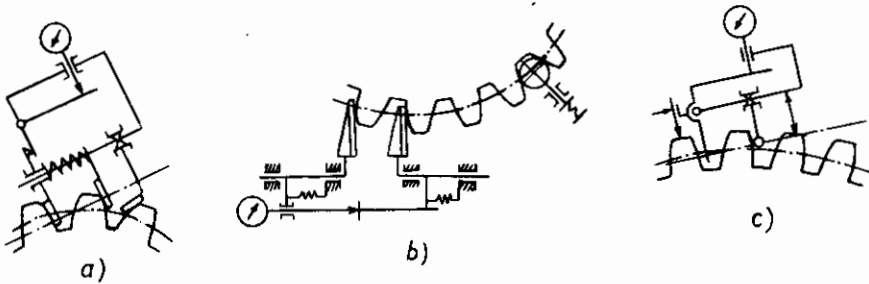
Trong sơ đồ a và b, vòng tròn đo được xác định bằng cỡ đo trên máy, ở sơ đồ a dùng một đồng hồ làm chuẩn, một đồng hồ chỉ thị, sơ đồ b dùng điểm tỷ chuẩn cố định. Sơ đồ c, d dùng cho dụng cụ cầm tay, tựa chuẩn trên vòng đỉnh để đạt được vòng tròn đo cố định. Sơ đồ c: dụng cụ đo từng bước, sơ đồ d: dụng cụ đo sai lệch bước.

Phương pháp đo sai lệch bước vòng đơn giản trong điều chỉnh song năng suất đo không cao, chỉ thích hợp với sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ.

2.8.4. Đo sai lệch giới hạn bước pháp cơ sở

Bước pháp cơ sở là bước ăn khớp của bánh răng, đó là khoảng cách theo phương pháp tuyến tiếp xúc (khi ăn khớp thân khai) giữa hai điểm tiếp xúc trên mặt chính cùng phía của các răng kế nhau.

Bước pháp cơ sở có kích thước danh nghĩa là $P_{bn} = \pi m \cos \alpha$. Trong tiêu chuẩn quy định sai lệch giới hạn của bước ăn khớp là f_{pb} dùng đánh giá mức làm việc êm của bánh răng.



Hình 2-82.

Hình 2-82 mô tả sơ đồ đo sai lệch bước cơ sở. Trong đó sơ đồ a và c dùng cho các dụng cụ cầm tay gọi là đồng hồ đo bước, sơ đồ b dùng cho máy đo bước cơ sở. Khi đo, tiếp điểm đo cần nằm trên vùng ăn khớp thân khai. Trong máy và dụng cụ đo có các cơ cấu điều chỉnh cho tiếp điểm đo đặt ở phần làm việc của sườn răng. Khoảng cách giữa hai mỏ đo được điều chỉnh với kích thước danh nghĩa của P_n . Phương pháp đo, tính kết quả đo và đánh giá tương tự như khi đo sai lệch bước vòng.

2.8.5. Đo sai lệch khoảng pháp tuyến chung

Khoảng pháp tuyến chung w là khoảng cách giữa các mặt răng khác phía của bánh răng trụ theo pháp tuyến chung của các mặt này. Khoảng pháp tuyến chung có kích thước danh nghĩa là:

$$w = \{0,684\xi + 2,9521(n - 0,5) + 0,014z\}.m$$

trong đó:

ξ - hệ số dịch chỉnh;

n - số răng bị kẹp bao trong pháp tuyến chung,

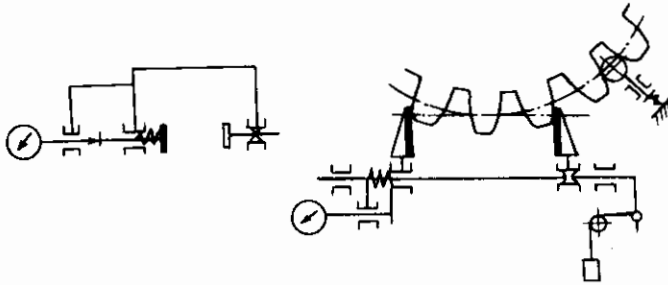
$$n = 0,111z + 0,5$$

Nếu bánh răng không dịch chỉnh:

$$w = \{2,9521(n - 0,5) + 0,014z\}.m$$

Hình 2-83 là sơ đồ đo khoảng pháp tuyến chung. Trong đó sơ đồ a) dùng cho dụng cụ cầm tay, gọi là đồng hồ đo pháp tuyến hoặc thước đo pháp tuyến; sơ đồ b) dùng cho máy đo khoảng pháp tuyến chung.

Khi đo, dụng cụ và máy đo được chỉnh "0" với kích thước W danh nghĩa.



Hình 2-83.

Có thể đo cả với z răng hoặc cách vài răng đo một lần tùy theo độ chính xác và độ lớn của bánh răng đó. Độ dao động khoảng pháp tuyến chung được tính bằng:

$$F_{vwt} = W_{max} - W_{min}$$

$$\Delta W = \overline{W} - W$$

với:

$$\overline{W} = \frac{\sum_{i=1}^z W_i}{z}$$

trong đó:

ΔW - sai lệch chiều dài pháp tuyến chung đo sau một vòng quay.

W - khoảng pháp tuyến chung lý thuyết;

W_i - khoảng pháp tuyến chung đo.

Sau khi đo khoảng pháp tuyến chung với n và $n - 1$ răng có thể suy ra chiều dài bước:

$$P_b = W_{n+1} - W_n$$

Trong tiêu chuẩn quy định dung sai độ dao động khoảng pháp tuyến chung là F_{vw} dùng để đánh giá mức chính xác động học và sai lệch nhỏ nhất của khoảng pháp tuyến chung trung bình E_{vm} và dung sai khoảng pháp tuyến chung T_{wm} để đánh giá mức khe hở cạnh răng.

Sau khi đo được chiều dài pháp tuyến chung có thể suy ra được lượng dịch khôngtua gốc:

$$E_{H1} = \frac{\Delta W}{2 \sin \alpha}$$

và sai lệch chiều dày răng:

$$E_{c'} = \frac{\Delta W}{\cos \alpha}$$

Trị số E_{H1} và $E_{c'}$ dùng để đánh giá mức khe hở cạnh răng.

2.8.6. Đo độ đảo hướng tâm vành răng

Độ đảo hướng tâm của vành răng là độ dao động lớn nhất lượng dịch profil gốc so với trục làm việc của bánh răng.

Sơ đồ đo độ đảo hướng tâm vành răng như hình 2-84 mô tả. Chi tiết được định tâm theo trục làm việc của bánh răng. Bì 2 được lắp lên chốt chống xoay cho bánh răng sao cho bì đo 1 và bì định vị 2 được chuyển vị theo hướng tâm bánh răng.

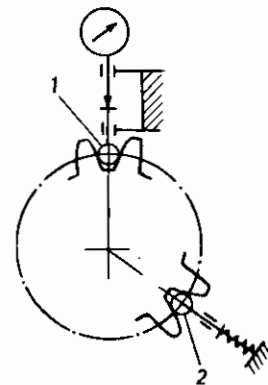
Để tiếp điểm đo nằm trên đường trung bình của profil gốc tiếp xúc với vòng ăn khớp, đường kính bì cần chọn theo môđun bánh răng m :

$$d_{bi} = \frac{\pi m}{2}$$

Độ đảo hướng tâm vành răng ký hiệu là F_{rt} :

$$F_{rt} = x_{max} - x_{min}$$

trong đó x_{max} , x_{min} - khoảng cách lớn nhất và nhỏ nhất từ tâm quay của bánh răng đến



Hình 2-84.

đường trung bình của prôfin gốc danh nghĩa, chỉ ra trên chuyển vị của kim chỉ thị.

Cũng có thể thay đầu đo bi bằng một đầu côn. Độ đảo được đánh giá bằng sai lệch chỉ thị của dụng cụ đo sau một vòng quay của bánh răng. Trong tiêu chuẩn qui định độ đảo hướng tâm vành răng F_r , dùng để đánh giá mức chính xác động học.

2.8.7. Đo đường kính vòng chia

Đường kính vòng chia thực của bánh răng, khoảng cách trục và khe hở ăn khớp hình thành một chuỗi kích thước, vì thế kích thước thực của nó sẽ làm ảnh hưởng đến khe hở ăn khớp, có thể làm thay đổi dạng đối tiếp của cặp ăn khớp.

Người ta dùng phương pháp đo gián tiếp thông qua con lăn hoặc bi có đường kính D được đặt vào rãnh răng như hình 2-85 mô tả. Đường kính con lăn hoặc bi được chọn sao cho vòng chia đi qua tâm bi. Theo TCVN 2345-78, với vòng chủ động, một cách gần đúng lấy $D = 1,5 m$; và với vòng bị động lấy $D = 1,5 m$.

Khi z chẵn:

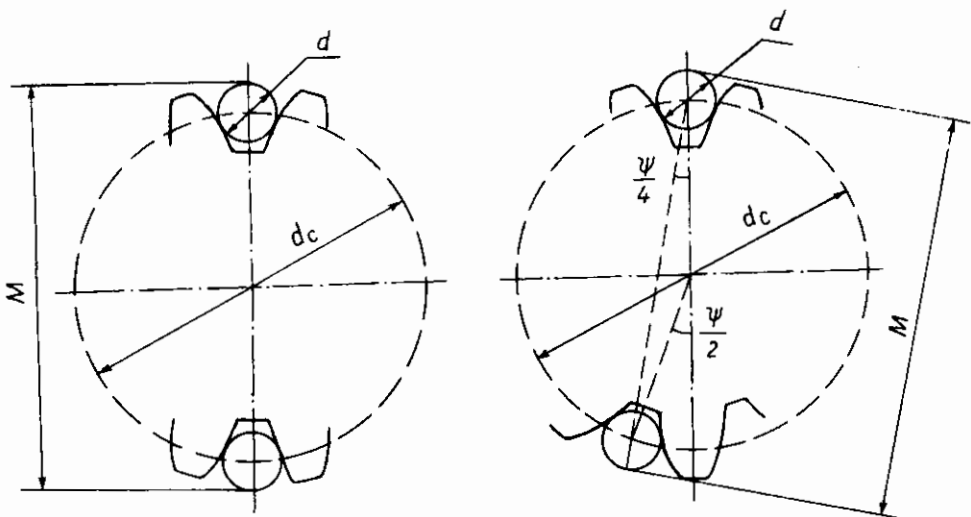
$$d_c = M - D$$

Khi z lẻ:

$$d_c = \frac{M - D}{\cos \frac{\psi}{4}}$$

với:

$$\psi = \frac{360^\circ}{z}$$



Hình 2-85.

Khi đo M bằng bi hoặc con lăn có đường kính khác, tiếp điểm của bi hoặc con lăn với mặt răng sẽ thay đổi và góc ăn khớp tại điểm tiếp xúc sẽ là α_D khác góc ăn khớp α tại đường kính vòng chia.

$$d_D = d_c \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_D}$$

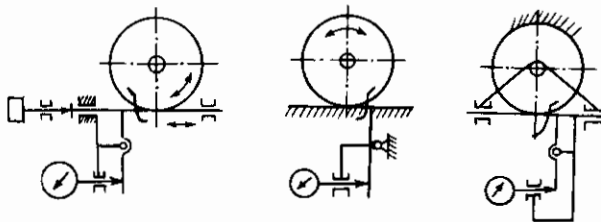
2.8.8. Đo sai số profin răng

Sai số profin răng là sai lệch lớn nhất giữa biên dạng răng thực với biên dạng răng lý thuyết yêu cầu.

Phần lớn các bánh răng dùng truyền động có biên dạng răng là dạng thân khai. Trong phần này chỉ trình bày phương pháp đo sai số profin thân khai.

Để so sánh dạng răng thực với dạng răng lý thuyết ta tiến hành so sánh qua hai chuyển động: chuyển động tạo hình thân khai mẫu và chuyển động đo của đầu đo rà liên tục trên biên dạng thực của bánh răng đo. Sai lệch giữa hai chuyển động cho ta sai số profin răng hay còn gọi là sai số dạng răng. Sai số profin răng dùng để đánh giá mức làm việc êm của bánh răng.

Hình 2-86 mô tả các phương pháp tạo hình thân khai mẫu. Thông thường người ta thiết kế máy đo theo sơ đồ a).



Hình 2-86.

Hình 2-87 giới thiệu một máy đo thân khai dạng đơn giản, thiết kế theo sơ đồ nguyên tắc a). Trong đó vòng cơ sở 1 có đường kính bằng đường kính vòng chia bánh răng đo; thước thẳng 2 chuyển động tịnh tiến nhờ vítme lắp với tay quay 5.

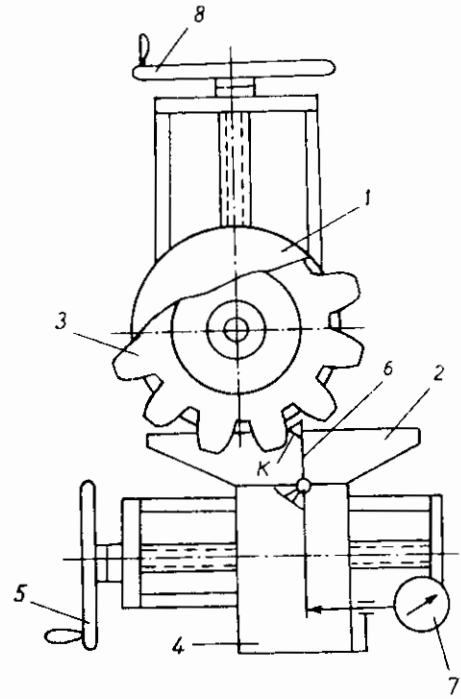
Bánh răng đo lắp đồng trục với vòng cơ sở 1 trên bàn chi tiết. Bàn này dịch chuyển đến vị trí đo nhờ trục vít lắp với vô lăng 8. Khi quay tay quay 5, bàn 4 mang thước 2 tịnh tiến, thước này truyền động ma sát với vòng 1 làm vòng 1 quay, quỹ đạo của điểm tiếp xúc sẽ vẽ lên dạng thân khai mẫu. Trong khi đó bàn 4 cũng mang

đòn bẩy 6 có tiếp điểm đo mà hình chiếu của nó nằm trên mép thước luôn rù theo mặt răng đo. Sai lệch giữa chuyển động thân khai mẫu và chuyển động đo làm cho đòn 6 quay và được chỉ thị lên đồng hồ 7.

Nói chung, máy có nguyên lý đơn giản, dễ chế tạo, dễ đo. Tuy nhiên về mặt nguyên lý chưa hoàn thiện. Ứng với mỗi loại bánh răng có đường kính khác nhau đều phải có vòng cơ sở khác nhau nên khá phức tạp, chỉ thích hợp với sản xuất hàng loạt.

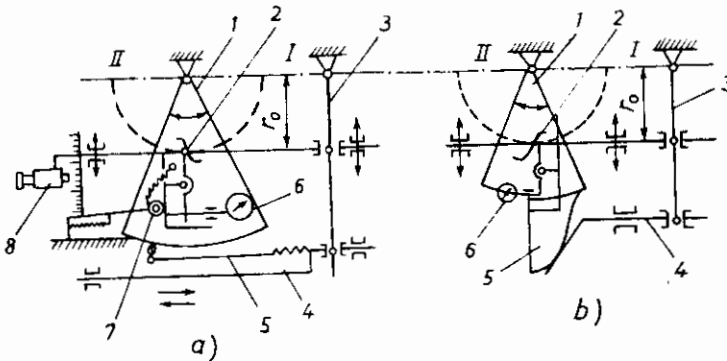
Ngoài ra, máy khó tránh khỏi sai số do trượt ở khớp ma sát. Vì thế máy đòi hỏi điều kiện làm việc sạch sẽ, không rung động.

Để khắc phục nhược điểm của nguyên lý tạo hình trên, nâng cao độ chính xác khi đo và thích hợp với sản xuất loạt nhỏ, người ta đã cải tiến nguyên lý tạo hình thân khai mẫu nhằm giảm bớt số chi tiết mẫu, tăng tính vạn năng của máy bằng cách dùng cơ cấu điều chỉnh dạng đòn hoặc thước tang tạo ra vòng cơ sở tùy ý. Các máy đo thân khai mang tên là Évonviemmet thường có sơ đồ nguyên tác như hình 2-88.



Hình 2-87.

Trong đó r. được điều chỉnh nhờ khớp trượt và đọc số nhờ kính hiển vi đọc số 8. Chuyển động quay của trục 1 làm cho đòn 3 quay và thước 4 tịnh tiến cùng phối hợp với chuyển động quay của đĩa gạt 1 lắp đồng trục với bánh răng đo 2 nhờ dây đai 5 (hình 2-88 a).



Hình 2-88.

Sai lệch của chuyển động theo biên dạng thực và chuyển động tạo thân khai mẫu được chỉ ra trên đồng hồ 6 hoặc dụng cụ ghi 7.

Ở hình b, chuyển động tịnh tiến của 4 và chuyển động quay của 1 và bánh răng 2 nhờ cam mẫu số 5.

2.9. PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐỘ CỨNG BỀ MẶT

Độ cứng của kim loại là khả năng chống lại sự thâm nhập của vật thể khác cứng hơn nó.

Độ cứng là một chỉ tiêu chất lượng bề mặt rất quan trọng, nó ảnh hưởng nghiêm trọng tới độ bền chi tiết. Khi độ cứng kém, chi tiết sẽ mau mòn, dễ biến dạng và do đó độ chính xác giảm sút nhanh chóng sau thời gian làm việc.

Thông thường trên bản vẽ sản phẩm chỉ ghi độ cứng bề mặt khi sản phẩm có qua xử lý nhiệt.

Việc kiểm tra chỉ tiêu độ cứng bề mặt được tiến hành theo các phương pháp khác nhau tùy theo độ cứng của vật liệu.

Phương pháp xác định độ cứng kim loại bằng tải trọng tĩnh, tức là áp lực tăng từ từ cho mãi thử là phương pháp đo tiêu chuẩn và thường dùng nhất.

Nguyên tắc của phương pháp là dưới áp lực P xác định, một mũi thử bằng vật liệu chọn trước, có hình dáng và kích thước nhất định, có thể thâm nhập vào bề mặt của vật thử một chiều sâu là bao nhiêu tùy thuộc vào độ cứng của nó.

Như vậy, thực chất của việc đo độ cứng vật liệu là đo chuyển vị thẳng của mũi thử khi ấn nó vào vật liệu thử dưới áp lực cho trước.

Để hạn chế chiều sâu vết thử, người ta thiết kế hình dáng và kích thước mũi thử khác nhau tùy theo độ cứng của vật liệu.

Tùy theo hình dạng mũi thử, người ta có các công thức tính khác nhau và các chỉ tiêu tính độ cứng khác nhau.

2.9.1. Phương pháp đo độ cứng Brinell

Mũi thử trong phương pháp đo này là bi thép.

Thực chất của phương pháp này là dưới tác dụng của tải trọng cho trước, trong một khoảng thời gian nhất định, viên bi cầu bằng thép đã được nhiệt luyện, có đường kính xác định sẽ lún sâu vào mẫu thử một đoạn t (hình 2-89).

Trong phương pháp này, trị số độ cứng gọi là *HB* được xác định bằng áp lực trung bình, biểu thị bằng Newton trên 1 mm^2 diện tích mặt cầu của vết lõm để lại, được tính theo công thức:

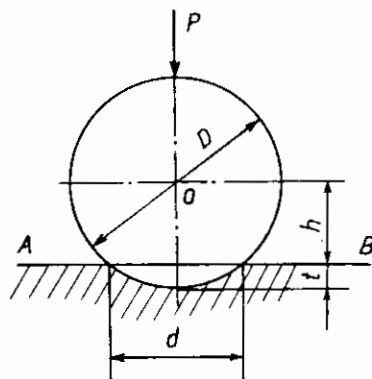
$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi Dt}$$

trong đó:

P - áp lực ấn vuông góc với mặt *AB* và được qui định theo tiêu chuẩn;

F - diện tích mặt lõm cầu;

D - đường kính bi đo.



Hình 2-89.

Thay *t* bởi mối quan hệ với *D* và *d*, ta có:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Như vậy, thay vào việc đo *t* người ta đo đường kính vết lõm trên hai phương vuông góc với nhau bằng những dụng cụ chuyên dùng. Trong tiêu chuẩn về độ cứng *HB*, người ta tính sẵn *HB* với *D* cho trước theo kích thước vết lõm khác nhau.

Phương pháp này chỉ dùng khi độ cứng vật liệu dưới 450 *HB*, với vật liệu cứng hơn, sai số đo sẽ lớn.

2.9.2. Phương pháp đo độ cứng Rockwell

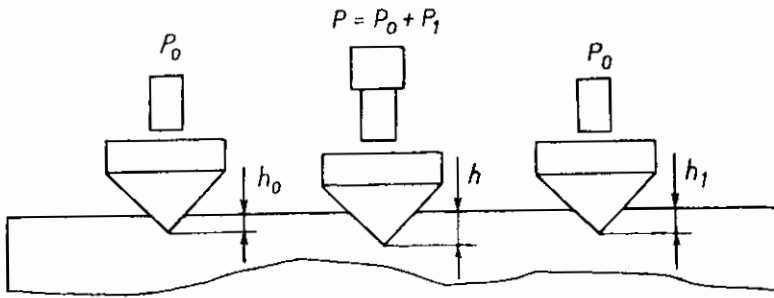
Để xác định độ cứng của chi tiết sau nhiệt luyện hoặc chi tiết bằng hợp kim cứng, người ta dùng mũi thử dạng côn bằng kim cương có góc ở đỉnh là 120° , ở đỉnh có bán kính góc lượn $\rho = 0,2 \pm 0,005 \text{ mm}$.

Độ cứng xác định bằng cách ấn mũi kim cương vào mẫu thử dưới tác dụng của hai tải trọng nối tiếp: tải trọng ban đầu nén 100 *N*, còn tải tổng cộng *P* là 600 *N* hoặc 1500 *N* tùy theo thang chia.

Hình 2-90 mô tả quá trình thử:

Ban đầu với tải sơ bộ $P_0 = 100 \text{ N}$, mũi thử lún sâu vào vật liệu đoạn h_0 không đáng kể. Tiếp đó tải trọng được tăng P_1 đến $P = P_0 + P_1$, mũi thử lún sâu vào vật liệu

đoạn h_1 . Sau đó rút tải P_1 , còn lại tải trọng P_0 , chiều sâu vết lún còn lại là h đặc trưng cho độ cứng của vật liệu thử.



Hình 2-90.

Tùy theo tải trọng tổng chọn là 600 N , 1000 N hay 1500 N mà người ta phân độ cứng Rocwell ra 3 thang A, B, C tương ứng.

Dưới tác dụng của tải trọng sơ bộ P_0 , mũi thử lún vào vật liệu lượng h_0 . Sau đó tăng thêm tải trọng cơ bản P_1 (là 600 N đối với thang A, 1000 N đối với thang B và 1500 N với thang C), mũi thử lún vào vật liệu với chiều sâu h_1 , tiếp sau bỏ bớt tải trọng cơ bản, chiều sâu vết lún chỉ còn là h . Độ sâu vết lún h đặc trưng cho độ cứng của vật liệu thử. Độ cứng Rocwell khi đo theo thang A và C được tính theo công thức:

$$HR = 100 - e$$

Đối với vật liệu mềm khi đo theo Rocwell người ta thay mũi kim cương bằng viên bi thép tôi có đường kính $\varnothing 1,538\text{ mm}$ ($1/16''$). Viên bi được ấn với áp lực hai tải nối tiếp: tải ban đầu 100 N và tải tổng cộng là 1000 N . Đo theo thang B, khi đó:

$$HB = 130 - e.$$

Với trị số:

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}$$

Trong đó $0,002$ là trị số tính theo mm được coi là đơn vị dịch chuyển theo chiều trục của mũi thử và là đơn vị độ cứng qui ước (mũi thử ấn xuống $0,002\text{ mm}$ thì kim đồng hồ dịch đi 1 vạch).

Thông thường các chi tiết máy được cho chỉ tiêu theo độ cứng HRC.

2.9.3. Phương pháp đo độ cứng Wikker

Mũi thử trong phương pháp này là mũi hình tháp, có 4 cạnh đều, có kích thước tiêu chuẩn, đáy vuông và góc ở đỉnh là $136^\circ \pm 30'$, bằng kim cương.

Mũi thử được ấn vào vật liệu dưới tác dụng của các tải trọng 50 N; 100 N; 200 N; 300 N; 500 N; 1000 N.

Vết lõm của mũi thử để lại trên vật liệu được đo theo chiều dài đường chéo đáy hình vuông trên vật liệu thử. Trị số độ cứng được tính như sau:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

trong đó:

P - tải trọng mũi thử, N;

d - trị số trung bình hai đường chéo vết lõm, mm;

α - góc hợp bởi hai cạnh đối diện cắt nhau tại đỉnh tháp, bằng 136° .

Trị số độ cứng HV được ghi cùng với tải trọng thử và thời gian thử.

Ví dụ: HV 100/30 - 500 có nghĩa là trị số độ cứng Wikker là 500 đo với tải trọng thử là 100 N và trong khoảng thời gian 30 giây.

Phương pháp đo này được dùng để đo độ cứng kim loại cứng cũng như mềm với chiều dày $> 0,2 \text{ mm}$.

Trong tiêu chuẩn qui định chiều dày mẫu thử không được nhỏ hơn 1,5 chiều dài đường chéo vết lõm với kim loại màu và 1,2 lần chiều dài đường chéo vết lõm với chi tiết bằng thép. Sau khi đo độ cứng không cho phép có vết biến dạng ở mặt sau của mẫu. Khoảng cách giữa tâm hai vết phải lớn hơn 2,5 chiều dài đường chéo vết lõm.

Nên đo với các tải sao cho chiều dài đường chéo vết lõm $\geq 0,1 \text{ mm}$, bởi vì nếu nhỏ hơn kết quả đo sẽ kém chính xác.

Khi xác định độ cứng của các chi tiết nhỏ, bằng kim loại mỏng, sợi hợp kim có thành phần cấu tạo đặc biệt, các lớp màng mỏng thấm nitơ hoặc xitua hoá, các lớp mạ phủ ... người ta quy định độ cứng của các vùng nhỏ gọi là độ cứng tế vi. Để đo độ cứng của các vùng vật liệu nhỏ này, người ta dùng mũi thử kim cương có đáy vuông gá dưới kính hiển vi (có độ khuếch đại $500\times$) ấn vào mẫu với tải trọng trong khoảng 0,05 N tới 5 N. Chiều dài vết lõm được đo nhờ thị kính đo lường của kính hiển vi.

Tải trọng thử cần chọn sao cho đường chéo của vết lõm không được lớn hơn hai phần ba chiều dày lớp phủ.

LÝ THUYẾT SAI SỐ PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO THỰC NGHIỆM

3.1. KHÁI NIỆM VỀ SAI SỐ ĐO VÀ PHÂN LOẠI

Khi tiến hành một phép đo, cho dù ta cố gắng thận đến đâu, máy đo có chính xác đến mức nào và phương pháp đo có hợp lý đến mấy thì các kết quả đo nhận được cũng chỉ là một đại lượng gần đúng với kích thước thực của nó. Hơn thế, ở mỗi lần đo khác nhau ta còn có thể nhận được kết quả đo khác nhau.

Sự sai khác giữa kết quả đo, nhận được từ giá trị chỉ thị trên máy và dụng cụ đo với giá trị thực của nó gọi là sai số đo:

$$\Delta x = x - Q$$

với:

Δx - sai số đo;

x - giá trị chỉ thị đọc được trên dụng cụ đo;

Q - giá trị thực của đại lượng.

Khi Δx càng bé, độ chính xác của phép đo càng cao, mức độ gần đúng của kết quả đo với giá trị thực của nó càng cao.

Trong sai số đo Δx có hai thành phần: thành phần sai số hệ thống và thành phần sai số ngẫu nhiên.

Thành phần sai số hệ thống do sử dụng cơ cấu đo có sai số sơ đồ, dụng cụ đo có sai số chế tạo, lắp ráp, điều chỉnh, sai số do điều kiện áp suất, nhiệt độ, do lực đo, do mẫu điều chỉnh. Thành phần sai số ngẫu nhiên do những nguyên nhân mà chỉ có thể chỉ ra khả năng, không khẳng định được có hay không tham gia và mức độ tham gia vào sai số đo, như các sai số do khe hở ổ, do các sai số hình dáng hoặc vị trí của các khâu trong dụng cụ đo...

- Với thành phần sai số hệ thống, có thể bằng các biện pháp khác nhau, người ta chủ động nắm được nguyên nhân gây sai số, trị số, dấu, luật xuất hiện và phương pháp khử. Thành phần này thường có trị số khá lớn so với thành phần sai số ngẫu nhiên nên bắt buộc phải giảm đến mức tối thiểu hoặc khử hết khỏi kết quả đo. Vì thế sau này khi nói đến sai số khi đo, người ta không kể đến thành phần này nữa mà chỉ nói đến thành phần sai số ngẫu nhiên.

- Thành phần sai số ngẫu nhiên là thành phần quyết định độ chính xác đạt được của phép đo. Thành phần này tồn tại trong mọi phép đo, nó làm cho kết quả đo khác nhau trong các lần đo lặp lại cùng một đại lượng. Người ta dùng chỉ tiêu độ phân tán để đánh giá thành phần sai số ngẫu nhiên. Thành phần này có thể giảm về độ phân tán khi tiến hành phép đo lặp lại n lần. Với n càng lớn, độ phân tán của phép đo càng nhỏ, kết quả đo càng chính xác.

3.2. SAI SỐ NGẪU NHIÊN - PHƯƠNG PHÁP TÍNH THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG

Sai số ngẫu nhiên là những sai số do những nguyên nhân có tính chất ngẫu nhiên gây ra, ta chưa biết chắc được nguyên nhân gây ra độ lớn, dấu và cả qui luật biến thiên của nó.

Để nghiên cứu tính chất của sai số ngẫu nhiên ta tiến hành hàng loạt phép đo lặp lại trong cùng điều kiện đo. Sau khi so sánh các thực nghiệm, phân tích tính chất các phép thử, có thể rút ra các nhận xét sau:

Trong một điều kiện đo nhất định, trị tuyệt đối của sai số ngẫu nhiên không vượt quá một giới hạn nhất định.

Sai số có trị tuyệt đối nhỏ có cơ hội xuất hiện nhiều hơn các sai số có trị tuyệt đối lớn.

Các sai số có trị tuyệt đối bằng nhau có cơ hội xuất hiện như nhau.

Dựa vào 3 tính chất trên ta có thể nghiên cứu quy luật phân phối của sai số ngẫu nhiên, tính toán được các trị số giới hạn của sai số thông qua việc tính toán các thông số đặc trưng của phân bố.

Để khỏi lằng lằng trong tính toán cần thống nhất các qui định sau:

- Các giá trị chỉ thị kết quả đo: x_1, x_2, \dots, x_n .
- Giá trị thực của đại lượng đo Q .
- Giá trị trung bình của loạt đo: \bar{X} gọi là tham số vị trí của phân bố.
- Số lần đo trong loạt: n .
- Số loạt đo: k .

Thông thường trong chế tạo máy người ta dùng trị trung bình số học để biểu diễn tâm phân bố:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Để gọn người ta dùng ký hiệu của Gauss Σ thay cho dấu Σ .

Sai số đo, ký hiệu là δ : thành phần sai số ngẫu nhiên.

$$\delta = x - Q$$

do đó:

$$\delta_1 = x_1 - Q$$

$$\delta_2 = x_2 - Q$$

.....

$$\delta_n = x_n - Q$$

Theo tính chất thứ ba của sai số thì:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\delta]}{n} = 0$$

Sai số trung bình: $\lambda = \frac{[\delta]}{n}$

Có thể viết quan hệ khác đi:

$$x_1 = Q - \delta_1$$

$$x_2 = Q - \delta_2$$

.....

$$x_n = Q - \delta_n$$

$$[x_i] = n \cdot Q - [\delta]$$

Chia tất cả cho n ta có:

$$\bar{X} = Q - \frac{[\delta]}{n}$$

Khi $n \rightarrow \infty$ thì $\frac{[\delta]}{n} \rightarrow 0$ do đó $\bar{X} \rightarrow Q$.

Kết quả này cho ta nhận xét rằng: khi số lần đo là rất lớn thì giá trị trung bình của loạt kết quả đo sẽ tiến tới giá trị thực của đại lượng đo.

Trong thực tế, do số lần đo n là hạn chế nên luôn luôn có $\bar{X} \neq Q$ và $\bar{X} \approx Q$ mà thôi.

Khi nghiên cứu qui luật phân bố sai số đo, trước hết phải giả thiết rằng sai số đo δ là đại lượng thuần ngẫu nhiên, tức là thành phần sai số hệ thống đã được giảm đến không đáng kể hoặc đã khử hết. Ngoài ra, theo định nghĩa:

$$\delta = x - Q$$

mà Q lại là đại lượng đang cần xác định. Vì thế ta không có được trị số δ .

Để nghiên cứu qui luật phân bố sai số, ta thay đổi Q bởi đại lượng gần đúng của nó là \bar{X} , khi đó ta có sai lệch v :

$$v = x - \bar{X}$$

Ta cũng có:

$$v_1 = x_1 - \bar{X}$$

$$v_2 = x_2 - \bar{X}$$

$$v_3 = x_3 - \bar{X}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$v_n = x_n - \bar{X}$$

$$\underline{[v] = [x] - n\bar{X}}$$

Chia tất cả cho n ta có:

$$\frac{[v]}{n} = \frac{[x]}{n} - \bar{X} = 0$$

hay $[v] = 0$, nghĩa là tổng các sai lệch ngẫu nhiên bằng không.

Khi thay Q bởi \bar{X} , có nghĩa là ta không nghiên cứu luật phân bố của δ mà ta nghiên cứu luật phân bố của v . Hãy khảo sát xem việc đó có sai lầm gì không?

Hãy xét:

$$\delta = x - Q$$

$$v = x - \bar{X}$$

$$\delta - v = \bar{X} - Q = \bar{X} - \left(\bar{X} - \frac{|\delta|}{n} \right) = \frac{|\delta|}{n} = \lambda$$

- Khi $n \rightarrow \infty$, $\lambda \rightarrow 0$ và khi đó $v \rightarrow \delta$, $\bar{X} \rightarrow Q$ nghĩa là với n lớn, đường biểu diễn luật phân bố của v sẽ trùng với luật phân bố của δ .

- Với n hữu hạn, $\bar{X} - Q = \lambda$, có nghĩa là tâm phân bố (tức là tham số vị trí) bị lệch đi một lượng λ .

Mặt khác $\delta - v = \lambda$ hay $\delta = v + \lambda$, nghĩa là λ là một thành phần cố định. Luật phân bố của các đại lượng ngẫu nhiên khi cộng với một đại lượng cố định sẽ cho ta một đại lượng ngẫu nhiên mà luật phân bố sẽ không thay đổi, chỉ có tâm phân bố dịch đi một lượng bằng đại lượng cố định đó.

Trong thực tế người ta tiến hành hàng loạt phép đo, sau đó tiến hành ghép nhóm các số liệu giống nhau và lập bảng thống kê như bảng 3-1.

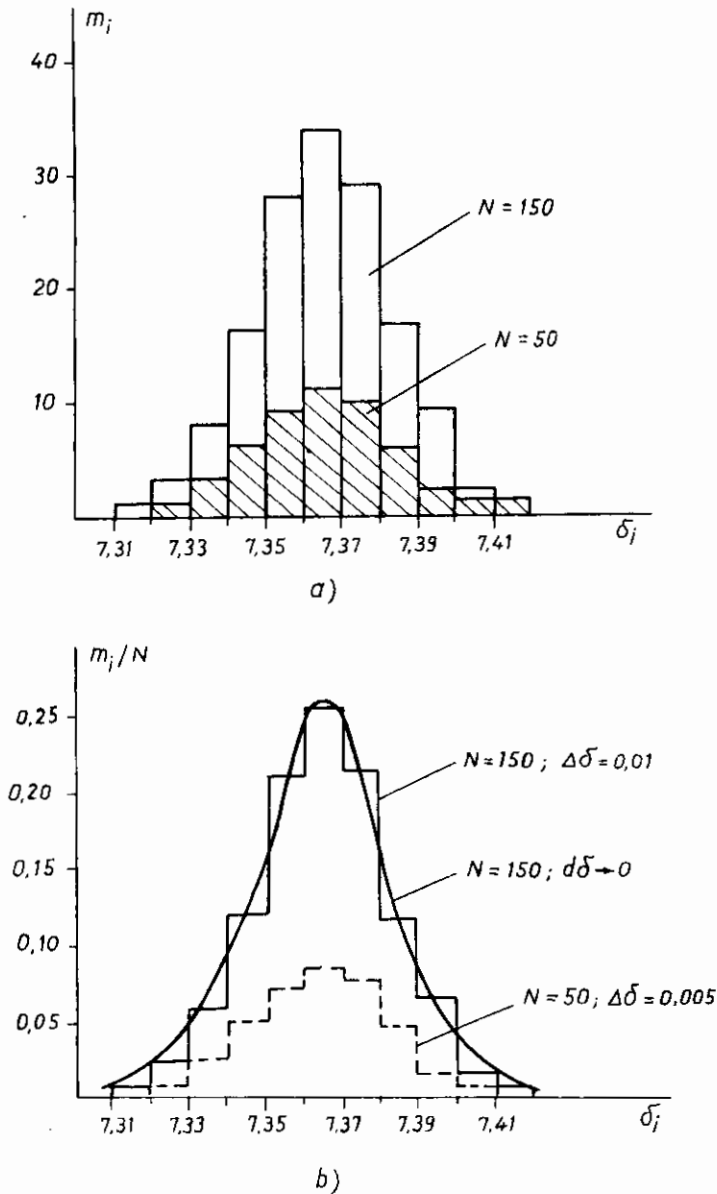
Bảng 3-1

Giá trị đo d_i	Số lần xuất hiện m_i		Tần suất m_i/n	
	$n_1 = 150$	$n_2 = 50$	$n_1 = 150$	$n_2 = 50$
7,31	1	0	0,007	0
7,32	3	1	0,020	0,02
7,33	8	3	0,058	0,06
7,34	18	6	0,120	0,12
7,35	28	9	0,187	0,18
7,36	34	11	0,227	0,22
7,37	29	10	0,193	0,20
7,38	17	6	0,113	0,12
7,39	9	2	0,060	0,04
7,40	2	1	0,013	0,02
7,41	1	1	0,007	0,02

Bảng 3-1 ghi kết quả của hai loạt đo với $n_1 = 150$ lần và $n_2 = 50$ lần. Số lần kích thước đo d_i xuất hiện được ghi là m_i . Tỷ số m_i/n gọi là tần suất xuất hiện kích thước d_i tương ứng.

Từ bảng thống kê ta vẽ được biểu đồ dạng bậc như hình 3-1. Hình a vẽ theo m_i và hình b vẽ theo m_i/n . Trục hoành δ biểu diễn sai số đo kích thước. Khi phân khoảng sai lệch kích thước càng bé thì đường bậc thang càng tiệm cận tới đường cong trơn, giá trị tần suất trở thành xác suất. Đường cong trơn biểu diễn bằng hàm $y = \varphi(\delta)$ được gọi là hàm mật độ xác suất hay còn gọi là hàm mật độ của Gauss:

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 s^2}$$



Hình 3-1.

Ta có nhận xét: khi h tăng, $\varphi(\delta)$ sẽ lớn, tức là kích thước sẽ tập trung hơn, chứng tỏ độ chính xác cao hơn. Vì thế có thể dùng h làm một chỉ tiêu để đánh giá độ chính xác của kết quả đo; h được gọi là chỉ tiêu độ chính xác Gauss.

Chỉ tiêu h quan hệ với độ chính xác của phép đo chỉ có tính chất thuần túy toán học, nó chỉ là một hư số mà không có ý nghĩa vật lý cụ thể nên ít được dùng trong kỹ thuật.

Trong kỹ thuật người ta dùng chỉ tiêu sai lệch bình phương trung bình để đánh giá độ phân tán của phép đo với công thức định nghĩa là:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$$

Khi tiến hành n phép đo, ta có thể ghép nhóm các số liệu giống nhau và được k nhóm, do đó:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{m_1 \delta_1^2 + m_2 \delta_2^2 + \dots + m_k \delta_k^2}{n} = \frac{m_1}{n} \delta_1^2 + \frac{m_2}{n} \delta_2^2 + \dots + \frac{m_k}{n} \delta_k^2 \\ &= p_1 \delta_1^2 + p_2 \delta_2^2 + \dots + p_k \delta_k^2 = \sum_{i=1}^k p_i \delta_i^2 \end{aligned}$$

Với $p_i = \frac{m_i}{n}$ là tần suất xuất hiện kích thước có sai số rơi vào khu vực sai số δ_i . Với phân khoảng kích thước vô cùng bé ta sẽ có $p_i = \varphi(\delta) \cdot d\delta$, do đó:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\delta) \delta_i^2 \cdot d\delta = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-h^2 \delta^2} \cdot \delta^2 d\delta \quad (*)$$

Theo tích phân Laplace ta có:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-h^2 \delta^2} d\delta = \frac{\sqrt{\pi}}{h}$$

Vi phân cả hai vế ta có:

$$\frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-h^2 \delta^2} \cdot \delta^2 d\delta = \frac{1}{2h^2}$$

Vế trái của biểu thức trên chính là vế phải của (*) tức là giá trị của σ^2 . Vậy ta có:

$$h = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma}$$

Thay giá trị của h vào hàm mật độ của Gauss được:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

đây là dạng hàm mật độ xác suất trong kỹ thuật thường dùng.

Nhận thấy rằng:

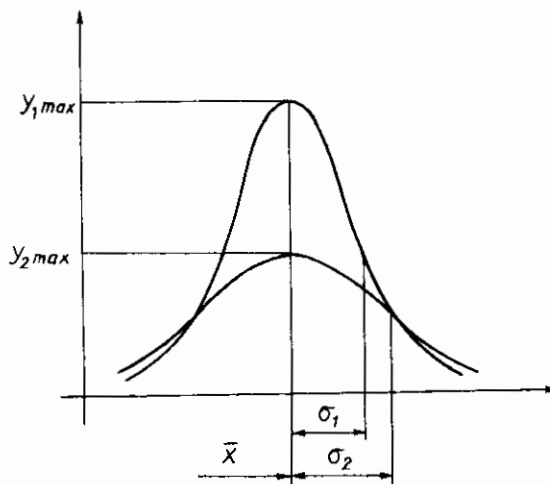
- Hàm đạt cực đại tại $\delta = 0$, $y_{max} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$.

- Khi σ giảm, y_{max} sẽ tăng, nghĩa là khi σ nhỏ, mật độ xác suất sẽ tăng, chứng tỏ phép đo có độ chính xác cao. Do đó σ được dùng làm một chỉ tiêu đánh giá độ chính xác khi đo.

- Hàm có điểm uốn tại $\delta = \pm \sigma$, nghĩa là σ cũng là một trị số sai số, có thể xác định trên trục kích thước, có thứ nguyên của đại lượng đo. Khi σ tăng, đường cong $y = \varphi(\delta)$ sẽ lùn và bè ra. Khi σ giảm, đường cong $y = \varphi(\delta)$ sẽ nhọn và gọn lại (hình 3-2). σ đặc trưng cho mức độ phân tán của kích thước quanh giá trị trung bình và dùng làm độ đo của độ phân tán. Vì thế người ta còn gọi σ là sai số chuẩn.

Tuỳ theo mức độ phân tán cho phép là bao nhiêu mà ta có thể tính được xác suất xuất hiện kích thước trong đó:

$$P_{\delta_1}^{\delta_2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{\delta_1}^{\delta_2} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \cdot d\delta$$



Hình 3-2.

Để thuận tiện, người ta chuyển δ , đổi theo độ đo σ gọi là chuẩn hoá sai số, ta có:

$$\frac{\delta_1}{\sigma} = z_1; \quad \frac{\delta_2}{\sigma} = z_2; \quad \frac{d\delta}{\sigma} = dz$$

do đó:

$$P_{\delta_1}^{\delta_2} = P_{z_1}^{z_2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Nếu $z_1 = -z$; $z_2 = z$ thì ta có:

$$P_{-\delta}^{\delta} = P_{-z}^z = 2P_0^z = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

đặt:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

ta có hàm mật độ:

$$P_{-\delta}^{\delta} = 2\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Hàm $\Phi(z)$ được gọi là hàm tích phân Laplass. Việc tính tích phân xác định này rất khó khăn. Để tiện sử dụng, người ta đã lập bảng tính giá trị tích phân với trị số $z = 0 \div 5$ gọi là bảng giá trị tích phân Laplass có ghi trong phụ lục.

Trong thực tế, ta chưa có δ , vì thế việc tính σ không tính qua công thức định nghĩa mà phải tính qua v . Với số lần đo hữu hạn, $v \neq \delta$:

$$\delta = v + \lambda$$

do đó:

$$\delta^2 = (v + \lambda)^2 = v^2 + 2\lambda v + \lambda^2$$

Lập tổng ta có:

$$[\delta^2] = [v^2] + 2\lambda[v] + n\lambda^2$$

Do tính chất của sai số $[v] = 0$ nên:

$$[\delta^2] = [v^2] + n\lambda^2 = [v^2] + n \left(\frac{[\delta]}{n} \right)^2$$

$$[\delta^2] = [v^2] + \frac{[\delta^2]}{n}$$

$$[\delta^2] = [\delta^2] + 2[\delta_i \delta_k]$$

với $i \neq k$.

Do tính chất của sai số $[\delta_i \delta_k] = 0$. Do đó

$$[\delta^2] = [v^2] + \frac{[\delta^2]}{n}$$

$$n\sigma^2 = [v^2] + \sigma^2$$

Rút ra:

$$\sigma = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$$

hay:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Đây là công thức tính sai lệch bình phương trung bình trong kỹ thuật sử dụng.

Ví dụ 1: Khi đo độ dài mẫu bằng panme được kết quả mẫu như bảng 3-2.

Bảng 3-2

TT	L_i, mm	$v_i = (L_i - \bar{L}) \cdot 10^{-2}, mm$	$v_i^2, 10^{-4}, mm^2$
1	4,70	- 5	25
2	4,71	- 4	16
3	4,72	- 3	9
4	4,73	- 2	4
5	4,74	- 1	1
6	4,75	0	0
7	4,76	+ 1	1
8	4,77	+ 2	4
9	4,78	+ 3	9
10	4,79	+ 4	16
11	4,80	+ 5	25
$n = 11$	$\bar{L} = 4,75$	$[v_i] = 0$	$[v_i^2] = 110 \cdot 10^{-4}$

$$\bar{L} = \frac{[L_i]}{n} = 4,75 \text{ mm}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{110 \cdot 10^{-4}}{11-1}} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 0,033 \text{ mm}$$

Ví dụ 2

Tính toán kết quả đo cho bảng số liệu 3-1.

Để thuận tiện cho việc tính toán ta lập bảng 3-3.

Với các bài toán có số lần đo lớn, để tránh nhầm lẫn cho các số lẻ trong bảng tính, ta chọn một số nào đó làm số tham khảo để tính, chẳng hạn chọn $d' = 7,3$ để làm giá trị trung bình chọn, ta sẽ có các sai lệch là số có đơn vị đo là $10 \mu\text{m} = 10^{-2} \text{ mm}$, các sai lệch gọi là v' , với $v'_i = d_i - \bar{d}'$ còn $v_i = d_i - \bar{d}_i$.

Bảng 3-3

d_i mm	Số lần xuất hiện		v'_i 10^{-2} μm	$m_i v'_i$		$v_i \cdot 10^{-2} \text{ mm}$		$v_i^2 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$		$m_i v_i^2$	
	m_{i1}	m_{i2}		N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2
7,31	1	0	1	1	0	-5	-5	25	25	25	0
7,32	3	1	2	6	2	-4	-4	16	16	48	16
7,33	8	3	3	24	9	-3	-3	9	9	72	27
7,34	18	6	4	72	24	-2	-2	4	4	72	24
7,35	28	9	5	140	45	-1	-1	1	1	29	9
7,36	34	11	6	204	66	0	0	0	0	0	0
7,37	29	10	7	203	70	+1	+1	1	1	29	10
7,38	17	6	8	166	48	+2	+2	4	4	68	24
7,39	9	2	9	81	18	+3	+3	9	9	81	18
7,40	2	1	10	20	10	+4	+4	16	16	32	16
7,41	1	1	11	11	11	+5	+5	25	25	25	25
Σ	150	50		898	303	0	0			480	163

Khi đó:

$$\bar{d} = \bar{d}' + \frac{\sum_{i=1}^k m_i v'_i}{\sum_{i=1}^k m_i}$$

Theo kết quả tính từ cột 5 và 6 ta có:

$$\bar{d}_1 = 7,3598 \approx 7,36$$

$$\bar{d}_2 = 7,3606 \approx 7,36$$

Cột 7, 8 là kết quả tính sai lệch $v_i = d_i - \bar{d}$. Các cột còn lại dùng để tính σ .

Từ kết quả tính ở cột 11 và 12 ta có:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{480}{150-1}} = 17,9 \mu\text{m} \approx 18 \mu\text{m}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{163}{50-1}} = 18,2 \mu\text{m} \approx 18 \mu\text{m}$$

1) Tính toán các thông số đặc trưng khi đo không cùng điều kiện đo

Khi nghiên cứu sai số ngẫu nhiên, để nâng cao độ chính xác của kết quả nghiên cứu, các ảnh hưởng có tính chất hệ thống tới kết quả đo cần được loại bỏ. Một trong những biện pháp hữu hiệu nhất là tiến hành lặp lại phép đo không những chỉ nhiều lần mà còn tiến hành bằng những phương tiện đo khác nhau, theo các phương pháp đo khác nhau, do những người khác nhau thực hiện hoặc phép đo được tiến hành trong các điều kiện môi trường thay đổi... Các phép đo như thế được gọi là các phép đo không cùng điều kiện đo. Trong đó điều kiện đo kể đến phương tiện, phương pháp đo, người đo và môi trường đo. Khi điều kiện đo thay đổi, ảnh hưởng của các nguyên nhân tới sai số đo sẽ khác nhau, do đó độ chính xác đạt được cũng khác nhau, độ tin cậy của kết quả nhận được cũng khác nhau.

Mỗi loạt đo trong cùng điều kiện đo sẽ cho phép ta tính được một giá trị trung bình \bar{X}_i và một trị số σ_i . Để đặc trưng cho độ tin cậy của mỗi loạt đo người ta dùng hệ số độ tin cậy w_i . Trị số này trong toán học gọi là trọng số. Hệ số w_i là một trị số phụ thuộc vào độ tin cậy, độ chính xác của phép đo:

$$w_1 : w_2 : w_3 : \dots = \alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 : \dots = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \frac{1}{\sigma_3^2} : \dots = n_1 : n_2 : n_3 : \dots$$

Việc tính toán kết quả đo tổng hợp từ các kết quả đo của các loạt đo không cùng độ chính xác được xác định theo công thức:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{w_1 \bar{X}_1 + w_2 \bar{X}_2 + \dots + w_k \bar{X}_k}{w_1 + w_2 + \dots + w_k} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^k w_i}$$

trong đó:

$\bar{\bar{X}}$ - giá trị trung bình của các loạt đo, đặc trưng cho tâm phân bố;

w_i - hệ số độ tin cậy được xác định theo các điều kiện cho phép có liên quan đến độ chính xác và độ tin cậy của loạt đo riêng rẽ;

k - số loạt đo được tiến hành.

Sai lệch bình phương trung bình của các loạt đo được tiến hành bằng cách lấy căn số của công thức tính $\bar{\bar{X}}$, được:

$$D(\bar{\bar{X}}) = \sigma_{\bar{\bar{X}}}^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^k w_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

Khi biết cả số lần đo của mỗi loạt:

$$w_i = \frac{n_i}{\sigma_i^2} = \frac{1}{\sigma_{X_i}^2}$$

suy ra:

$$\sigma_{\bar{\bar{X}}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k w_i}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_{X_i}^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{\sigma_i^2}}}$$

Thường thì σ_i là trị số lẻ do đó w_i lẻ. Để dễ tính toán người ta nhân cả tử và mẫu số với k tùy ý để được trị số chẵn.

Ví dụ 3

Xác định kích thước mẫu trên hai phương tiện đo khác nhau được:

$$X_1 = 1,52 \pm 0,05 \text{ mm}$$

$$X_2 = 1,48 \pm 0,02 \text{ mm}$$

Tính kích thước mẫu:

$$X = \bar{\bar{X}} \pm \sigma_{\bar{\bar{X}}}$$

Trước hết cần tính w_i :

$$w_1 = \frac{1}{\sigma_1^2} = \frac{1}{0,05^2} = 400$$

$$w_2 = \frac{1}{\sigma_2^2} = \frac{1}{0,02^2} = 2500$$

$$w_1 : w_2 = 4 : 25$$

$$\bar{X} = \frac{w_1 \bar{X}_1 + w_2 \bar{X}_2}{w_1 + w_2} = \frac{4 \cdot 1,52 + 25 \cdot 1,48}{4 + 25} = 1,485$$

$$\sigma_X = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k w_i}} = \frac{1}{\sqrt{(94 + 25) \cdot 10^2}} = 0,018$$

Vậy kết quả đo sẽ là:

$$X = 1,485 \pm 0,018$$

Ví dụ 4

Ba nhóm thí nghiệm xác định trọng lượng mẫu được kết quả ghi trong cột 2, 3 bảng 3-4.

Bảng 3-4

Nhóm thí nghiệm	\bar{X}_i, g	σ_i, g	$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2}$	$w_i \bar{X}_i$
1	2	3	4	5
1	10,00	0,2	100	1000,0
2	10,20	0,5	16	163,2
3	9,90	0,4	25	247,5
Σ			141	1410,7

Để được w_i chuẩn, chọn $k = 2$, tính được cột 4 và 5. Ta tính kết quả đo tổng hợp:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^k w_i} = \frac{1410,7}{141} \approx 10,00 \text{ g}$$

$$\sigma_X = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k k^2 \sigma_i^2}} = 0,017 \text{ g}$$

Vậy:

$$X = \bar{X} \pm \sigma_X = 10,00 \pm 0,17 \text{ g}$$

2) *Tính toán các tham số đặc trưng trong trường hợp phân bố của các đại lượng thuần dương*

Các tính toán trên là dành cho trường hợp thông số nghiên cứu thuộc dạng giới hạn, tức là nó tuân theo luật phân bố đối xứng. Trong chế tạo máy, việc nghiên cứu quy luật của loại thông số dạng biên độ như sai số hình dáng, sai số vị trí tương đối của loạt sản phẩm là vấn đề rất quan trọng. Các thông số này có đặc điểm là luôn luôn dương hoặc bằng 0, gọi là các đại lượng thuần dương, có phân bố lệch gọi là phân bố Macxoen. Hàm mật độ có dạng:

$$f(R) = \frac{\pi}{2X_0^2} \cdot R \cdot e^{-\frac{\pi R^2}{4X_0^2}}$$

gọi là luật phân bố một tham số vì \bar{X}_0 và σ_R phụ thuộc lẫn nhau.

Khi đo, thông số được xác định trong một quá trình và có tính chất vectơ. Khi chiếu lên hệ tọa độ vuông góc x, y ta sẽ có:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma = \frac{\sigma_R}{0,655}$$

Khi đó:

$$\bar{X}_0 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma = 1,92\sigma_R$$

Phân bố sẽ có dạng:

$$f(R) = \frac{\pi}{2\sigma^2} \int_0^R R \cdot e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} dR$$

được biểu diễn như hình 3-3.

Trong đó:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}; \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

Với R_i là tham số đo và $X_0 = 1,92\sigma_R$.

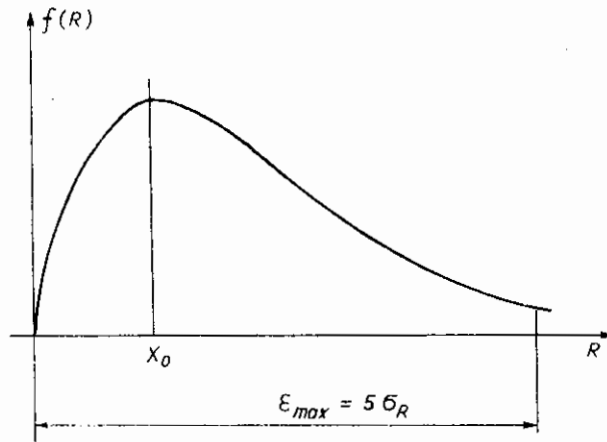
Miền phân tán của tham số gọi là $R = \epsilon$ phụ thuộc vào xác suất yêu cầu hay đúng hơn là độ tin cậy yêu cầu α .

Gọi t là tham số chuẩn hoá:

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

$$P_{(R < \varepsilon)} = \alpha = \int_0^t t \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} dt = F(t)$$

Trị số $F(t)$ là giá trị của tích phân Macxoen, ghi trong phụ lục.



Hình 3-3.

Ví dụ 5

Tính xác suất phế phẩm của sản phẩm do độ không đồng trục giữa hai mặt bậc của chi tiết khi biết sai lệch bình phương trung bình của độ không đồng trục là $\sigma_R = 11,2 \mu m$; độ đồng trục cho phép là $60 \mu m$.

$$\sigma = \frac{\sigma_R}{0,655} = \frac{11,2}{0,655} = 17,1$$

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{60}{17,1} = 3,51$$

$t = 3,51$ ứng với $F(t) = 0,9979$.

- Vậy xác suất phế phẩm sẽ là:

$$q = 1 - F(t) = 1 - 0,9979 = 0,002$$

hay phần trăm phế phẩm: $q = 0,2\%$.

- Độ không đồng trục trung bình sẽ là:

$$X_0 = 1,92\sigma_R = 1,92.11,2 = 21,50 \mu m$$

Trong kỹ thuật có thể chấp nhận $\varepsilon = 5\sigma$, tức là với $t = 5$ thì $\alpha = 99,99\% \approx 1$. Toàn bộ miền phân tán $\varepsilon = 5\sigma_R$. Vì thế tham số nghiên cứu sẽ có giá trị lớn nhất $R_{\max} = 5\sigma_R$.

- Vậy độ đồng trục lớn nhất:

$$R_{\max} = 5.11,2 = 56 \mu m$$

Vậy loại trục hầu như luôn luôn đạt yêu cầu.

3.3. SAI SỐ HỆ THỐNG - PHƯƠNG PHÁP KHỬ SAI SỐ HỆ THỐNG

Sai số hệ thống là loại sai số mà có thể dự đoán trước được nguyên nhân gây ra sai số, nắm trước được luật biến thiên, có trị số và dấu xác định trong mỗi điều kiện đo cụ thể. Do đặc điểm này, sai số hệ thống có thể dùng các biện pháp khác nhau để làm giảm đến mức tối thiểu hoặc khử hoàn toàn khỏi kết quả đo và vì vậy, trong các phép đo thông thường ở kết quả đo chỉ có ghi trị số giới hạn của sai số ngẫu nhiên mà không ghi thành phần sai số hệ thống.

Trong mỗi phép đo khó tránh khỏi có sai số hệ thống trong kết quả đo, đó là do những nguyên nhân không thể khắc phục hết được. Các tính toán để tìm kết quả đo và sai số đo ở mục 3.2 sẽ sai, nhiều khi là vô nghĩa nếu không loại trừ được thành phần sai số hệ thống vì thường sai số này có thể có trị số lớn hơn cả thông số độ chính xác tính được.

Do các nguyên nhân gây ra sai số, sai số hệ thống có thể có các quy luật biến thiên khác nhau và có thể chia làm hai nhóm: nhóm có trị số không đổi và nhóm có trị số biến đổi trong quá trình đo.

Sai số hệ thống có trị số không đổi là sai số có một trị số không đổi trong một điều kiện đo nhất định trong suốt miền đo. Chẳng hạn sai số điểm "0" của dụng cụ đo, sai số quả cân trong khi cân, sai số của mẫu điều chỉnh...

Sai số hệ thống có trị số biến đổi là sai số có các giá trị thay đổi trong phạm vi đo. Chẳng hạn sai số do những nguyên nhân như sai số tay đòn, sai số bước răng, bước ren trong cơ cấu truyền, do độ lệch tâm của các khâu quay... Tùy theo phạm vi đo, vị trí cơ cấu sẽ khác nhau và sai số vị trí do các nguyên nhân trên gây ra sẽ khác nhau.

Do đặc điểm của sai số hệ thống, ảnh hưởng của nó tới luật phân bố ngẫu nhiên cũng khác nhau.

Nếu gọi m_i là các giá trị đo có mang sai số hệ thống, x_i là các giá trị đo không còn sai số hệ thống, ta có:

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}; \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Với sai số loại không đối, ký hiệu là Δ , thì:

$$x_i = m_i + (-\Delta) = m_i - \Delta$$

có thể suy ra:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n m_i - n\Delta$$

chia cả hai vế cho n ta được:

$$\bar{X} = \bar{M} - \Delta$$

Gọi: v là sai số ngẫu nhiên khi phép đo không có sai số hệ thống thì:

$$v = x - \bar{X}$$

và v' là sai số ngẫu nhiên khi phép đo có sai số hệ thống thì:

$$v' = m - \bar{M}$$

nên:

$$v' = m - (\bar{X} + \Delta) = m - \Delta - \bar{X} = x - \bar{X} = v$$

Vậy:

$$v = v'$$

Có nghĩa là sai số hệ thống loại Δ không ảnh hưởng đến thành phần sai số ngẫu nhiên (thể hiện qua độ phân tán) mà chỉ ảnh hưởng tới tham số vị trí, tức là tâm phân bố dịch đi lượng Δ tùy theo dấu của nó.

Vậy nếu biết chắc kết quả đo có mang sai số loại Δ thì chỉ việc hiệu chỉnh một lần trong kết quả tính trị số trung bình, thành phần độ phân tán của kết quả đo không bị ảnh hưởng bởi Δ .

Với sai số hệ thống loại biến đổi, ký hiệu là θ_i , có trị số cố định tại một điểm đo:

$$x_i = m_i + (-\theta_i) = m_i - \theta_i$$

Lập tổng ta có:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n \theta_i$$

Chia cả hai vế cho n:

$$\bar{X} = \bar{M} - \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n}$$

Xét sai số ngẫu nhiên trước và sau khi hiệu chỉnh:

$$v_i = x_i - \bar{X}$$

$$v_i' = m_i - \bar{M} = x_i - \theta_i - \left(\bar{X} + \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n} \right) = x_i - \bar{X} + \left(\theta_i - \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n} \right)$$

$$v_i' = v_i + \left(\theta_i - \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n} \right) \neq v_i$$

Diễn giải này chứng tỏ sai số ngẫu nhiên tính trước và sau khi hiệu chỉnh sẽ khác nhau. Sai số ngẫu nhiên tính từ các kết quả đo mang sai số hệ thống sẽ phụ thuộc vào bản thân độ lớn và dấu của θ_i cũng như luật biến thiên của nó. Luật biến thiên này rất phức tạp, nó phụ thuộc vào nguyên nhân trực tiếp gây ra sai số hệ thống.

Bởi vậy nếu biết chắc kết quả đo mang sai số hệ thống loại thay đổi thì bắt buộc phải hiệu chỉnh tập số liệu đo m_i thành tập x_i trước khi tính toán kết quả đo.

Phương pháp khử sai số hệ thống tùy thuộc vào đặc điểm riêng của sai số:

a) Phương pháp hiệu chỉnh

Dùng khi biết rõ trị số và dấu của sai số tại miền đo xác định. Khi hiệu chỉnh cần cộng với giá trị đo một lượng bù (có trị số bằng nhau và trái dấu) của sai số hệ thống tại miền đo tương ứng.

Phương pháp này thường dùng để khắc phục sai số hệ thống do sai số chế tạo, lắp ráp và điều chỉnh gây ra. Thường trị số sai số và dấu của nó đã được ghi trong phiếu kiểm định xuất xưởng của dụng cụ đo.

b) Phương pháp so sánh với mẫu

Phương pháp này được dùng khi đo so sánh: đại lượng đo được đem so sánh với đại lượng mẫu cố cùng kích thước nhưng cố độ chính xác cao hơn. Kết quả đo cho ta sai lệch tuyệt đối giữa kích thước đo và kích thước mẫu. Như vậy trong cùng điều kiện đo, mọi yếu tố ảnh hưởng tới kích thước đo và kích thước mẫu là như nhau, do đó trong kết quả cuối cùng sai số được khử. Với phương pháp này các sai số do vị trí cơ cấu, do điều kiện đo... sẽ được khử hết.

c) Phương pháp bù (phương pháp bồi thường)

Do phân tích được nguyên nhân gây ra sai số, nắm được quy luật biến thiên của nó ta có thể tạo ra quy trình đo, sử dụng các thủ thuật đo để sao cho sai số do được xuất hiện với dấu trái nhau trong các lần đo và do đó trong kết quả cuối cùng sai số hệ thống sẽ được loại trừ.

Có các phương pháp bù khác nhau theo nguyên nhân và theo quy luật xuất hiện của sai số:

- Bù theo dấu của sai số: là phương pháp bù dựa vào phương tác dụng của sai số để có thủ thuật đo thích hợp. Ví dụ phương pháp đo ren mô tả ở hình 2-34 để khử sai số do độ không song song của phương đo với trục tâm ren.

- Bù theo nguyên nhân gây sai số: khi biết nguyên nhân gây sai số, chẳng hạn do đặc tính phi tuyến của cơ cấu có thể thiết kế đưa vào các khâu bù sai số nhằm làm tuyến tính hoá đường đặc tính của chuyển đổi như dùng khâu bù có đặc tính ngược như sin - sin ngược, tang - tang ngược, sin - tang... hoặc dùng các chuyển đổi dạng vi sai.

- Phương pháp nửa chu kỳ: thường dùng với các sai số có chu kỳ bằng cách tìm đặt điểm quan sát dọc số thích hợp để trong kết quả tính toán các sai số chu kỳ sẽ khử nhau.

Chẳng hạn sai số chu kỳ có luật:

$$\theta = A \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \psi$$

Tại vị trí quan sát thứ nhất:

$$\theta_0 = A \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \psi_0$$

Tại vị trí quan sát thứ hai sau τ :

$$\theta_\tau = A \sin \frac{2\pi}{T} \cdot (\psi_0 + \tau)$$

Sao cho có:

$$\theta_{\tau} = -\theta_0 = -A \sin \frac{2\pi}{T} \psi_0$$

để có $\pi_0 + \theta_{\tau} = 0$.

Suy ra:

$$\theta_{\tau} = -A \sin \frac{2\pi}{T} \psi_0 = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \psi_0 - \pi \right)$$

Giải ra:

$$\tau = \frac{T}{2}$$

Vậy nếu đặt hai điểm quan sát cách nhau nửa chu kỳ thì kết quả đo lấy từ giá trị trung bình của tổng hai giá trị quan sát sẽ loại được thành phần sai số hệ thống có chu kỳ T.

Ví dụ: Trong hệ thống đo góc, để tránh sai số đo do độ lệch tâm của bảng chia với tâm quay kim chỉ thị, người ta bố trí hai cơ cấu đọc số lệch nhau 180° để loại sai số chu kỳ phạm phải do độ lệch tâm trên gây ra.

3.4. SAI SỐ THÔ - CÁC CHỈ TIÊU LOẠI SAI SỐ THÔ

Trong bảng số liệu đo thực nghiệm, đôi khi ta gặp phải các giá trị đo sai khác quá lớn so với các giá trị đo khác, người ta gọi là giá trị bất thường hay giá trị nhảy. Nếu giá trị nhảy này không nằm trong quy luật phân bố của sai số thì phải loại nó khỏi bảng số liệu tính nếu không nó sẽ làm kết quả đo sai. Sai số đo trong trường hợp này gọi là sai số thô. Sai số thô xuất hiện do nhiều nguyên nhân, chẳng hạn: đọc nhầm, ghi nhầm, do các đột xuất trong điều kiện đo như kẹt cơ cấu, điện áp tăng giảm đột ngột, mất điện...

Việc có loại hay không số liệu có mang sai số thô ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của kết quả đo. Vì vậy ta gọi giá trị nhảy là giá trị nghi ngờ và phải có biện pháp kiểm tra sự nghi ngờ này. Người ta đưa ra các chỉ tiêu khác nhau tùy theo yêu cầu về độ tin cậy của việc đánh giá để loại bỏ các số liệu nghi ngờ có mang sai số thô.

1. Chỉ tiêu 3σ

Trong loạt số liệu đo $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n$, nếu x_k là số liệu nghi ngờ, với sai lệch giới hạn cho trước $\varepsilon = 3\sigma$, xác suất làm cho sai lệch $v_k = x_k - \bar{X} > \varepsilon$ là:

$$P(|x_k - \bar{X}| > 3\sigma) = 0,27\%$$

là không đáng kể, hầu như chắc chắn x_k không nằm trong quy luật phân bố của sai số. Như vậy các giá trị x_k có $v_k > \varepsilon = 3\sigma$ đều bị loại khỏi bảng số liệu với độ tin cậy là 99,73%.

Phương pháp tiến hành kiểm tra số liệu theo chỉ tiêu 3σ

Tam bỏ x_k ra khỏi bảng số liệu, tính \bar{X} và σ với số liệu còn lại. Chẳng hạn nếu ta nghi ngờ số liệu x_k trong tập số liệu đo thì:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_i}{n-1}; \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{X})^2}{n-2}}$$

Tính:

$$\varepsilon = 3\sigma \quad \text{và} \quad v_k = x_k - \bar{X}$$

So sánh v_k với ε : nếu $v_k > \varepsilon$ thì v_k là sai số thô, x_k bị loại bỏ. Nếu $v_k < \varepsilon$ thì v_k là sai số thông thường, x_k không mang sai số thô và phải đưa lại vào tập số liệu để tính lại \bar{X} và σ_X với cả n số liệu.

2. Chỉ tiêu Sovinô

Tương tự như trên, nếu ta qui định một sai lệch giới hạn cho phép $\varepsilon = z\sigma$ thì khi x_k có mang sai số nếu có $v_k = x_k - \bar{X} > z\sigma$, xác suất xuất hiện x_k ngoài phạm vi cho phép sẽ là β với:

$$\beta = 1 - 2\Phi(z) = \frac{k}{n}$$

Với:

$\alpha = 2\Phi(z)$ là xác suất để x xuất hiện trong phạm vi cho phép;

$$\pm \varepsilon = \pm z\sigma;$$

k/n nhỏ tùy ý quy định.

Thường số lần đo $n \geq 20$, chọn $k = 1/2$ thì coi xác suất $\frac{k}{n} = \frac{1}{2n} = 0$.

Thông thường người ta qui định $\beta = \frac{k}{n}$ theo yêu cầu về độ tin cậy của phép đo, chính là $\alpha = 2\Phi(z)$, từ đó suy ra số lần đo cần thiết n để đảm bảo độ chính xác của phép đo.

Sôvinô lập ra bảng quan hệ giữa khoảng tin cậy $\epsilon = z\alpha$ với số lần đo n trong bảng 3-5 làm chỉ tiêu loại số liệu mang sai số thô.

Phương pháp kiểm tra sai số thô theo chỉ tiêu Sôvinô: tiến hành tạm tính \bar{X} và σ với tập số liệu còn lại; tính $v_k = x_k - \bar{X}$. Dựa vào số lần đo còn lại $n = n_1$ tra bảng ứng với dòng có $n = n_1$ xác định được trị số z tiêu chuẩn. So sánh z_k với z . Nếu $z_k > z$ thì số liệu x_k có mang sai số thô và cần được loại bỏ khỏi bảng số liệu.

Bảng 3-5
Bảng chỉ tiêu Sôvinô

n	$z = \frac{\epsilon}{\sigma}$	n	$z = \frac{\epsilon}{\sigma}$
5	1,68	20	2,24
6	1,73	22	2,28
7	1,79	24	2,31
8	1,86	26	2,35
9	1,92	30	2,39
10	1,96	40	2,50
12	2,03	50	2,58
14	2,10	100	2,80
16	2,16	200	3,02
18	2,20	500	2,29

Ví dụ: Khi đo 10 mẫu thử được các kích thước:

20,11 20,12 20,13 20,14 20,15
20,16 20,17 20,18 20,19 20,21

Tạm bỏ số liệu 20,21, tính được:

$$\bar{X} = 20,15;$$

$$\sigma = 0,027;$$

$$v_k = 20,21 - 20,15 = 0,06$$

$$z_k = \frac{v_k}{\sigma_x} = 2,22.$$

Tra bảng Sôvinô với $n = 9$, $z = 1,92$. Ta thấy $z_k > z$ vậy v_k là sai số thô, do đó x_k cần loại khỏi bảng số liệu.

3. Chỉ tiêu Rômanôpxki

Hai chỉ tiêu loại sai số thô trên chỉ chính xác khi số lần đo lớn. Với số lần đo nhỏ, tham số độ phân tán thực nghiệm không đủ độ chính xác khi đại diện cho độ

phân tán chung nên không thể dùng hai chỉ tiêu trên. Trong trường hợp này người ta dùng hàm mật độ Student $f = S(t, k)$ để mô tả phân bố của biến ngẫu nhiên có dung lượng bé.

Giả sử ta có $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n$.

Nếu x_k là số liệu nghi ngờ, tạm bỏ x_k và tính:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_i}{n-1}; \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{X})^2}{n-2}}$$

Rồi khảo sát sai lệch $v_k = x_k - \bar{X}$. Khi chuẩn hoá thành tham số phân bố Student, có:

$$t = \frac{x_k - \bar{X}}{\sigma_X} = \frac{v_k}{\sigma_X}$$

$$v_k = \Delta x_k = x_k - \bar{X}$$

$$D(v_k) = D(\Delta x_k) = D(x_k) + D(\bar{X})$$

Do đó ta có:

$$\sigma_X^2 = \sigma_x^2 + \frac{\sigma_x^2}{n}$$

Suy ra:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{n-1}{n}} \cdot \sigma_x$$

Trị số t là một tham số của hàm phân phối Student $S(t, k)$, với $k = n - 1$ gọi là số bậc tự do của phân phối. Dùng tích phân hàm $S(t, k)$ có thể tính được xác suất làm xuất hiện v_k là sai số tho nếu qui định phạm vi sai lệch giới hạn cho phép:

$$\pm \varepsilon_\beta = \pm t_\beta \sigma_X$$

$$P(|x_k - \bar{X}| \geq \varepsilon_\beta) = 1 - 2\Phi(t, k) = \beta$$

Vậy:

$$\beta = P(|x_k - \bar{X}| \geq \varepsilon_\beta) = 1 - 2 \int_0^{t_\beta} S(t, k) dt$$

Nếu ta ký hiệu:

$$t = \frac{v_k}{\sigma_X}; \quad t_\beta = \frac{\varepsilon_\beta}{\sigma_X}; \quad t'_\beta = \frac{\varepsilon_\beta}{\sigma_x}$$

Suy ra t'_β để tránh phải tính $\sigma_{\bar{x}}$, khi đó:

$$t'_\beta = t_\beta \sqrt{\frac{n+1}{n}}$$

suy ra:

$$t_\beta = t'_\beta \cdot \sigma_{\bar{x}} = t'_\beta \cdot \sigma_x$$

và:
$$\beta = P\left(|x_k - \bar{X}| \geq \epsilon_\beta\right) = 2 \int_{t'_\beta}^{+\infty} S(t_1, k) dt$$

Nghĩa là có thể xác định được phạm vi $\pm \epsilon_\beta$ để v_k là sai số thô ứng với số lần đo n và xác suất loại bỏ cho trước β .

Bảng 3-6

Giá trị t'_β

n \ β	β				n \ β	β			
	0,05	0,02	0,01	0,001		0,05	0,02	0,01	0,001
2	15,561	38,973	77,964	779,696	19	2,156	2,618	2,953	4,024
3	4,969	8,042	11,460	36,486	20	2,145	2,602	2,932	3,970
4	3,558	5,077	6,530	14,468	21	2,135	2,587	2,912	3,941
5	3,041	4,105	5,043	6,530	22	2,127	2,575	2,895	3,905
6	2,777	3,635	4,355	4,355	23	2,119	2,562	2,880	3,874
7	2,616	3,360	3,963	3,963	24	2,112	2,552	2,865	3,845
8	2,508	3,180	3,711	3,711	25	2,105	2,541	2,852	3,819
9	2,431	3,053	3,536	3,536	26	2,099	2,532	2,840	3,796
10	2,372	2,959	3,409	3,409	27	2,094	2,524	2,830	3,775
11	2,327	2,887	3,310	3,310	28	2,088	2,517	2,820	3,755
12	2,291	2,829	3,233	3,233	29	2,083	2,509	2,810	3,737
12	2,261	2,782	3,170	3,170	30	2,079	2,503	2,802	3,719
14	2,236	2,743	3,118	3,118	40	2,048	2,456	2,742	3,602
15	2,215	2,710	3,075	3,075	60	2,018	2,411	2,683	3,402
16	2,197	2,683	3,038	3,038	120	1,988	2,368	2,628	3,388
17	2,181	2,658	3,006	3,006	÷	1,960	2,326	2,576	3,291
18	2,168	2,637	2,997	2,997					

Ví dụ 6

Đo một loạt đo $n = 10$ được các sai lệch kích thước như sau:

$$\Delta x_i : 0,030; 0,029; 0,052; 0,031; 0,035; \\ 0,032; 0,034; 0,033; 0,028; 0,029 \text{ mm}$$

cho xác suất ngoài phạm vi cho phép là $\beta = 0,001$. Tính sai lệch cho phép ε_p để:

$$P(|x_k - \bar{X}| \geq \varepsilon_\beta) = \beta = 0,001.$$

Giải

Thấy số liệu $\Delta x_i = 0,52$ là đáng nghi ngờ, tạm bỏ trong khi tính ΔX và σ :

Chọn $\Delta X' = 0,030 \text{ mm} = 30 \mu\text{m}$.

Khi đó có $v'_i = 0; -1; +1; +5; +2; +4; +3; -2; -1 \mu\text{m}$

$$\Delta X = \Delta X' + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} v'_i}{n-1} = 30 + \frac{11}{9} = 31,2 \mu\text{m} \approx 31 \mu\text{m}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (\Delta x_i - \Delta X)^2}{n-2}} = 2,5 \mu\text{m}$$

Do số liệu thứ ba $\Delta x_3 = 52 \mu\text{m}$ có:

$$v_3 = \Delta x_3 - \Delta X = 52 - 31,2 = 20,8 \mu\text{m}$$

ứng với $n = 9$, $\beta = 0,001$ tra bảng 3-6 được $t'_\beta = 5,314$.

Do đó:

$$\varepsilon_p = t'_\beta \cdot \sigma = 5,314 \cdot 2,5 = 13,28 \mu\text{m} \approx 13 \mu\text{m}$$

Nhận thấy $v_3 = 20,8 \mu\text{m} > \varepsilon_p$ nên v_3 là sai số thô, Δx_3 cần được loại bỏ. Ta có:

$$P(|\Delta x_i - 0,031| \geq 0,013) = 0,001$$

3.5. XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO GIÁN TIẾP

Phương pháp đo gián tiếp trong thực tế thường gặp nhiều hơn. Phương trình biểu diễn quan hệ giữa đại lượng cần đo y và các đại lượng được đo trực tiếp x_1, x_2, \dots, x_m là:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

Vấn đề đặt ra là các giá trị x_i là các đại lượng đo trực tiếp, như phần 3.2 đã trình bày, x_i được biểu diễn qua X_i và ΔX_i là sai số của chúng, được đo qua độ đo σ_i . Độ lớn của ΔX_i phụ thuộc vào độ chính xác khi đo cũng như số lần đo. Vấn đề cần giải quyết là mối quan hệ giữa X_i , ΔX_i và các tham số phân bố của đại lượng đo gián tiếp Y và σ_Y .

3.5.1. Bài toán thuận

Nội dung của bài toán thuận: Với kết quả đo trực tiếp, ta có X_1, X_2, \dots, X_m và độ chính xác tương ứng do $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$. Hãy xác định kết quả đo gián tiếp Y và σ_Y .

Cơ sở để giải quyết bài toán này là công thức Taylo tính sai số của hàm số theo sai số của đối số:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

$$\Delta y = f(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m) = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_m} \Delta x_m = \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i$$

Giả sử mỗi đại lượng x_i được đo n lần ta sẽ có:

$$y_j = y + \Delta y_j \quad \text{với } j = 1 : n$$

Vậy:

$$y_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_{i1}$$

$$y_2 = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_{i2}$$

+

$$y_j = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_{ij}$$

+

$$y_n = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_{in}$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \cdot n + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_{ij}$$

Có thể hoán vị phép cộng:

$$\sum_{j=1}^n y_j = n.f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \sum_{j=1}^n \Delta x_{ij}$$

Chia cả hai vế cho n:

$$\frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n} = \bar{y} ; \quad \frac{\sum_{j=1}^n \Delta x_{ij}}{n} = \lambda_{xi}$$

Ta có:

$$\bar{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \lambda_{xi}$$

hay:

$$\bar{y} = f(x_1 + \lambda_{x1}, x_2 + \lambda_{x2}, \dots, x_m + \lambda_{xm})$$

Trong đó λ_{xi} là sai số trung bình và:

$$\lambda_{xi} = \bar{X}_i - x_i \rightarrow x_i + \lambda_{xi} = \bar{X}_i$$

Do đó ta có:

$$\bar{y} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m)$$

Nghĩa là muốn tính giá trị trung bình của giá trị đo gián tiếp ta chỉ việc thay giá trị trung bình của các đại lượng đo trực tiếp vào phương trình quan hệ giữa chúng với nhau.

Để tính toán độ chính xác của đại lượng đo gián tiếp ta xuất phát từ công thức tính sai số hàm:

$$\Delta y_j = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_{1j} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_{2j} + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_m} \Delta x_{mj} \quad (*)$$

Với:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \lambda y_j^2}{n-1}}$$

Ta bình phương hai vế (*) rồi lập tổng với $\sum \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_k} \Delta x_i \Delta x_k = 0$ theo tính chất

3 của sai số với $i \neq k$. Ta được:

$$\sum_{j=1}^n \Delta y_j^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \sum_{j=1}^n \Delta x_{1j}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \sum_{j=1}^n \Delta x_{2j}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_m} \right)^2 \sum_{j=1}^n \Delta x_{mj}^2$$

Chia cả hai vế cho $n - 1$ ta có:

$$\frac{\sum_{j=1}^n \Delta y_j^2}{n-1} = \sigma_Y^2; \quad \frac{\sum_{j=1}^n \Delta x_{ij}^2}{n-1} = \sigma_{X_i}^2$$

Cuối cùng ta có:

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \sigma_{X_1} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_m} \sigma_{X_m} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{X_i} \right)^2}$$

Ví dụ 7

Người ta đo khoảng cách tâm hai lỗ như hình 1-2.

$$L_0 = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (1)$$

hoặc:

$$L_0 = L_1 + \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (2)$$

Đo được:

$$L_1 = 45 \pm 0,02; \quad D_1 = 30 \pm 0,02;$$

$$L_2 = 115 \pm 0,02; \quad D_2 = 40 \pm 0,02$$

- Theo phương án (1) ta có:

$$L_0 = \frac{45 + 115}{2} = 80 \text{ mm}$$

Đây là chuỗi kích thước thẳng nên $\frac{\partial f}{\partial x_i} = 1$.

Ta có:

$$\varepsilon_{1,0} = \sqrt{\varepsilon_{1,1}^2 + \varepsilon_{1,2}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,02^2} \approx 0,03 \text{ mm}$$

Do đó kết quả đo là:

$$L_0 = 80 \pm 0,03 \text{ mm}$$

- Theo phương án (2) ta có:

$$L_0 = 45 + \frac{45 + 115}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{1,0} = \sqrt{\varepsilon_{L1}^2 + \varepsilon_{D1}^2 + \varepsilon_{D2}^2} = \sqrt{0,02^2 + 2 \cdot 0,02^2} = 0,035 \text{ mm}$$

Do đó kết quả đo là:

$$L_0 = 80 \pm 0,035 \text{ mm}$$

So sánh kết quả đo có thể thấy với cùng độ chính xác khi đo các kích thước, chuỗi kích thước (1) ngắn hơn (2) nên đạt độ chính xác cao hơn.

3.5.2. Bài toán nghịch

Nội dung bài toán: Với độ chính xác yêu cầu trước của đại lượng đo gián tiếp, xác định độ chính xác cần thiết của các đại lượng đo trực tiếp để đảm bảo yêu cầu của đại lượng đo. Sau đó tiến hành chọn dụng cụ đo hợp lý thoả mãn độ chính xác yêu cầu của phép đo.

Xuất phát từ quan hệ của đại lượng cần đo y và các đại lượng đo trực tiếp x_i , ta có:

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2} \quad (*)$$

Trong đó σ_Y là chỉ tiêu độ chính xác yêu cầu, cho trước. Cần xác định các chỉ tiêu σ_{x_i} của các đại lượng đo trực tiếp. Ta chỉ có một phương trình quan hệ mà số ẩn cần xác định là $m > 1$, do vậy bài toán không giải được.

Cơ sở để giải quyết bài toán này là giả thiết về sự cân bằng tác dụng: ảnh hưởng của độ chính xác các đại lượng đo trực tiếp đến độ chính xác đại lượng đo gián tiếp như nhau, nghĩa là:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} \sigma_{x1} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \sigma_{x2} = \dots = \frac{\partial f}{\partial x_m} \sigma_{x_m} = S$$

Như vậy thông số nào có hệ số ảnh hưởng lớn thì cần đo với độ chính xác cao hơn. Từ đó ta có thể thay vào (*):

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2} = \sqrt{mS^2}$$

Do đó:
$$S = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{m}}$$

Và giải được:

$$\sigma_{x_i} = \frac{S}{\frac{\partial f}{\partial x_i}} = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{m} \frac{\partial f}{\partial x_i}} \quad (**)$$

Chú ý

1. Kết quả của bài toán có thể cho ta các trị số σ_{x_i} rất khác nhau làm cho việc chọn dụng cụ đo sẽ phức tạp về cả số lượng và độ chính xác. Bởi vậy sau khi giải nếu thấy có điều gì bất hợp lý ta có thể điều chỉnh lại để sao cho số dụng cụ đo chọn dùng là ít nhất, độ chính xác của dụng cụ là thông dụng, dễ kiểm. Điều này là hoàn toàn có thể và hợp lý vì sự cân bằng tác dụng chỉ là một giả thiết giúp ta giải quyết sơ bộ bài toán.

Trong đo lường phần lớn các quan hệ đo gián tiếp có quan hệ phi tuyến vì thế việc tính hệ số ảnh hưởng $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ phức tạp dễ gây ra nhầm lẫn. Để giải quyết khó khăn này người ta chuyển sang tính sai số tương đối của các đại lượng, nhờ đó việc tính toán trở nên rất đơn giản, chẳng hạn có quan hệ:

$$y = \frac{a^m b^n}{c^p}$$

Ta có:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \frac{ma^{m-1} \cdot b^n}{c^p}; \quad \frac{\partial f}{\partial b} = \frac{na^m \cdot b^{n-1}}{c^p}; \quad \frac{\partial f}{\partial c} = \frac{pa^m \cdot b^n \cdot c^{p-1}}{c^{2p}}$$

Nếu chia cả hai vế cho y ta có:

$$\frac{\hat{y}}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\sigma_{x_i}}{y} \right)^2}$$

Ta sẽ có:

$$\frac{\frac{\partial f}{\partial a}}{y} = \frac{m}{a}; \quad \frac{\frac{\partial f}{\partial b}}{y} = \frac{n}{b}; \quad \frac{\frac{\partial f}{\partial c}}{y} = -\frac{p}{c};$$

rất đơn giản cho tính toán.

3. Để đơn giản và chắc chắn, khi tính sai số người ta tính sai số giới hạn:

$$\sigma_Y = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \sigma_{X_i} \right| = mS \quad \text{với} \quad S = \frac{\partial f}{\partial X_1} \sigma_{X_1}$$

Suy ra:

$$\sigma_{X_1} = \frac{\sigma_Y}{m \left| \frac{\partial f}{\partial X_1} \right|} \quad (***)$$

Việc giải theo (***) cho kết quả tính nhỏ hơn (***) do đó độ chính xác dụng cụ đo chọn sẽ cao hơn.

Ví dụ 8

Trở lại ví dụ 7, nếu yêu cầu trước về độ chính xác dụng cụ đo $L_{1,2}$, chẳng hạn $\varepsilon_{1,2} = 0,02 \text{ mm}$. Chọn độ chính xác dụng cụ đo để đo L_1, L_2 sao cho đảm bảo $\varepsilon_{1,2}$ đạt yêu cầu.

Giải

Đây là chuỗi thẳng, $\frac{\partial f}{\partial L_1} = -1$. Áp dụng công thức (**):

$$\varepsilon_{1,1} = \varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,0}}{\sqrt{2,1}} = \frac{0,02}{\sqrt{2}} = 0,015$$

Để đo L_1, L_2 với $\varepsilon_{1,2} = 0,015$, cần thiết chọn dụng cụ đo có giá trị chia $\varepsilon = \varepsilon_{1,2}$ và chọn được dụng cụ đo có giá trị chia $0,01 \text{ mm}$.

Ví dụ 9

Đo tỷ trọng vật liệu với sai số cho trước $\delta < 1\%$. Dùng mẫu trụ. Quan hệ:

$$D = \frac{4P}{d^2 \cdot h}$$

với :

D - tỷ trọng vật liệu	đo được
P - trọng lượng mẫu	250 g
d - đường kính mẫu	15 mm
h - chiều cao mẫu	80 mm

Xác định sai số của các đại lượng đo trực tiếp và độ chính xác của dụng cụ đo theo công thức (**).

Giải

Do đây là quan hệ phi tuyến nên ta lấy sai số tương đối:

$$\frac{\varepsilon_D}{D} = \frac{\varepsilon_P}{P} + 2 \frac{\varepsilon_d}{d} + \frac{\varepsilon_h}{h} \leq 1\%$$

Giả thiết 3 yếu tố đo là cân bằng tác dụng, ta có:

$$\frac{\varepsilon_P}{P} = 2 \frac{\varepsilon_d}{d} = \frac{\varepsilon_h}{h} = \frac{1}{3} \times 1\% = 0,33\%$$

Giải ra:

$$\frac{\varepsilon_P}{P} \leq 0,33\% ; \quad \frac{\varepsilon_d}{d} \leq 0,16\% ; \quad \frac{\varepsilon_h}{h} \leq 0,33\% ;$$

Do đó sai số tuyệt đối của các thành phần là:

$$\varepsilon_P = 0,33\% \times 250 \text{ g} = 0,8 \text{ g}$$

$$\varepsilon_d = 0,16\% \times 15 \text{ mm} = 0,024 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_h = 0,33\% \times 80 \text{ mm} = 0,26 \text{ mm}$$

Nhìn vào kết quả tính ta thấy sai số bằng 0,8 g là quá lớn, cân dễ dàng đạt sai số 0,1 g; sai số đo độ dài h bằng 0,26 mm là quá thô so với dụng cụ đo dài, trong khi sai số đo d là khá khắt khe. Vì vậy, có thể điều chỉnh lại như sau:

$$\frac{\varepsilon_P}{P} \leq 0,11\% ; \quad \frac{\varepsilon_d}{d} \leq 0,4\% ; \quad \frac{\varepsilon_h}{h} \leq 0,1\% ;$$

để đảm bảo:

$$\frac{\varepsilon_P}{P} + 2 \frac{\varepsilon_d}{d} + \frac{\varepsilon_h}{h} \leq 1\%$$

Giải ra ta được:

$$\varepsilon_P = 0,25 \text{ g}$$

$$\varepsilon_d = 0,06 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_h = 0,08 \text{ mm}$$

Như thế có thể chọn cân thiên bình có giá trị chia 0,1 g để cân và thước cặp 0,02 mm để đo độ dài d và h.

3.6. ĐỘ CHÍNH XÁC VÀ ĐỘ TIN CẬY CỦA KẾT QUẢ ĐO

Khi nói về kết quả đo bao giờ người ta cũng đòi hỏi về độ chính xác của nó. Độ chính xác của kết quả đo phụ thuộc vào sai số của phép đo hay độ phân tán của kết quả đo quanh giá trị trung bình của nó. Sai số của phép đo ε thường được biểu diễn qua sai số tiêu chuẩn σ . Ứng với mỗi vùng phân tán kích thước, tức là với mỗi phạm vi sai số ta có thể nói được độ tin cậy của kết quả đo là bao nhiêu.

Độ tin cậy của số liệu đo được đánh giá bằng xác suất xuất hiện của số liệu trong vùng phân tán của kích thước. Vùng phân tán của kích thước được gọi là khoảng tin cậy $[-\varepsilon, +\varepsilon]$; bán thân ε được gọi là bán kính tin cậy, thể hiện độ chính xác của phép đo, gọi tắt là độ chính xác của kết quả đo hay sai số đo.

Rõ ràng độ tin cậy và độ chính xác khi đo là hai khái niệm có liên quan chặt chẽ và cũng dùng để nói về mức độ chính xác của phép đo. Mỗi kết quả đo khi biểu diễn đều cần biểu diễn đầy đủ cả độ chính xác và độ tin cậy thì mới có ý nghĩa sử dụng.

Trong phần này ta chỉ bàn đến các phép đo dùng đo các đại lượng cơ định, tức là thông số đo không thay đổi theo thời gian. Vì vậy, kết quả tính \bar{X} , σ , độ tin cậy α là các con số cụ thể.

3.6.1. Khi đo trực tiếp các đại lượng trong cùng điều kiện đo

Khi đo, do các sai số đo ε mà $x \neq Q$, cũng như $X \neq Q$, có thể nói $x \approx Q$. Nếu sai số đo càng nhỏ thì sự gần đúng của x với Q càng tăng.

Nếu xác định được vùng lân cận $x[x - \varepsilon, x + \varepsilon]$, ta có thể nói được khả năng xuất hiện giá trị đúng Q trong lân cận này. Độ chính là độ tin cậy α của công thức biểu diễn kết quả đo:

$$Q = x \pm \varepsilon$$

$[-\varepsilon, +\varepsilon]$ là khoảng tin cậy của công thức biểu diễn.

hay:

$$\alpha = P\{x - \varepsilon < X < x + \varepsilon\} = \int_{x-\varepsilon}^{x+\varepsilon} f(x) dx$$

Trong đó n khá lớn, σ tuân theo phân phối chuẩn thì

$$\alpha = 2 \int_0^z \varphi(z) dz = 2\Phi(z)$$

với $z = \frac{\varepsilon}{\sigma}$; và $\Phi(z)$ là giá trị tích phân Laplas. Với cùng phép đo, nếu mở rộng khoảng tin cậy $[-\varepsilon, +\varepsilon]$ thì z tăng. Bảng 3-7 cho trong một số trường hợp đặc biệt, các trường hợp khác tính toán theo bảng của phụ lục.

Bảng 3-7

$z = \varepsilon/\sigma$	3	2,5	2	1,5	1	0,674	0,5
$\sigma\%$	99,73	98,76	95,41	86,44	68,26	50,00	38,30

Nhận thấy rằng với $\varepsilon \leq 2\sigma$ độ tin cậy kém. Với $\varepsilon = 3\sigma$, $\alpha = 99,73\%$.

Trong kỹ thuật có thể coi là $\alpha \approx 100\%$, vì vậy thường người ta biểu diễn kết quả đo theo công thức:

$$Q = x \pm 3\sigma$$

Khi đó coi như đã giảm hiệu độ tin cậy $\alpha \approx 100\%$.

Với giá trị \bar{X} , độ tin cậy của số liệu càng tăng nhờ $\sigma_X = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ sẽ nhỏ đi, làm

$z = \frac{\varepsilon}{\sigma_X}$ sẽ tăng và $\Phi(z)$ tăng làm $\alpha = 2\Phi(z)$ tăng.

$$Q = \bar{X} \pm \varepsilon$$

$$\alpha = P(\bar{X} - \varepsilon \leq Q \leq \bar{X} + \varepsilon) = 2 \int_0^z \varphi(z) dz$$

2) Với n nhỏ ($n < 20$), khả năng đại diện của σ tính cho cả phân bố sẽ kém chính xác, ta phải tính độ tin cậy của công thức biểu diễn qua hàm phân bố Student với tham số của phân bố là:

$$t = \frac{\bar{X} - Q}{\sigma_X} = -\frac{\varepsilon}{\sigma_X}$$

Từ bất đẳng thức đánh giá độ tin cậy ta có:

$$P(\bar{X} - \varepsilon \leq Q \leq \bar{X} + \varepsilon) = P(-\varepsilon \leq v \leq +\varepsilon) = \alpha$$

hay:

$$P\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma_X} \leq \frac{\bar{X}-Q}{\sigma_X} \leq \frac{\varepsilon}{\sigma_X}\right) = \alpha$$

Xác suất để cho $t = \frac{\bar{X}-Q}{\sigma_X}$ nằm trong lân cận $\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma_X}, +\frac{\varepsilon}{\sigma_X}\right)$ với $t_{\alpha} = \frac{\varepsilon}{\sigma_X}$ ta có:

$$\alpha = P\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma_X} \leq \frac{\bar{X}-Q}{\sigma_X} \leq +\frac{\varepsilon}{\sigma_X}\right) = 2 \int_0^{t_{\alpha}} S(t, k) dt = 2\Phi(z)$$

Trong đó $k = n - 1$; $\Phi(t)$: giá trị của tích phân Student.

Ví dụ 10

Để đánh giá độ chính xác của cơ cấu điều chỉnh máy người ta cắt thử 14 chi tiết Ø9. Khi đo các chi tiết cắt thử được loạt số liệu sau:

9,11	9,15	9,14	9,13	9,16	9,17	9,12
9,10	9,18	9,15	9,12	9,13	9,16	9,14

Với độ tin cậy $\alpha = 95\%$.

Giải

Kích thước trung bình: tâm phân bố của kích thước điều chỉnh:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{X}' + \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = 9 + \frac{196}{14} \cdot 10^{-2} = 9,14$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{70}{14-1} \cdot 10^{-4}} = 0,023 \text{ mm}$$

Với $n = 14$ có $k = n - 1 = 13$. Tra bảng được $t_{\alpha} = 2,160$; $\alpha = 95\%$.

Vậy:

$$\varepsilon_{\alpha} = t_{\alpha} \cdot \sigma_X = 2,16 \cdot 0,023 = 0,05 \text{ mm}$$

Công thức biểu diễn kết quả đo:

$$X = \bar{X} \pm \varepsilon = 9,14 \pm 0,05 \text{ mm}$$

Độ tin cậy của công thức biểu diễn:

$$\alpha = P(9,14 - 0,05 \leq \bar{X} \leq 9,14 + 0,05) = P(9,09 \leq \bar{X} \leq 9,19) = 95\%$$

Như thế có nghĩa là với độ tin cậy là 95% độ chính xác điều chỉnh đạt $\pm 0,05$, kích thước nhỏ nhất $x_{\min} = 9,09 \text{ mm}$; kích thước lớn nhất $x_{\max} = 9,19 \text{ mm}$.

Lượng dịch tâm điều chỉnh so với kích thước yêu cầu:

$$\Delta = \bar{X}' - X_n = +0,14.$$

Ví dụ 11

Đánh giá độ chính xác của công thức gần đúng $\bar{X} \approx Q$, với $\alpha = 95\%$ nếu biết kết quả đo được tính từ 5 lần đo có $\sigma_x = 0,01 \text{ mm}$.

Giải

Với $n = 5$ có $k = n - 1 = 4$. Tra được $t_\alpha = 2,770$; $\alpha = 95\%$.

Độ chính xác:

$$\varepsilon = t_\alpha \cdot \sigma_x = t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,776 \cdot \frac{0,01}{\sqrt{5}} = 0,012$$

Vậy với độ tin cậy 95% đảm bảo kết quả đo có sai lệch với giá trị đúng là:

$$|\bar{X} - Q| \leq 0,012 \text{ mm}$$

$$P(\bar{X} - 0,012 \leq Q \leq \bar{X} + 0,012) = 95\%$$

Ví dụ 12

Đánh giá độ chính xác của công thức gần đúng $\bar{X} \approx Q$ ở ví dụ 11 nếu độ chính xác yêu cầu là $0,02 \text{ mm}$.

Giải

Với $|\bar{X} - Q| \leq 0,02$ ta có:

$$t_\alpha \approx \frac{\varepsilon}{\sigma_x} = \frac{0,02}{\frac{0,01}{\sqrt{5}}} = 2\sqrt{5} = 4,46$$

Theo bảng Student với $n = 5$, $t_\alpha = 4,46$ độ tin cậy sẽ rơi vào giữa hai trị số $\alpha = 0,98$ và $\alpha = 0,99$. Dùng cách nội suy ta được $\alpha = 0,988$.

Vậy:

$$P(|\bar{X} - Q| \leq 0,02) = 98,8\%$$

3) Với trường hợp thông số đo tuân theo luật Macxoen thì khoảng tin cậy bao giờ cũng có cận dưới là 0: $[0, \varepsilon]$ và độ tin cậy $\alpha = \int_0^{\varepsilon} \varphi(R) dR$

Trong đó $\varphi(R)$ là hàm phân bố Macxoen có tham số phân bố t:

$$t = \frac{R}{\sigma}$$

với: R - thông số đo.

$$\sigma = \frac{\sigma_R}{0,655} \text{ - độ phân tán đường}$$

và:

$$\alpha = \int_0^{\varepsilon} \varphi(R) dR = \int_0^t \varphi(t) dt = F(t)$$

Trong đó $F(t)$ là giá trị của tích phân Macxoen, tra trong phụ lục.

Ví dụ 13

Đo độ méo của loạt trục được bằng số liệu:

Δ_M	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
m	4	7	10	5	2	2

Nếu chỉ nhận các sản phẩm có độ méo $\Delta_M < 0,04$ thì α bằng bao nhiêu?

Giải

$$\bar{\Delta}_M = \frac{\sum m_i \cdot \Delta_{Mi}}{\sum m_i} = 0,02 \text{ mm}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum m_i (\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2}{\sum m_i - 1}} = 0,014;$$

$$\sigma = \frac{\sigma_R}{0,655} = 0,02$$

$$X_0 = 1,92\sigma_R = 0,026$$

$$t = \frac{0,04}{0,02} = 2$$

Tra bảng ta được $\alpha = 0,865$ hay $\alpha = 86,5\%$.

3.6.2. Khi đo trực tiếp các đại lượng không cùng điều kiện đo

Để nâng cao độ chính xác khi đo, tiến hành m loạt đo không cùng điều kiện đo.

Độ chính xác khi đó được đánh giá bằng hiệu $\left| \bar{X} - Q \right| \leq \varepsilon$.

Độ tin cậy được đánh giá bằng:

$$\alpha = \int_{-t}^{+t} \varphi(x) dx$$

Số loạt đo ở đây là ít nên hàm mật độ cần dùng là hàm Student với:

$$t = \frac{\bar{X} - Q}{\sigma_X}$$

$$\sigma_X = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^m w_i}}$$

hay:

$$t = \frac{(\bar{X} - Q)^2}{\frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^m w_i}}} = (\bar{X} - Q)^2 \times \sum_{i=1}^m w_i$$

và: $k = m - 1$.

Có thể đánh giá độ tin cậy của công thức biểu diễn khi quy định trước độ chính xác ε :

$$\alpha = P(\bar{X} - t_\alpha \sigma_X \leq Q \leq \bar{X} + t_\alpha \sigma_X) = 2 \int_0^t S(t, k) dt$$

Ví dụ 14

Có ba nhóm thí nghiệm đo cùng một độ dài mẫu được:

$$\bar{X}_1 = 95,73 \quad \text{có} \quad \sigma_{X_1} = 0,01$$

$$\bar{X}_2 = 95,74 \quad \text{có} \quad \sigma_{X_2} = 0,02$$

$$\bar{X}_3 = 95,75 \quad \text{có} \quad \sigma_{X_3} = 0,025$$

Tính toán kết quả đo với yêu cầu độ tin cậy $\alpha = 95\%$.

Giải

Xác định các hệ số độ tin cậy w_i :

$$w_1 = \frac{1}{\sigma_{X_1}} = \frac{1}{0,01^2} = 10000$$

$$w_2 = \frac{1}{\sigma_{X_2}} = \frac{1}{0,02^2} = 2500$$

$$w_3 = \frac{1}{\sigma_{X_3}} = \frac{1}{0,025^2} = 1600$$

Xác định kích thước trung bình $\bar{\bar{X}}$ và $\sigma_{\bar{X}}$:

$$\begin{aligned}\bar{\bar{X}} &= \frac{\sum_{i=1}^k w_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^k w_i} = \frac{100.95,73 + 25.95,74 + 16.95,75}{100 + 25 + 16} \\ &= 95,73\end{aligned}$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k w_i}} = \frac{1}{\sqrt{14100}} = 0,08$$

Với độ tin cậy $\alpha = 95\%$; $k = 3$ tra được $t_\alpha = 4,303$. Vậy độ chính xác đo đạt:

$$\varepsilon_\alpha = t_\alpha \cdot \sigma_{\bar{X}} = 4,303 \cdot 0,008 \approx 0,03$$

Kết quả đo biểu diễn là:

$$X = \bar{\bar{X}} \pm \varepsilon_\alpha = 95,76 \pm 0,03 \text{ mm}$$

với:

$$P(\bar{\bar{X}} - \varepsilon_\alpha \leq X \leq \bar{\bar{X}} + \varepsilon_\alpha) = \alpha$$

Thay số vào ta có:

$$\alpha = P(95,70 \leq X \leq 95,76) = 95\%$$

Có thể thấy rằng khi số loạt đo tăng độ tin cậy của kết quả đo sẽ tăng.

3.6.3. Xác định số lần đo cần thiết theo độ chính xác và độ tin cậy yêu cầu

Trong khi nghiên cứu độ chính xác và độ tin cậy của phép đo ta thấy ngoài ảnh hưởng của độ chính xác của thiết bị đo thể hiện qua σ hay độ phân tán kích thước đo trang bị công nghệ gây ra σ_{CX} còn yếu tố thứ hai rất quan trọng, đó là số lần đo n có ảnh hưởng đến σ_X và vì thế ảnh hưởng đến ε và α .

Vấn đề cần đặt ra là để đảm bảo ε và α ta cần thực hiện phép đo với số lần đo tối thiểu là bao nhiêu?

Xuất phát từ đẳng thức đánh giá độ tin cậy:

$$\alpha = P(-\varepsilon \leq X - Q \leq +\varepsilon) - P(-t_\alpha \sigma_X \leq X - Q \leq +t_\alpha \sigma_X) = 2 \int_0^{t_\alpha} S(t, k) dt$$

Với $\frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{t}{\sqrt{n}}$ ta có:

$$\begin{aligned} \alpha &= P\left(-\frac{t}{\sqrt{n}} \leq \frac{X - Q}{\sigma} \leq +\frac{t}{\sqrt{n}}\right) \\ &= 2 \int_0^{t_\alpha} S(t, k) dt \end{aligned}$$

Trong đó $\left[-\frac{t}{\sqrt{n}}, +\frac{t}{\sqrt{n}}\right]$ biểu diễn khoảng tin cậy của công thức biểu diễn

$|\bar{X} - Q| \leq \varepsilon$ trong vùng $[-\varepsilon, +\varepsilon]$ nhưng là một đại lượng không thứ nguyên nên gọi $\frac{t}{\sqrt{n}}$ là sai số tương đối, ký hiệu là:

$$\Delta q = \frac{t}{\sqrt{n}} = \frac{\varepsilon}{\sigma_X \sqrt{n}} = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

Δq biểu thị tỷ lệ giữa sai lệch $X - Q$ với σ . Do số lần đo là chưa biết nên ta có thể dùng bảng tích phân Student để tính ra số lần đo n ứng với tham số của phân bố là Δq . Kết quả ghi như bảng 3-8.

Có thể nhận thấy rằng với $\Delta q = 1$ nghĩa là chẳng hạn một dụng cụ đo có $\sigma = 3 \mu m$ mà đòi hỏi độ chính xác đo là $\varepsilon = 3 \mu m$ thì với độ tin cậy $\alpha = 95\%$ thì phải đo tới $n = 7$ lần. Nếu với Δq càng bé, số lần đo càng phải lớn đến mức khó có thể chấp nhận nổi.

Bảng 3-8

Δq	σ							
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99	0,999
1,0	2	2	23	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	19	43	70	99	171	277	
0,1	47	72	109	166	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	659	1084	1510	2659	4338
0,01	4543	7090	10732	16430	27161	38416	66358	108307

Ví dụ 15

Dùng dụng cụ đo có giá trị chia $c = 0,01$ để đo với yêu cầu độ chính xác $\varepsilon = 0,005$ cần phải đo bao nhiêu lần để đảm bảo độ tin cậy $\alpha = 95\%$?

Giải

Thường lấy $\sigma = \frac{1}{2}c = 0,005$.

$$\Delta q = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{0,005}{0,005} = 1$$

Tra bảng 3-8 cần đo $n \geq 7$ lần ta sẽ có $|\bar{X} - Q| \leq 0,005$ với

$$P(|\bar{X} - Q| \leq 0,005) = 95\%$$

với trị số $\frac{\varepsilon}{\sigma} > 1$ ta dùng bảng Student để giải.

Ví dụ 16

Xác định số mẫu tối thiểu khi cắt thử lúc điều chỉnh máy khi biết độ phân tán của cơ cấu điều chỉnh là 0,01 với độ chính xác yêu cầu $X = \bar{X} \pm 0,03$ và độ tin cậy α tương ứng là bao nhiêu?

Giải

$$\Delta q = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{0,03}{0,01} = 3$$

Tra trong bảng Student sao cho được trị số t , thoả mãn $\frac{t}{3} = \sqrt{n}$.

Tra bảng với $k = 2$ có

$$t_{\alpha_1} = 4,303 \text{ ứng với } \alpha_1 = 95\%$$

$$t_{\alpha_2} = 6,965 \text{ ứng với } \alpha_1 = 98\%$$

có thể nội suy ra t_α :

$$t_\alpha = t_{\alpha_1} + \frac{t_{\alpha_2} - t_{\alpha_1}}{3} = 5,190$$

Do đó:

$$n \geq \left(\frac{t_\alpha}{3} \right)^2 = \left(\frac{5,190}{3} \right)^2 = 2,993$$

Vậy: $n \geq 3$.

Độ tin cậy tương ứng với $n = 3$; $t = 5,190$ là $\alpha = 96\%$.

Vậy với 3 chi tiết cất thử ta sẽ có:

$$P(|\bar{X} - Q| \leq 0,03) = 96\%$$

Ta có thể thấy ngay rằng, nếu tăng số mẫu thử lên $n = 5$ với điều kiện đã cho, ta sẽ có:

$$t_\alpha = \frac{\varepsilon_\alpha}{\sigma} \sqrt{n} = \frac{0,03}{0,01} \sqrt{5} = 6,708$$

Tra bảng tích phân Student ta sẽ thấy với $n = 5$; $k = 4$ thì có:

$$t_{\alpha_1} = 4,606 \text{ ứng với } \alpha_1 = 99\%$$

$$t_{\alpha_2} = 8,610 \text{ ứng với } \alpha_1 = 99,9\%$$

và có thể nội suy ra độ tin cậy α ứng với $t_\alpha = 6,707$ có $\alpha_1 = 99,5\%$.

Vậy với 5 chi tiết cất thử ta sẽ có:

$$P(|\bar{X} - Q| \leq 0,03) = 99,5\%$$

Chúng tỏ khi cùng yêu cầu về độ chính xác, nếu có số mẫu thử hay số lần đo tăng thì độ tin cậy của phép thử tăng lên rất đáng kể.

Tuy vậy, không có nghĩa là chúng ta cứ tăng n mãi để đạt mục đích tăng α vì:

- Thứ nhất là không kinh tế.

- Thứ hai là bài toán có điều kiện ràng buộc với mỗi n (hay mỗi k), tức là ứng với mỗi dòng trong bảng Student ta có một trị số $t_{\alpha_{\max}}$ ứng với $\alpha_{\max} = 99,9\%$ nếu như

$t_{\alpha} = \frac{\varepsilon_{\alpha}}{\sigma} \sqrt{n} > t_{\alpha_{\max}}$ thì việc tăng n đến mức này là vô nghĩa vì với $t_{\alpha} = \frac{\varepsilon_{\alpha}}{\sigma} \sqrt{n} > t_{\alpha_{\max}}$ thì đã đạt α_{\max} rồi, việc tăng n là không cần nữa. Có thể thấy ngay là nếu với ví dụ trên, với $n = 6$ sẽ có $t_{\alpha} = \frac{0,03}{0,01} \sqrt{6} = 7,348$.

Trị số $t_{\alpha_{\max}}$ ứng với $k = 5$ là $6,859 < t_{\alpha}$ như vậy việc tăng $n = 6$ là không cần thiết và số mẫu thử hợp lý là $n = 5$.

3.7. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH MỐI QUAN HỆ THỰC NGHIỆM

Ở các phần trên, khi tính toán các số liệu, ta đã hạn chế là việc đo được thực hiện trong quá trình dừng, tức là với thông số đo là bất biến trong quá trình đo.

Trong thực tế nghiên cứu và sản xuất ta thường gặp rất nhiều phép đo được thực hiện trong quá trình, chẳng hạn sau thời gian t nào đó. Khi đó sẽ tồn tại một mối quan hệ giữa đại lượng đo với thời gian. Mặt khác có thể có mối quan hệ giữa các đại lượng với nhau theo thể thức mỗi sự thay đổi của đại lượng được xem là đối số (x) ứng với sự thay đổi của một đại lượng được xem là hàm số (y) được biểu diễn bằng các quan hệ hàm số thông thường $y = f(x)$ hoặc dưới thể thức mỗi sự thay đổi của đối số (x) có thể ứng với sự thay đổi của nhiều giá trị của hàm $y: y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$ và ngược lại với mỗi sự thay đổi của y có thể có nhiều sự thay đổi của $x: x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_k$. Khi đo mối quan hệ được gọi là mối quan hệ tương quan, được biểu diễn dưới dạng bảng như bảng 3-12.

Trong phần này sẽ nêu phương pháp xác định mối quan hệ thực nghiệm từ các số liệu đo lường thực nghiệm.

Việc xác định mối quan hệ thực nghiệm từ số liệu đo cần qua các bước:

1. Vẽ sơ bộ quan hệ theo số liệu thực nghiệm.
2. Chọn công thức biểu diễn hàm quan hệ.
3. Xác định hàm thực nghiệm: xác định các hằng số trong công thức đã chọn.
4. Kiểm nghiệm sự phù hợp thực tế của công thức vừa xác định.

Trong đó bước 1 được thực hiện sao cho việc vẽ quan hệ là đơn giản để việc nhận ra quan hệ chính xác hơn.

Chẳng hạn với các hàm phi tuyến, người ta dùng thủ thuật để sao cho có thể vẽ thành quan hệ tuyến tính, ví dụ dùng giấy Lôgarit hoặc các phương pháp chia độ khác.

Sau khi vẽ sơ bộ đồ thị ta có thể nhận dạng và gán được cho nó hàm quan hệ gần nhất.

Ở phần này chỉ trình bày từ bước 2 trở đi.

3.7.1. Xác định quan hệ hàm số giữa các đại lượng

1. Chọn công thức thực nghiệm

Khi chọn công thức thực nghiệm cần chọn sao cho có các hằng số là ít nhất. vì nếu số hằng số nhiều sẽ gây phiền phức cho tính toán cũng như việc sử dụng công thức sau này.

Trong thực tế, bài toán xác định công thức thực nghiệm có thể gặp một trong hai trường hợp sau:

a) Khi kiểm nghiệm định luật

Lúc đó, dạng quan hệ giữa các đại lượng là đã biết, chỉ cần xác định các hằng số thực nghiệm.

Chẳng hạn:

Cho biến độc lập x là dòng điện i qua trở R ; cho biến phụ thuộc y là hiệu điện thế trên trở R .

Định luật về dòng điện cho ta quan hệ:

$$U = i.R$$

nên ta có:

$$y = R.x$$

Trong đó y và x là các giá trị đo được trong điều kiện thí nghiệm, R là hằng số cần xác định.

b) Khi nghiên cứu tìm quy luật mới

Lúc này quan hệ $y = f(x)$ là chưa biết. Thông thường phải dựa vào số liệu thí nghiệm, vẽ sơ bộ đồ thị. Quan sát đồ thị nếu nó gần giống một quan hệ nào đã biết thì gán cho đường biểu diễn quan hệ ấy. Sau đó xác định các hằng số của quan hệ và kiểm nghiệm công thức.

Nếu đồ thị cho ta một đường cong lạ thì theo lý thuyết của Taylo, một hàm số bất kỳ bao giờ cũng có thể biểu diễn được dưới dạng đa thức bậc:

$$y = B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_nx^n + \dots$$

Do đó ta có thể gán cho đường biểu diễn quan hệ trên với bậc m cần thiết đủ dùng, thường lấy $m = 3$ hoặc $m = 5$ là cùng. Nếu lấy m lớn hơn sẽ gây phiền phức cho tính toán B_i cũng như cho việc sử dụng biểu thức sau này.

Sau đó tiến hành lập $m + 1$ phương trình để giải B_i với $i = 0 \div m$.

Khi kiểm nghiệm độ chính xác của công thức biểu diễn ta dùng chỉ tiêu:

$$\sigma_{y_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i - y_m}{n - k}} \approx \sigma_y \quad (*)$$

trong đó:

y_m - giá trị của hàm thực nghiệm;

y_i - giá trị đo trong thí nghiệm;

n - số giá trị đo;

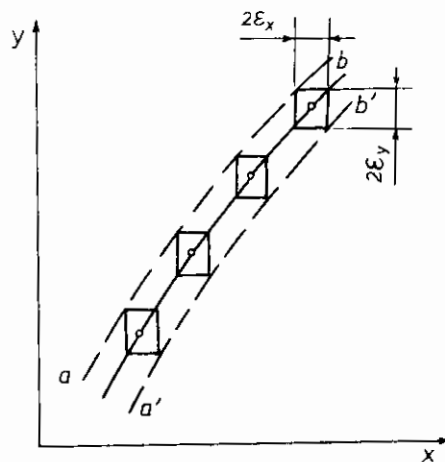
k - số hằng số cần xác định;

σ_{y_m} - sai lệch bình phương trung bình của các giá trị hàm thực nghiệm;

σ_y - sai lệch bình phương trung bình khi đo y .

Nếu (*) không thoả mãn phải chọn lại công thức biểu diễn.

Do x và y đều là các giá trị đo vì thế chúng đều có độ phân tán. Do đó, giá trị thực nghiệm của hàm không phải là một điểm cố định mà có thể chạy trong miền phân tán hình chữ nhật có cạnh là $2\epsilon_x$ và $2\epsilon_y$ như hình 3-4. Vì thế đồ thị hàm số không phải là một đường mà là một dải bị bao bởi hai đường cong biểu diễn phạm vi phân tán của hàm số. Do đó trong dải này ta hoàn toàn có thể vẽ đường cong trơn sao cho nó tiếp cận nhiều điểm thực nghiệm nhất.



Hình 3-4.

2. Xác định công thức thực nghiệm

Để xác định công thức thực nghiệm từ kết quả đo lường, tùy theo yêu cầu về độ chính xác người ta có thể có nhiều biện pháp, thường dùng là phương pháp đồ thị, phương pháp trung bình và phương pháp bình phương nhỏ nhất. Trong đó để đạt kết quả nhanh nhất người ta dùng phương pháp đồ thị; để đạt độ chính xác cao nhất người ta dùng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Vì vậy ở đây cũng chỉ trình bày hai phương pháp trên.

a) Phương pháp đồ thị

Dựa vào các giá trị đo vẽ sơ bộ đồ thị, gán cho nó một quan hệ. Thường phương pháp này chỉ dùng cho quan hệ tuyến tính. Chọn một cặp điểm bất kỳ thế vào quan hệ để xác định các hằng số của hàm.

Vi dụ 16

Khảo sát sai số hình dáng của loạt trục sau mài $\varnothing 20$ trên chiều dài 40 mm tại 5 tiết diện, nhận được số liệu như bảng 3-9 với $[\sigma_V] = 2 \mu m$.

Bảng 3-9

Khoảng cách đến tiết diện đo l, mm	2	10	20	30	40
Sai lệch kích thước $\Delta d = d - d_0$, mm	+3	+5	+8	+15	+18

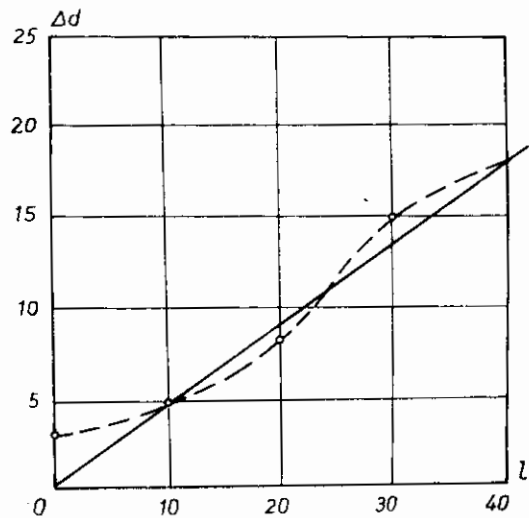
- Vẽ đồ thị giữa sai lệch đường kính Δd theo khoảng cách từ mặt đầu đến tiết diện nghiên cứu như hình 3-5.

- Quan sát đồ thị gần tuyến tính ta gán cho quan hệ:

$$\Delta d = a + bl$$

Theo bảng 3-9 ta lập hệ phương trình điều kiện:

$$\begin{cases} a + 2b = 3 & (1) \\ a + 10b = 5 & (2) \\ a + 20b = 8 & (3) \\ a + 30b = 15 & (4) \\ a + 40b = 18 & (5) \end{cases}$$



Hình 3-5.

- Xác định các hằng số a và b:

Cần hệ 2 phương trình để giải.

Chọn cặp điểm thứ 2 và thứ 4 để lập hệ phương trình điều kiện:

$$\begin{cases} a + 10b = 5 \\ a + 30b = 15 \end{cases}$$

Giải ra được $a = 0$, $b = \frac{1}{2}$.

Vậy ta có phương trình quan hệ:

$$\Delta d_{1N1} = \frac{1}{2}l$$

- Kiểm nghiệm độ chính xác của công thức biểu diễn: để khỏi lăm ta lập bảng tính như bảng 3-10.

Bảng 3-10

Số TT	l	Δd_{1N1}	Δd	$\Delta d_i - \Delta d_{TN}$	$(\Delta d_i - \Delta d_{TN})^2$
1	2	1	3	+ 2	4
2	10	5	5	0	0
3	20	10	8	- 2	4
4	30	15	15	0	0
5	40	20	18	- 2	4
Σ	102				12

Do số hằng số cần tính là a và b nên $k = 2$.

$$\sigma_{Y_{1N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_{1N})^2}{n - k}} = \sqrt{\frac{12}{5 - 2}} = 3 \mu m$$

Xét thấy $\sigma_{Y_{1N}} = 2 \mu m = |\sigma_y|$ đã cho nên có thể kết luận: công thức thực nghiệm đã xác định có thể chấp nhận được, nó phản ánh chi tiết gia công bị cùn đều, to dần lên khi càng xa tiết diện đầu.

b) Phương pháp bình phương nhỏ nhất

Nội dung của phương pháp này là sao cho đường cong thực nghiệm tiếp cận nhiều nhất với các điểm thực nghiệm. Khi đó tổng bình phương của các sai lệch của các điểm đo thực nghiệm với các điểm tương ứng trên hàm thực nghiệm là nhỏ nhất:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_{y_i}^2 = \sum_{i=1}^n (y_{TX} - y_i)^2 = \min$$

trong đó:

y_{TX} - giá trị hàm thực nghiệm;

y_i - giá trị đo tương ứng.

Do $y_{TX} = f(x)$ nên $\sum_{i=1}^n \varepsilon_{y_i}^2 = \sum_{i=1}^n (y_{TX} - y_i)^2$ cũng là một hàm của x , ta ký hiệu là

$F(x)$:

$$F(x) = \sum (B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_mx^m - y_i)^2 \quad (*)$$

Hàm $F(x)$ đạt giá trị min khi các biến B_i ($i = 1 \div m$) của hàm đạt các giá trị làm hàm nhiều biến đạt cực tiểu. Theo định lý Feema, hàm nhiều biến theo B_i đạt cực trị khi vi phân toàn phần của nó theo B_i bằng không, tức là:

$$\Delta F(x) = \sum \frac{\partial F}{\partial B_i} \Delta B_i = 0$$

Suy ra:

$$\frac{\partial F}{\partial B_0} = \frac{\partial F}{\partial B_1} = \frac{\partial F}{\partial B_2} = \dots = \frac{\partial F}{\partial B_m} = 0$$

Lấy đạo hàm riêng biểu thức (*) rồi cho chúng bằng không ta lập được hệ phương trình pháp tuyến:

$$\frac{\partial F}{\partial B_0} = \sum_{i=1}^n 2(B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_mx^m - y_i) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial B_1} = \sum_{i=1}^n 2(B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_mx^m - y_i).x = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial B_2} = \sum_{i=1}^n 2(B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_mx^m - y_i).x^2 = 0$$

...

$$\frac{\partial F}{\partial B_m} = \sum_{i=1}^n 2(B_0 + B_1x + B_2x^2 + \dots + B_mx^m - y_i).x^m = 0$$

Rút gọn hệ ta có:

$$\left\{ \begin{array}{l} nB_0 + \sum_{i=1}^n x_i B_1 + \sum_{i=1}^n x_i^2 B_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_i^m B_m = \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i B_0 + \sum_{i=1}^n x_i^2 B_1 + \sum_{i=1}^n x_i^3 B_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} B_m = \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m B_0 + \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} B_1 + \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} B_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_i^{m+m} B_m = \sum_{i=1}^n y_i x_i^m \end{array} \right.$$

Trong hệ này, các trị số y_i và x_i là các giá trị đo; m là số bậc cao nhất. Hệ gồm $m + 1$ phương trình để giải $m + 1$ ẩn số B_i nên ta sẽ nhận được một hệ nghiệm duy nhất.

Ví dụ 17

Vấn bảng số liệu 3-9. Xác định công thức thực nghiệm theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Giải

Với hệ phương trình điều kiện đã viết ở ví dụ 16, ta có bậc $m = 1$, số hệ số cần xác định $k = 2$, số điểm đo $n = 5$. Với ký hiệu $B_0 = a$; $B_1 = b$; $x_i = l_i$; $y_i = \Delta d_i$. Ta có:

$$\sum_{i=1}^5 a_i = nB_0 = 5a$$

$$\sum_{i=1}^5 l_i = \sum_{i=1}^5 x_i = 102$$

$$\sum_{i=1}^5 \Delta d_i = \sum_{i=1}^5 y_i = 49$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i^2 = 3004$$

$$\sum_{i=1}^5 y_i x_i = 1386$$

Hệ phương trình pháp tuyến sẽ là:

$$\left\{ \begin{array}{l} nB_0 + \sum_{i=1}^n x_i B_1 = \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i B_0 + \sum_{i=1}^n x_i^2 B_1 = \sum_{i=1}^n y_i x_i \end{array} \right.$$

Thay vào ta có:

$$\begin{cases} 5a + 102b = 49 & (1) \\ 102a + 3004b = 1386 & (2) \end{cases}$$

Giải ra ta được: $a = 1,26$; $b = 0,42$.

Vậy ta có công thức thực nghiệm là:

$$\Delta d_{TN_2} = 1,26 + 0,42.l$$

Kiểm nghiệm độ chính xác của công thức theo bảng 3-11.

Bảng 3-11

l	l ²	Δd_i	$\Delta d_i.l$	Δd_{TN}	$\epsilon_i = \Delta d_{TN} - \Delta d_i$	$\epsilon^2 = (\Delta d_{TN} - \Delta d_i)^2$
2	4	3	6	2,1	+ 0,9	0,81
10	100	5	50	5,46	+ 0,46	0,2116
20	400	8	160	9,6	+ 1,66	2,7556
30	900	15	450	13,86	- 1,14	1,2996
40	1600	18	720	18,06	+ 0,06	0,0036
102	3004	49	1386			5,08

$$\sigma_{Y_{IN}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{n-k}} = \sqrt{\frac{5,08}{5-2}} = 1,3 \mu m < [\sigma_y] = 2 \mu m$$

Có thể thấy kết quả xác định hàm thực nghiệm theo phương pháp bình phương nhỏ nhất đạt kết quả chính xác hơn phương pháp đồ thị ở trên.

3.7.2. Xác định mối quan hệ tương quan giữa các đại lượng

Trong thực tế, ta gặp những mối quan hệ phức tạp về mặt chất lượng sản phẩm, chẳng hạn các chỉ tiêu như độ chính xác kích thước, sai số hình dáng, độ nhẵn bề mặt... đồng thời ảnh hưởng tới chất lượng sản phẩm, ngoài ra chúng còn ảnh hưởng lẫn nhau. Những mối quan hệ kiểu như vậy không thể dùng phương pháp nghiên cứu mối quan hệ hàm số thông dụng để biểu diễn quan hệ được. Mối quan hệ này cần phải làm theo phương pháp thống kê và được biểu diễn dưới dạng bảng hai chiều hay nhiều chiều.

Bảng biểu diễn mối quan hệ lẫn nhau giữa hai đại lượng x và y như bảng 3-12. Đây là dạng bảng biểu diễn mối quan hệ tương quan đơn giản nhất, tức là chỉ có hai biến phụ thuộc lẫn nhau. Trong đó một giá trị x ứng với nhiều giá trị của y và tương

tự một giá trị của y cũng ứng với nhiều giá trị của x . Các giá trị của x và y được ghi theo cột và hàng, tương ứng trong bảng thống kê cho ta số chi tiết có chất lượng ứng với x và y .

Bảng 3-12

		y						\sum_j
		y_1	y_2	...	y_j	...	y_k	
x	x_1$			...		...		\sum_{j=1}^k n_{1j}$
	x_2$			...		...		\sum_{j=1}^k n_{2j}$

	x_i$			...		...		\sum_{j=1}^k n_{ij}$

	x_m$			...		...		\sum_{j=1}^k n_{mj}$
\sum_i	$\sum_{i=1}^m n_{i1}$	$\sum_{i=1}^m n_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^m n_{ij}$	...	$\sum_{i=1}^m n_{ik}$	N	

Trong mỗi quan hệ tương quan giữa x và y , để xác định mối quan hệ giữa chúng người ta đưa ra hai chỉ tiêu chính cần xác định, đó là mức độ tương quan và dạng quan hệ. Sau khi biết rõ mức độ tương quan và dạng quan hệ thì ta sẽ có được phương trình quan hệ mô tả mối quan hệ tương quan giữa các đại lượng đang nghiên cứu.

Để đánh giá mức độ tương quan người ta dùng hệ số tương quan:

$$r_k = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Trong đó σ_x, σ_y là sai lệch bình phương trung bình của các đại lượng x_i và y_i :

$$C_{xy} = \frac{\sum n_{ij} \cdot x_i y_j}{n} - \bar{X}\bar{Y}$$

Trong đó $\sum n_{ij} \cdot x_i y_j$ là kết quả nhân y_j với tần suất tương ứng n_{ij} , sau khi cộng tích $y_j \cdot n_{ij}$ theo cột rồi nhân với x_i hoặc nhân x_i với n_{ij} theo cột rồi cộng lại theo hàng rồi nhân với y_j .

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot x_i}{n}; \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot y_j}{n}$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m n_i x_i^2}{n}}; \quad \sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k n_j y_j^2}{n}}$$

Hệ số tương quan r_k đặc trưng cho mức độ quan hệ tương quan tuyến tính và có trị số giới hạn:

$$-1 \leq r_k \leq +1$$

Trong trường hợp tương quan đồng biến (nghĩa là khi x tăng thì y cũng tăng) thì $r_k > 0$, còn khi tương quan nghịch biến thì sẽ có $r_k < 0$. Khi r_k càng tiệm cận ± 1 thì mức độ tương quan giữa x và y càng mạnh. Nếu $|r_k| = 1$ thì giữa x và y có quan hệ hàm số tuyến tính. Khi $r_k \rightarrow 0$ sẽ không tồn tại quan hệ tương quan tuyến tính giữa x và y . Khi đó có thể sẽ không tồn tại quan hệ giữa x và y hoặc sẽ tồn tại một quan hệ phi tuyến.

Trong trường hợp $r_k \rightarrow 0$, để xét xem x và y có thể tồn tại quan hệ tương quan hay không và quan hệ kiểu gì người ta dùng tỷ số tương quan:

$$\eta_Y = \frac{\sigma_{YX}}{\sigma_Y} \quad \text{hay} \quad \eta_X = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X}$$

trong đó:

$$\sigma_{YX} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_x \cdot \bar{Y}_X^2 - \bar{Y}^2}$$

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_x \cdot \bar{X}_X^2 - \bar{X}^2}$$

Tỷ số tương quan là giá trị có giới hạn:

$$0 \leq \eta \leq 1$$

Luôn luôn có $\eta \leq |r|$. Khi $\eta \rightarrow 1$ mức quan hệ càng mạnh.

Nếu $\eta = |r|$ ta có quan hệ tương quan thuần tuyến tính.

Để khỏi lăm lăm khi nghiên cứu quan hệ tương quan cần qua các bước:

- Dự đoán trước là x và y có quan hệ lẫn nhau, làm thí nghiệm, thống kê và lập bảng như 3-12.

- Tính giá trị trung bình theo tần suất ứng với hàng \bar{Y}_x hoặc cột \bar{X}_y rồi lập bảng giữa \bar{Y}_x và các x, hoặc giữa \bar{X}_y và các y_j (bảng 3-13).

- Xác định công thức tương quan theo bảng 3-13 như phần 3.7.1 đã trình bày.

Bảng 3-13

$x_{i=1 \dots m}$	x_1	x_2	...	x_i	...	x_m
\bar{Y}_{xi}	\bar{Y}_{x1}	\bar{Y}_{x2}	...	\bar{Y}_{xi}	...	\bar{Y}_{xm}

Đánh giá mức độ tương quan: tính r_k và η nếu cần.

Ví dụ 18

Chẳng hạn ta quan tâm tới ảnh hưởng lẫn nhau giữa hai chỉ tiêu chất lượng như độ chính xác và độ nhẵn của sản phẩm. Với điều kiện giới hạn của phương pháp gia công ta có các mức x_1, x_2, \dots, x_m và y_1, y_2, \dots, y_m , lập được bảng 3-14.

Bảng 3-14

x_i	y_j					n_x
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	1	-	-	4
2	-	1	2	1	-	4
3	-	-	1	2	1	4
4	-	-	-	1	2	3
n_y	1	3	4	4	3	$n = 15$

Từ bảng 3-13 ta tính trị số trung bình theo hàng:

$$\bar{Y} = \frac{\sum n_{ij} y_j}{n_{xi}}$$

Với $i = 1; x_1 = 1; n_{x1} = 4$:

$$\bar{Y}_1 = \frac{1.1 + 2.2 + 1.3}{4} = 2$$

Với $i = 2; x_2 = 2; n_{x2} = 4$:

$$\bar{Y}_2 = \frac{1.2 + 2.3 + 1.4}{4} = 3$$

Tương tự với $i = 3$ và $i = 4$ ta có $\bar{Y}_3 = 4$; $\bar{Y}_4 = 4,67$.

Bảng 3-15

x_i	1	2	3	4
\bar{Y}_{xi}	2	3	4	4,67

Có thể vẽ sơ bộ quan hệ và nhận thấy có thể gán cho nó quan hệ tuyến tính:

$$\bar{Y}_{xi} = a + bx$$

và có thể giải được a và b theo phương pháp bình phương nhỏ nhất:

$$\begin{cases} na + \sum xb = \sum y \\ \sum xa + \sum x^2b = \sum xy \end{cases}$$

Thay số vào ta có:

$$\begin{cases} 4a + 10b = 13,67 \\ 10a + 30b = 38,68 \end{cases}$$

Giải ra: $a = 1,165$; $b = 0,9$.

Vậy ta có quan hệ :

$$\bar{Y}_x = 1,165 + 0,9x$$

Tính toán hệ số tương quan, lập bảng 3-16.

Trong đó cột 1, 2, 3, 4 bảng 3-16 chép lại từ bảng 3-14.

Cột 5 là tổng theo phương y : lấy cột 2, 3, 4, 5, 6 lần lượt nhân với cột 1 tương ứng hàng nhân hàng ở bảng 3-14, rồi cộng theo cột.

Tương tự cột 7 là tổng theo phương x : lấy hàng 1, 2, 3, 4 nhân với hàng 1 tương ứng cột nhân cột ở bảng 3-14 rồi cộng theo hàng.

Tổng theo y và tổng theo x phải bằng nhau. Cột 6 là tích của cột 5 với cột 1 bảng 3-16. Cột 8 là tích cột 7 với cột 3 bảng 3-16.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{j=1}^5 n_j y_j}{n} = \frac{50}{15} = 3,33$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^4 n_i x_i}{n} = \frac{36}{15} = 2,40$$

$$C_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^5 n_{ij} x_i y_j}{n} - \bar{X} \bar{Y} = \frac{136}{15} - 2,40 \cdot 3,33 = 1,075$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 n_{y_j} y_j^2}{n} - \bar{Y}^2}; \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 n_{x_i} x_i^2}{n} - \bar{X}^2}$$

Để tính σ_x và σ_y lập bảng 3-17 và 3-18.

Bảng 3-16

y_j	n_j	x_i	n_i	$\sum_{j=1}^5 n_{ij} x_i$	$\sum_{j=1}^5 n_{ij} x_i y_j$	$\sum_{i=1}^4 n_{ij} y_j$	$\sum_{i=1}^4 n_{ij} y_j x_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	4	1	1	8	8
2	3	2	4	4	8	12	24
3	4	3	4	8	24	16	48
4	4	4	3	12	48	14	56
5	3	-	-	11	55	-	-
Σ				36	136	50	136

Bảng 3-17

y_j	n_{y_j}	$n_{y_j} y_j$	$n_{y_j} y_j^2$
1	1	1	1
2	3	16	12
3	4	12	36
4	4	16	64
Σ	15	50	188

Bảng 3-18

x_i	n_{x_i}	$n_{x_i} x_i$	$n_{x_i} x_i^2$
1	4	4	4
2	4	8	16
3	4	12	36
4	3	12	48
Σ	15	36	104

Thay vào ta có:

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{188}{15} - (3,33)^2} = 1,202$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{104}{15} - (2,40)^2} = 1,083$$

Tính r_k :

$$r_k = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{1,075}{1,202 \cdot 1,083} = 0,8256$$

Phương trình quan hệ thống kê có thể nhận được từ những đặc trưng vừa tính:

$$\bar{Y}_x - \bar{Y} = r_k \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{X})$$

Với hệ số góc:

$$\rho_y = r_k \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,8258 \frac{1,202}{1,083} = 0,916$$

$$\bar{Y}_x = \rho_y (x - \bar{X}) - \bar{Y} = 0,916(x - 2,40) + 3,33 = 0,916x + 1,132$$

Phương trình quan hệ thống kê vừa tìm được xấp xỉ với phương trình đã giải bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất ở trên.

Tương tự ta có hàm quan hệ:

$$\bar{X}_y = 0,744x - 0,077$$

Có thể thấy rằng mối quan hệ tương quan giữa hai chỉ tiêu chất lượng đã nêu là gần tuyến tính vì ta có $r_k = 0,825$, sai số phi tuyến $< 4\%$. Cần chú ý là mối quan hệ có tính chất thống kê giữa các đại lượng là đồng thời có ảnh hưởng lẫn nhau. Tuy nhiên việc nghiên cứu đồng thời các ảnh hưởng là rất khó và phức tạp cho tính toán. Vì vậy thường người ta nghiên cứu mối quan hệ của từng cặp các đại lượng, khi đó bảng thống kê có hai trục biến. Nếu nghiên cứu ảnh hưởng lẫn nhau giữa ba biến bằng bảng thống kê có ba chiều là đã phức tạp ngay trong biểu diễn chứ chưa kể đến tính toán.

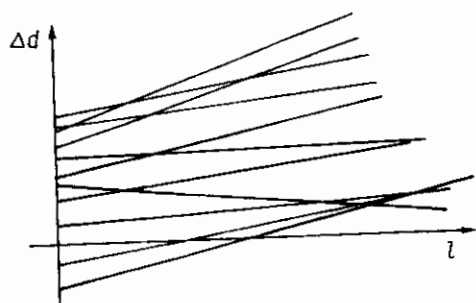
Chú ý

Trước khi làm các thí nghiệm để xác định mối quan hệ giữa các đại lượng cần phải căn cứ vào lý thuyết, bản chất vật lý của hiện tượng để có cơ sở tin rằng giữa các đại lượng đang nghiên cứu là có tồn tại quan hệ.

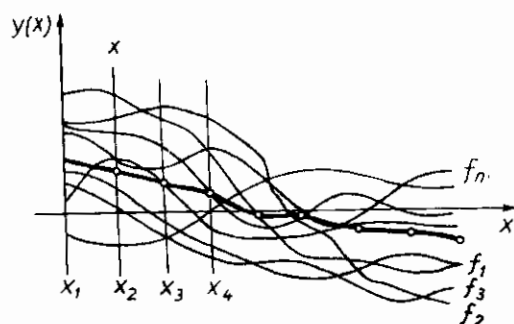
Mối quan hệ thực nghiệm xác định được trong điều kiện thí nghiệm nào chỉ được phép áp dụng trong điều kiện đó, không được phép ngoại suy. Chẳng hạn thí nghiệm tiến hành trong điều kiện biên $x_1 \rightarrow x_k$ thì không được áp dụng với $x < x_1$ và $x > x_k$ vì giả thiết hàm là liên tục chỉ trong đoạn ta tiến hành thí nghiệm, ra ngoài khoảng có thể quan hệ sẽ có đột biến hoặc không tồn tại quan hệ như cũ.

3.7.3. Áp dụng lý thuyết hàm ngẫu nhiên trong nghiên cứu quan hệ thực nghiệm

Ở ví dụ 17 ta đã xác định được mối quan hệ giữa biến thiên đường kính và khoảng cách tiết diện nghiên cứu. Hàm quan hệ này chỉ đúng với một trục cụ thể ta đã đo. Nếu trong nghiên cứu để đảm bảo độ tin cậy người ta phải gia công hàng loạt n trục tương tự. Sau đó ta sẽ tiến hành đo sai lệch đường kính của cả n trục tại các tiết diện tương ứng. Tất nhiên là với mỗi tập số liệu của một trục ta sẽ có một hàm $y_1 = f_1(x); y_2 = f_2(x) \dots$. Tất cả n hàm sẽ cho ta một họ hàm, gọi chung chúng là hàm ngẫu nhiên, vì các hàm mô tả cùng một quan hệ nhưng do các tác động có tính ngẫu nhiên trong nghiên cứu mà chúng khác nhau. Hình 3-6 mô tả hàm ngẫu nhiên của quan hệ giữa sai lệch đường kính và tiết diện nghiên cứu. Hình 3-7 mô tả quan hệ giữa sai số chỉ thị của dụng cụ đo với các khoảng đo khác nhau.



Hình 3-6.



Hình 3-7.

Khi đó để xác định mối quan hệ thực nghiệm từ hàm ngẫu nhiên chúng ta phải tiến hành xác định giá trị trung bình của hàm tại các tiết diện nghiên cứu và độ phân tán của các điểm quanh giá trị trung bình theo các bước sau:

- Tính toán giá trị trung bình:

$$\bar{Y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_1)}{n}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_2)}{n}$$

...

$$\bar{Y}_k = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_k)}{n}$$

trong đó:

n - số thí nghiệm;

k - số tiết diện nghiên cứu.

- Xác định hàm kỳ vọng từ các giá trị trung bình của hàm ngẫu nhiên ứng với các tiết diện nghiên cứu:

$$M[f(x)] = m_Y(x)$$

Trong đó $M[f(x)]$ gọi là kỳ vọng của hàm ngẫu nhiên $y = f(x)$ còn $m_Y(x)$ gọi là hàm kỳ vọng của hàm ngẫu nhiên.

Tất nhiên ta có:

$$m_Y(x_j) = \bar{Y}(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_i)}{n}$$

- Xác định độ phân tán của hàm ngẫu nhiên $\sigma_Y(x)$:

Tán số tại tiết diện x_i là:

$$D_Y(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n [f(x_i) - m_Y(x_i)]^2}{n-1}$$

Ta cũng sẽ lập được hàm tán số theo x_i :

$$D_Y(x) = D[f(x)]$$

và suy ra được:

$$\sigma_Y(x) = \sqrt{D_Y(x)} = \sqrt{D[f(x)]}$$

Thông thường chỉ tiêu $m_Y(x)$ là chỉ tiêu quan trọng hơn vì nó cho ta kết luận chung nhất của mối quan hệ đang được nghiên cứu.

CHỌN PHƯƠNG ÁN ĐO

Phương án đo thường được hiểu là phương thức tiến hành phép đo, bao gồm: thiết bị đo, phương pháp đo và các điều kiện để thực hiện phép đo.

Việc chọn phương án đo chủ yếu là phải chọn được phương pháp đo hợp lý để các điều kiện thực hiện phép đo là đơn giản và dễ dàng. Sau khi chọn được phương pháp đo cần thiết phải chọn được phương tiện đo, tức là dụng cụ và máy đo, để xác định thông số cần đo. Vấn đề cốt yếu khi chọn phương tiện đo là vấn đề độ chính xác cần thiết để đảm bảo độ chính xác khi đo, điều này phụ thuộc vào sơ đồ đo chọn dùng và số lần đo cần thiết để đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy của phép đo.

4.1. CHỌN PHƯƠNG PHÁP ĐO

Với mỗi thông số, mỗi chi tiết cụ thể, ta có thể có nhiều cách đo và có thể có nhiều con đường khác nhau để đạt tới mục đích của việc đo. Việc chọn phương pháp đo chính là việc chọn trong những cách đo đó, những con đường khác nhau đó một cách đo, một con đường hợp lý để đạt được kết quả đo.

Cơ sở của việc chọn lựa này là dựa trên các nguyên tắc cơ bản của đo lường. Phương án đo hợp lý là phương án đo đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu kỹ thuật với năng suất đo cao, bằng các thiết bị đo đơn giản, số lượng, số loại dụng cụ đo ít, có độ chính xác phổ thông dễ kiểm.

Việc chọn phương pháp đo xuất phát từ:

- Đặc điểm về kết cấu của chi tiết nói chung và của thông số cần đo nói riêng.

- Khối lượng sản phẩm và số thông số cần đo.
- Độ chính xác cần đảm bảo.
- Khả năng về độ chính xác của thiết bị sẵn có, có khả năng thực hiện.

Việc phân tích độ chính xác của phương pháp đo trong từng trường hợp cụ thể sẽ dẫn tới kết luận có thể hay không dùng được phương pháp đã nêu. Sau đó mới có thể chọn trong các phương pháp đã được chấp nhận về độ chính xác phương pháp đo nào đạt chỉ tiêu kinh tế hơn, tức là đo đơn giản hơn, đo nhanh hơn, sớm đến kết quả hơn, năng suất hơn, dụng cụ đo rẻ tiền hơn...

Ta hãy xét vài ví dụ cụ thể:

Ví dụ 4.1

Đo độ dày của chi tiết làm bằng kim loại đồng.

Về nguyên tắc, độ dày là thông số dạng giới hạn nên có thể dùng phương pháp đo hai tiếp điểm để đo. Chẳng hạn có thể dùng phương pháp đo tiếp xúc. Hãy xét sai số đo khi đo tiếp xúc cho trường hợp cụ thể này:

$$\Delta L_p = 0,773 \sqrt{\frac{P^2}{r} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}$$

Dụng cụ đo tiếp xúc có đồng hồ so với lực đo $P = 250 \text{ G} = 2,5 \text{ N}$; $r = 1,5 \text{ mm}$; đầu dò bằng bi thép $E_1 = 20000 \text{ KG/cm}^2$; vật liệu đo bằng đồng, $E_2 = 9000 \text{ KG/cm}^2$.

$$\Delta L_p = 0,773 \sqrt{\frac{250}{1,5} 10^3 \left(\frac{1}{20 \cdot 10^3} + \frac{1}{9 \cdot 10^3} \right)^2} = 0,008 \text{ mm}$$

Với n lần đo, sai số phương pháp đo $\delta_f = \frac{t \cdot \Delta L_p}{\sqrt{n}}$ sẽ phải nhỏ hơn dung sai của chi tiết đo T_{ct} . Trong đó t quyết định bởi độ tin cậy yêu cầu của phép đo. Chẳng hạn với độ tin cậy $\alpha = 95\%$, với số lần đo ở mỗi điểm là 3 lần ta sẽ có:

$$\delta_f = \frac{t \cdot \Delta L_p}{\sqrt{n}} = 4,303 \times \frac{0,008}{\sqrt{3}} = 0,02 \text{ mm}$$

Như thế phương pháp đo chỉ có thể áp dụng để đo sản phẩm có dung sai lớn hơn $0,02 \text{ mm}$. Chẳng hạn nếu băng cho kích thước theo cấp chính xác 6 ta sẽ có hệ số $\frac{\delta_f}{T_{ct}} = 0,30$ và dung sai sản phẩm khi đó sẽ là:

$$T_{ct} = \frac{\delta_f}{0,30} = \frac{0,02}{0,30} = 0,066 \text{ mm}$$

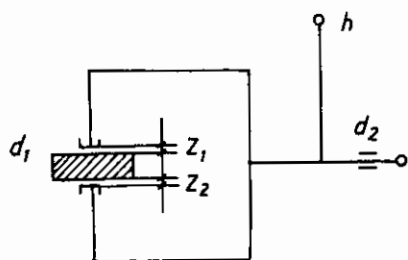
Thông thường trị số dung sai sản phẩm dạng băng này là 0,01. Do đó kháng định phương pháp đo trên là không thích hợp, nó chỉ có thể áp dụng cho các băng có dung sai lớn hơn 0,07 mm. Nếu chỉ định đo ở mỗi điểm một lần thì phương pháp đo chỉ áp dụng với dung sai sản phẩm lớn hơn 0,1 mm.

Đối với băng kim loại mỏng, đặc biệt với băng kim loại màu, người ta dùng phương pháp đo không tiếp xúc. Dưới đây giới thiệu hai phương pháp:

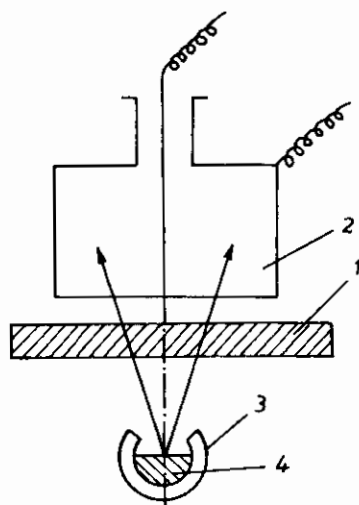
Đo bằng đầu đo khí nén như hình vẽ 4-1 và bằng thiết bị đo dùng tia phóng xạ hình 4-2.

Sơ đồ đo hình 4-1 có ưu điểm tuyệt đối của phương pháp đo không tiếp xúc, một trong hai miệng phun đóng vai trò tiếp điểm chuẩn tham khảo, miệng phun còn lại đóng vai trò tiếp điểm đo. Sai lệch kích thước đo đánh giá qua biến thiên khe hở tổng giữa hai miệng phun. Phương pháp đo này rất thích hợp để kiểm tra chiều dày băng trong khi gia công. Phương pháp đo đơn giản, rẻ tiền.

Sơ đồ đo hình 4-2 dùng thiết bị đo kiểu tia phóng xạ. Tia phóng xạ đi từ nguồn xuyên qua băng kim loại 1 tới buồng ion hoá. Khi chiều dày băng thay đổi nó sẽ làm thay đổi dòng điện trong buồng ion hoá. Thiết bị đo được chỉnh "0" theo vật liệu và chiều dày băng mẫu cùng tính chất với băng đo. Phương pháp này đòi hỏi băng đo phải đặt vuông góc với chùm tia phóng xạ tới buồng 2, cần có băng mẫu cùng hình dạng và tính chất vật liệu với băng đo để chỉnh máy, nhất thiết phải có thiết bị bảo vệ an toàn... Do đó khả năng sử dụng một cách phổ thông của phương pháp có bị hạn chế. Phương pháp này được sử dụng để kiểm tra chủ động trong công nghiệp sản xuất chuyên môn hoá các loại vật liệu dạng băng và dạng tấm trong các máy cán kéo kim loại.



Hình 4-1.



Hình 4-2.

Ví dụ 4-2

Xác định khe hở lắp bộ đôi:

Khe hở lắp bộ đôi được xác định bằng hiệu kích thước đường kính lỗ và đường kính trục. Để xác định khe hở lắp có thể dùng các phương pháp sau:

a) Xác định riêng rẽ kích thước lỗ Φ_L và kích thước trục Φ_T . Khe hở lắp được xác định là:

$$\Delta = \Phi_L - \Phi_T.$$

Đây là phương pháp đo đơn giản, dễ thực hiện. Tuy nhiên do khe hở đo lại được lấy từ hai kích thước thực Φ_L và Φ_T nên sẽ có những nhược điểm không khác phục nổi như:

- Sai số điểm "0" của hai loại dụng cụ đo lỗ và đo trục dẫn đến việc đo kích thước thực kém chính xác. Do đó sai số khe hở lớn.

- Việc xác định khe hở lắp thường được đặt ra với bộ đôi sản xuất hàng loạt. Vì vậy việc thông kê, lưu giữ sản phẩm theo kích thước sẽ kém chính xác, dễ lẫn lộn. Hơn nữa, do sai số nhiệt độ khi loạt đo kéo dài sẽ làm việc chọn lắp kém chính xác.

Với hai lý do trên, phương pháp đo chỉ dùng khi số sản phẩm đo là rất ít, độ chính xác yêu cầu không cao.

b) Dùng phương tiện đo khí nén mặc vì sai như sơ đồ hình 4-3, trong đó dùng đầu đo trục và đầu đo lỗ kiểu khí nén dạng chuyên dùng có cùng tỷ số truyền. Chính "0" cho áp kế bằng bộ đôi mẫu có khe hở "0" tức là $\Phi_L = \Phi_T$ hoặc có thể với một bộ đôi biết trước khe hở lắp. Thiên áp Δh chỉ cho ta khe hở lắp bộ đôi. Nếu $\Delta h < 0$ bộ đôi sẽ lắp có độ dôi. Phương pháp này có ưu điểm là trục và lỗ được đo trong cùng điều kiện đo. Mọi ảnh hưởng có tính chất hệ thống như sai số đo nhiệt, dao động áp nguồn... đều được loại trừ. Nhược điểm chính của phương tiện đo là ở chỗ đầu đo trục và lỗ đều có miền đo hẹp, vì thế nó chỉ làm việc trong một miền dung sai hẹp. Muốn đảm bảo đo cho miền dung sai lớn cần có cả hệ thống nhiều đầu đo trục và lỗ. Số đầu đo tùy thuộc miền phân tán của kích thước bộ đôi.

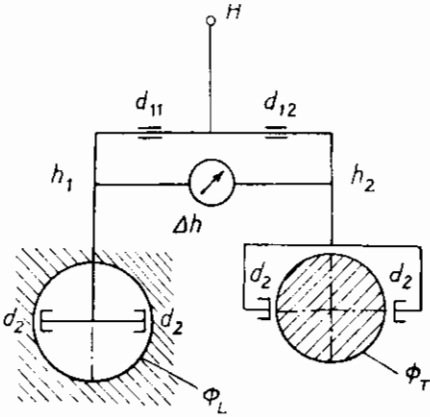
Đây là một phương tiện đo thuận lợi và tiên tiến, năng suất cao, an toàn và rẻ tiền. Nó thích hợp với việc sản xuất hàng loạt bộ đôi chính xác với miền dung sai kích thước tương đối nhỏ.

c) Phương tiện đo khí nén mặc vì sai như sơ đồ hình 4-4.

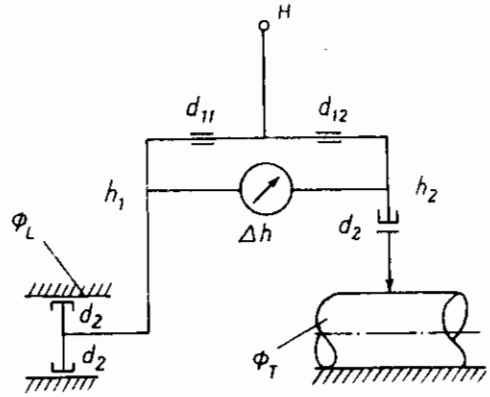
Trong phương pháp này, người ta dùng đầu đo lỗ để đo lỗ như sơ đồ 4-3. Ngoài ra, để khắc phục bất nhược điểm của sơ đồ 4-3 người ta đo trục bằng đầu đo ngoài vạn năng kiểu khí nén. Với phương tiện này, miền đo trục được mở rất rộng nhờ

điều chỉnh đầu đo ngoài. Đó là ưu điểm chính của phương pháp này. Các ảnh hưởng của điều kiện đo có thể được coi là loại trừ nhờ sơ đồ vị sai.

Nhược điểm của phương pháp này là yêu cầu tỷ số truyền của hai nhánh phải bằng nhau là hơi khó thực hiện so với sơ đồ 4-3. Bởi vậy người ta thường bố trí thêm mạch chảy phụ để điều chỉnh tỷ số truyền cho đầu đo ngoài và làm cân bằng điều kiện chảy giữa hai nhánh như sơ đồ 4-3.



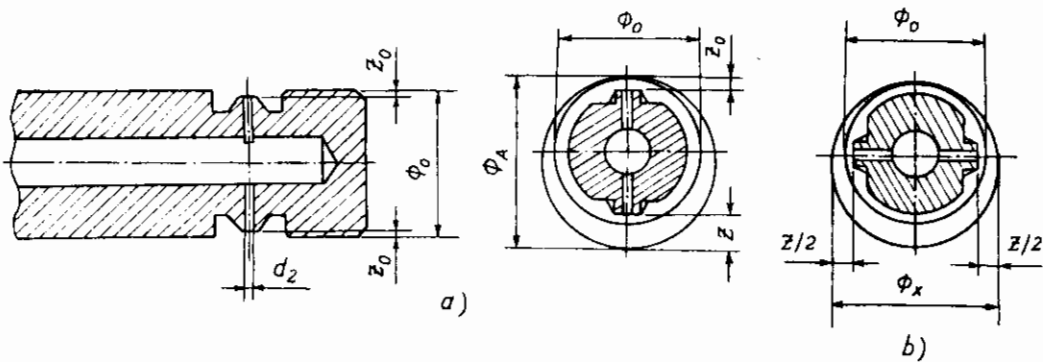
Hình 4-3.



Hình 4-4.

Ví dụ 4.3

Hình 4-5 là hai cách đặt đầu đo khí nén dùng đo lỗ. Trong đó hai miệng phun để đứng như hình a) và để ngang như hình b). Như phân lý thuyết đã trình bày trong chuyển đổi khí nén, sơ đồ đo như hình a) cho tỷ số truyền cao hơn, lượng hạ miệng z_0 có tham gia vào tỷ số truyền nên yêu cầu kỹ thuật chế tạo đầu đo nghiêm ngặt hơn.



Hình 4-5.

Ngoài ra, do chi tiết đo sẽ định vị trên đường sinh cao nhất của đầu đo theo đúng phương đo nên yêu cầu làm sạch chi tiết cũng cao hơn, nếu không nó sẽ ảnh hưởng tương tự như z_0 thay đổi. Sơ đồ đo b là sơ đồ hai nhánh chảy song song bằng nhau. Vì z_0 không tham gia vào tỷ số truyền nên yêu cầu chế tạo có thể dề dàng hơn, yêu cầu làm sạch khi đo cũng không khắt khe, do đó thường được áp dụng trong điều kiện sản xuất ở phân xưởng. Tuy nhiên, sơ đồ đo b cho tỷ số truyền kém hơn sơ đồ a. Khi lượng ha miệng z_0 càng bé thì sự sai khác tỷ số truyền càng lớn.

Phương pháp đo không những chỉ ảnh hưởng đến độ chính xác khi đo mà còn ảnh hưởng tới thời gian đo, năng suất đo, sự phức tạp của gá lắp, thiết bị và thao tác khi đo và do vậy ảnh hưởng đáng kể đến chỉ tiêu kinh tế. Do đó cần phải xét đến đặc tính của thông số đo, số khối lượng sản phẩm và thông số cần đo để quyết định chọn phương pháp đo nào.

Khi số thông số đo là nhiều cần tổ chức phối hợp các dụng cụ đo chuyên dùng nếu số lượng sản phẩm lớn, còn nếu số lượng sản phẩm ít nên dùng dụng cụ đo vạn năng.

Khi số thông số đo ít, khối lượng sản phẩm lớn cần dùng thiết bị đo chuyên dùng, nên chuyên môn hoá đo từng thông số trên dụng cụ đo riêng rẽ để giảm thời gian điều chỉnh trước khi đo.

Nếu số lượng sản phẩm lớn, thông số đo đơn giản nên dùng phương pháp đo kiểu calíp, cữ, dướng... để nâng cao năng suất đo kiểm.

Khi nghiên cứu công nghệ cần dùng thiết bị đo kiểu chỉ thị.

Khi kiểm tra thu nhận nên dùng calíp.

Ngoài ra, cần lưu ý đến tính chất sử dụng của kết quả đo khi chọn phương pháp đo: chẳng hạn khi kiểm tra tinh, khối lượng sản phẩm không lớn nên dùng phương pháp đo cơ khí vì hệ đo đơn giản, gọn. Khi cần đạt độ chính xác cao nên dùng phương pháp đo kết hợp cơ - quang - điện. Khi cần dùng kết quả đo để điều khiển quá trình công nghệ phải dùng thiết bị đo tự động có mạch điều khiển. Khi cần đo lỗ nhỏ, lỗ chính xác, lỗ không thông, cần đo ở vị trí khó đo ... nên chọn phương pháp đo khí nén...

4.2. CHỌN ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA PHƯƠNG PHÁP ĐO

Chọn độ chính xác của phương pháp đo là xác định sai số cho phép của phương pháp đo nhờ đó chọn được độ chính xác của dụng cụ đo phù hợp với dung sai của đại lượng đo. Đó là một trong những vấn đề mà kỹ thuật đo cần giải quyết, bởi vì sai số của phương pháp đo có thể làm sai lệch kết quả đo với giá trị thực của đại lượng đo tới mức dẫn đến các kết luận sai lầm về chất lượng sản phẩm.

Kết quả đo được đọc qua giá trị chỉ thị là tổng đại số giữa giá trị thực của đại lượng đo và sai số phương pháp đo Δf :

$$x = Q + \Delta f$$

Khi giá trị thực của đại lượng vượt ra ngoài giới hạn cho phép: $Q > Q_{\max}$ đáng ra cần kết luận sản phẩm không đạt yêu cầu. Nhưng nếu sai số đo là một đại lượng luôn luôn được giá thiết là có phân bố chuẩn khi mà:

$$\Delta Q = Q - Q_{\max} < |\Delta f|$$

thì:

$$x = Q_{\max} + \underbrace{\Delta Q + \Delta f}_{< 0} < Q_{\max}$$

Do đó khi đọc x ta sẽ kết luận sản phẩm là đạt yêu cầu vì x chưa vượt kích thước giới hạn. Đây gọi là hiện tượng nhận lầm.

Ngược lại, cũng có hiện tượng Q nằm trong giới hạn tức là chỉ tiết đạt yêu cầu:

$$\Delta Q = Q - Q_{\max} < 0$$

nhưng:

$$|\Delta| < \Delta f$$

nên:

$$x = Q_{\max} + \underbrace{\Delta Q + \Delta f}_{> 0} > Q_{\max}$$

Vì thế qua đọc x ta kết luận sản phẩm không đạt vì x đã vượt qua giới hạn. Hiện tượng này gọi là loại lầm.

Người ta có thể nhận lầm đến kích thước $x = Q_{\max} + \epsilon_1$ và loại lầm đến kích thước $x = Q_{\max} - \epsilon_1$.

Trong đó ϵ_1 là sai số giới hạn cho phép của phương pháp đo.

Loại lầm sẽ gây thiệt hại kinh tế cho sản xuất. Nhận lầm sẽ ảnh hưởng đến chất lượng sử dụng của sản phẩm làm giảm sút lòng tin của người sử dụng với nhà sản xuất.

Với lý do trên, kỹ thuật đo nhất thiết phải giải quyết thoả đáng việc chọn độ chính xác của phương pháp đo ϵ_1 sao cho đảm bảo chất lượng sản phẩm và không gây tổn hại kinh tế cho sản xuất. Có thể có hai phương án giải quyết:

• Khi không cho phép có sản phẩm nhận lầm người ta tiến hành thu hẹp phạm vi dung sai sản phẩm thành dung sai thu nhận, mà:

+ Theo tính toán giới hạn thì:

Với kích thước giới hạn:

$$T_{\text{tn}} = T_{\text{ct}} - 2\varepsilon_t = T_{\text{ct}} - T_t$$

Với kích thước biên độ:

$$T_{\text{tn}} = T_{\text{ct}} - \varepsilon_t$$

+ Theo phương pháp tổng hợp ngẫu nhiên các sai số, có thể suy ra, chẳng hạn khi đo kích thước giới hạn:

$$T_{\text{ct}}^2 = T_{\text{tn}}^2 + T_t^2$$

hay:

$$T_{\text{tn}} = T_{\text{ct}} \sqrt{1 - \left(\frac{T_t}{T_{\text{ct}}}\right)^2}$$

Khi tính toán T_{tn} bằng công thức này sẽ đảm bảo không có một chi tiết nhận lầm nào, và kích thước thu nhận giới hạn sẽ chỉ là Q_{max} với độ tin cậy cao.

Ví dụ 4-4

Khi kiểm tra thu nhận kích thước có $T_{\text{ct}} = 30 \mu\text{m}$ bằng phương pháp đo có sai số đo cho phép là $T_t = \pm \varepsilon_t = \pm 10 \mu\text{m}$. Để không nhận lầm một chi tiết nào ta cần kiểm tra theo dung sai thu nhận là T_{tn} :

$$T_{\text{tn}} = 30 \sqrt{1 - \left(\frac{20}{30}\right)^2} = 22,3 \mu\text{m}$$

Nghĩa là chúng ta cần thu hẹp phạm vi dung sai đi một lượng là:

$$30 - 22,3 = 7,7 \mu\text{m}$$

Kết quả tính theo phương pháp tổng hợp ngẫu nhiên này cho thấy kích thước cần thiết thu hẹp phạm vi dung sai ở mỗi giới hạn sẽ là $\frac{7,7}{2} = 3,85 \mu\text{m}$, nghĩa là nhỏ hơn ε_t khi tính theo sai số giới hạn.

Có thể nhận thấy là khi $\frac{T_t}{T_{\text{ct}}} = 0,19899$ tức là $T_t = 20\%T_{\text{ct}}$ thì $T_{\text{tn}} = 0,98 T_{\text{ct}}$ và với

$\frac{T_t}{T_{\text{ct}}} = 0,14$ tức là $T_t = 14\%T_{\text{ct}}$ thì $T_{\text{tn}} = 0,99T_{\text{ct}}$ và có thể xem là $T_{\text{tn}} \approx T_{\text{ct}}$.

Từ tính toán này có thể dẫn tới những kết luận thuận tiện cho việc chọn dùng độ chính xác phương pháp đo trong sản xuất:

+ Trong trường hợp yêu cầu không quá khắt khe có thể chọn dùng phương pháp đo có độ chính xác $T_f = 20\% T_{ct}$. Khi đó kích thước nhận lầm ảnh hưởng không đáng kể tới chất lượng sử dụng sản phẩm và có thể coi $T_m = T_{ct}$.

+ Trong hầu hết các trường hợp có thể dùng phương pháp đo có sai số phương pháp đo cho phép $T_f = 14\% T_{ct}$ thì có thể bỏ qua ảnh hưởng của kích thước vượt giới hạn vì nó không quá 1% dung sai sản phẩm.

Cần chú ý là việc tính toán trên chỉ đúng khi miền phân tán kích thước đo đối xứng qua tâm phân bố dung sai. Khi miền phân tán kích thước bị dịch đi lượng $+ \Delta$ hay $- \Delta$ thì trong thực tế ta sẽ phải thu hẹp cho mỗi giới hạn một lượng khác nhau. Hơn nữa, phương án thu hẹp phạm vi dung sai sẽ gây khó khăn cho sản xuất, làm phiền hà về mặt văn bản.

- Khi dùng $T_m = T_{ct}$, chấp nhận tỷ lệ phần trăm sản phẩm nhận lầm $m\%$.

Để đơn giản cho sản xuất và văn bản kỹ thuật, người ta chọn dùng phương pháp đo có sai số đo $\pm \epsilon_f = T_f$ sao cho lượng vượt kích thước giới hạn của các kích thước nhận lầm c với:

$$c = \frac{T_{ct}}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{T_f}{T_{ct}} \right)^2} \right)$$

Ở mỗi giới hạn kích thước không ảnh hưởng đáng kể tới chức năng sử dụng của sản phẩm. Phần phụ lục của cuốn sách này có cho các đồ thị để tiện dùng trong sản xuất khi cho biết độ phân tán của kích thước σ_{ct} và dung sai sản phẩm. Khi đã tra hoặc tính được c ta chỉ cần chọn phương pháp đo có $\epsilon_f \leq c$ thì sẽ đảm bảo tỷ lệ nhận lầm và kích thước nhận lầm nhỏ hơn các số liệu đã tính.

Trong thực tế sản phẩm được chế tạo ở cấp chính xác nào sẽ có độ phân tán kích thước tương ứng. Do vậy vấn đề còn lại sẽ là quan hệ giữa T_f/T_{ct} , để khỏi lăm lăm, người ta xét quan hệ ϵ_f với T_{ct} để dẫn đến chọn giá trị chia của dụng cụ đo nhỏ hơn hay bằng ϵ_f là đủ.

Bảng 4-1 cho ta các trị số có tính chất thống kê giữa hệ số $A_f = \frac{\epsilon_f}{T_{ct}}$ với cấp chính xác chế tạo sản phẩm để giúp việc chọn dụng cụ đo cho đơn giản.

Bảng 4-1

Cấp chính xác	1 ÷ 4	5	6	7	8	9	10	11 ÷ 17
$A_1 = (c/T_{ct}) \cdot 100\%$	35	32,5	30	27,5	25	20	15	10

Vi dụ 4-5

Chọn dụng cụ đo để kiểm tra kích thước $\Phi 30^{+0,033}$.

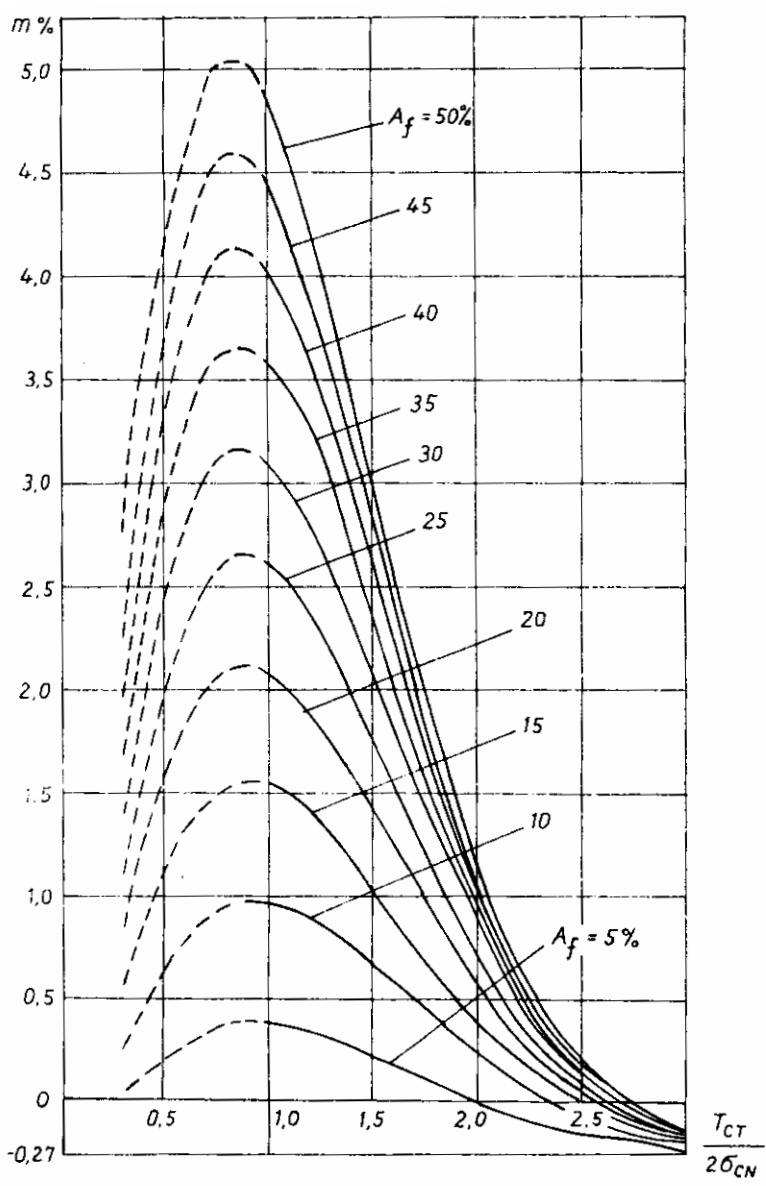
Trước hết theo bảng tiêu chuẩn dung sai của TCVN tra được kích thước đo thuộc cấp chính xác 8, do đó $A_1 = 0,25$.

$$\varepsilon_1 = A_1 \cdot T_{ct} = 0,25 \cdot 0,33 = 0,008$$

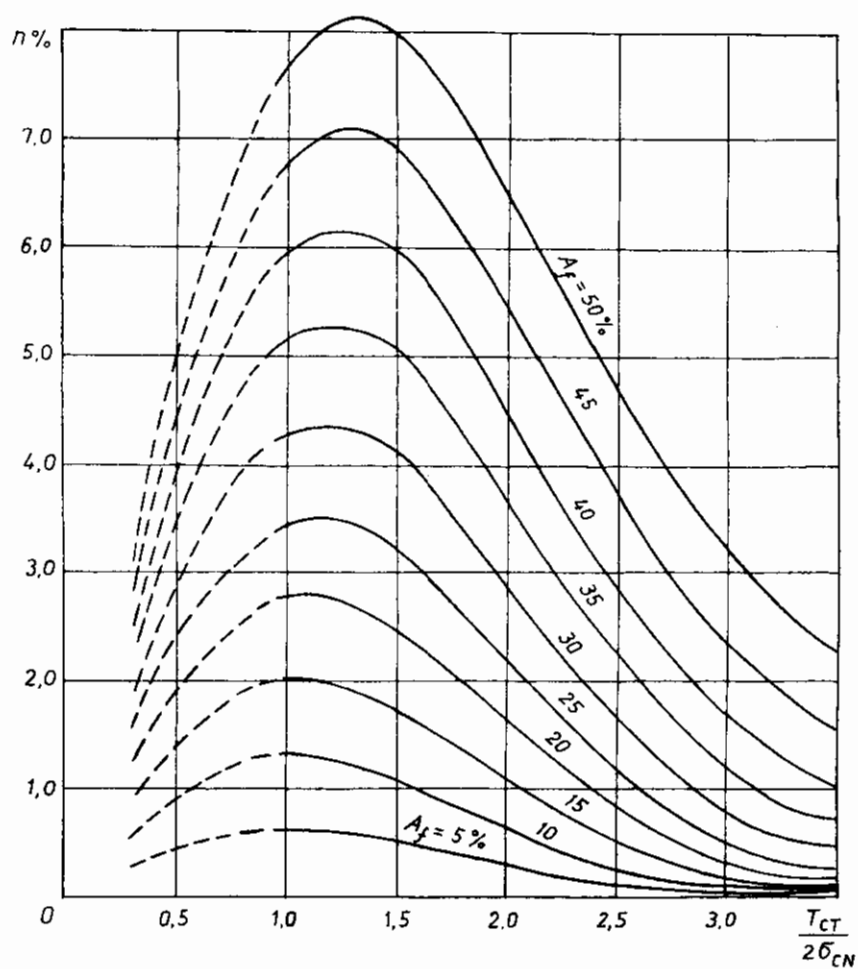
để sai số phương pháp đo $\varepsilon_1 \leq 0,008$ cần chọn dụng cụ đo có giá trị chia $c \leq \varepsilon_1$, vậy chọn dụng cụ đo có giá trị chia $0,005 \text{ mm}$ để đo là $\Phi 30^{+0,033}$ hợp lý.

4.3. CHỌN SỐ LẦN ĐO

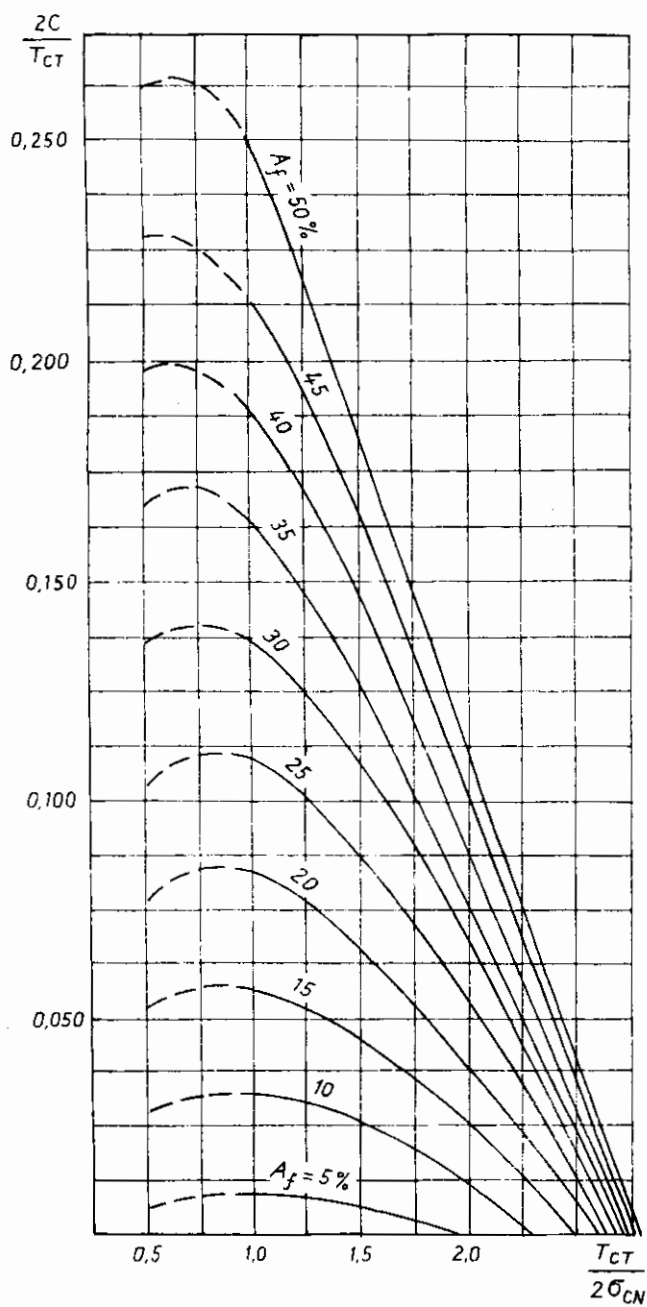
Số lần đo cho một thông số đo hay số mẫu thử cho một phép thử được chọn theo yêu cầu về độ chính xác và độ tin cậy yêu cầu của phép đo (xem mục 3.6.3, chương 3).



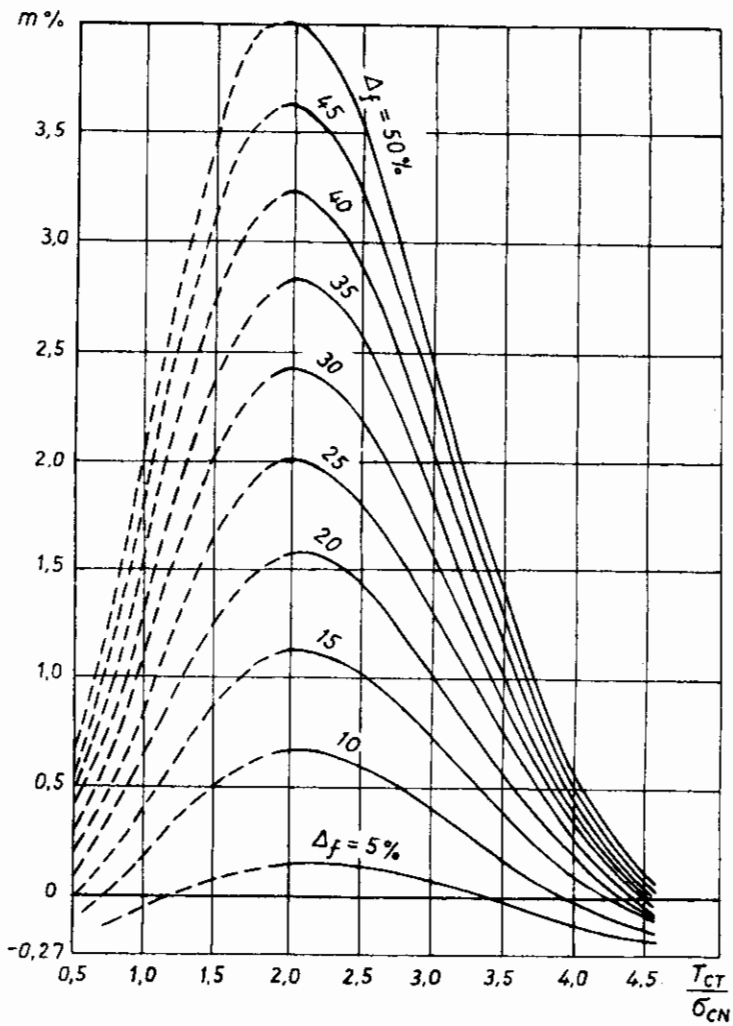
Hình 4-6 Đồ thị để tra tỷ lệ phân trăm chi tiết nhân lăm khi kích thước chi tiết có phân bố chuẩn.



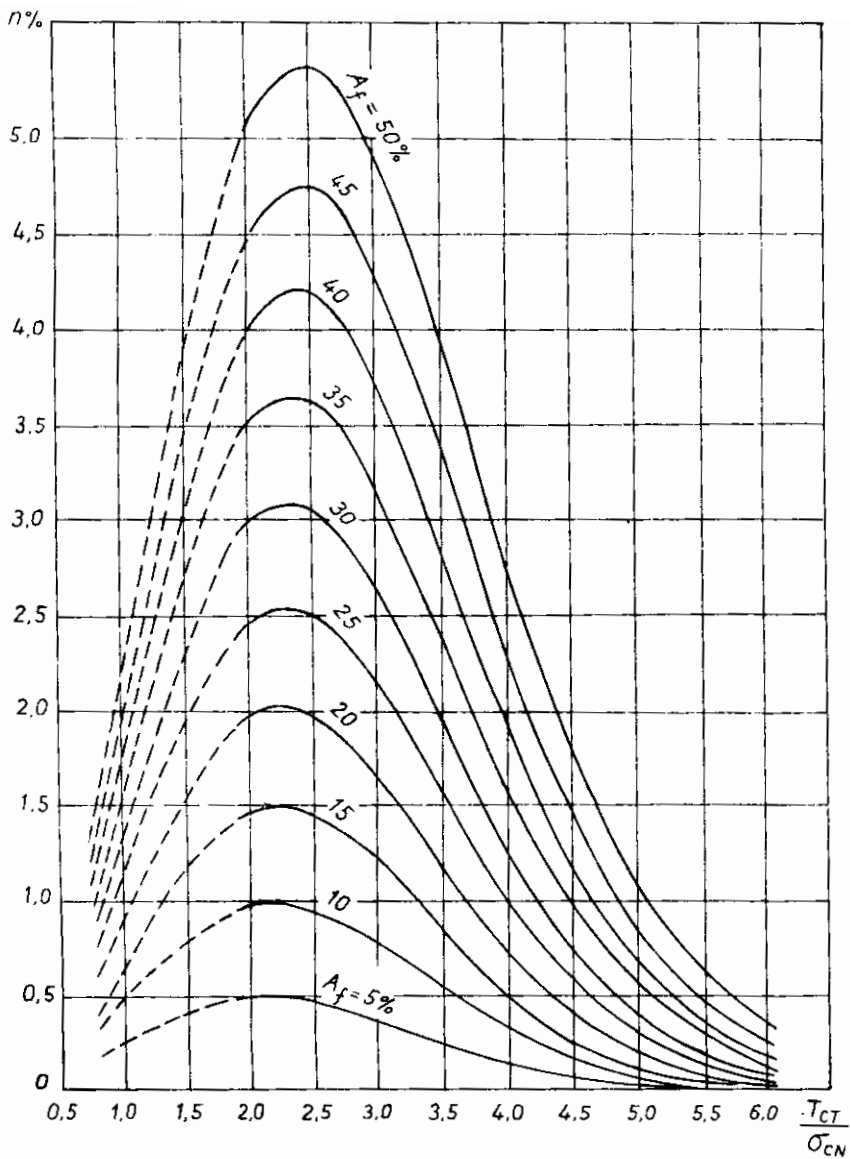
Hình 4-7. Đồ thị để tra tỷ lệ phần trăm chi tiết loại lằm khi kích thước chi tiết có phân bố chuẩn.



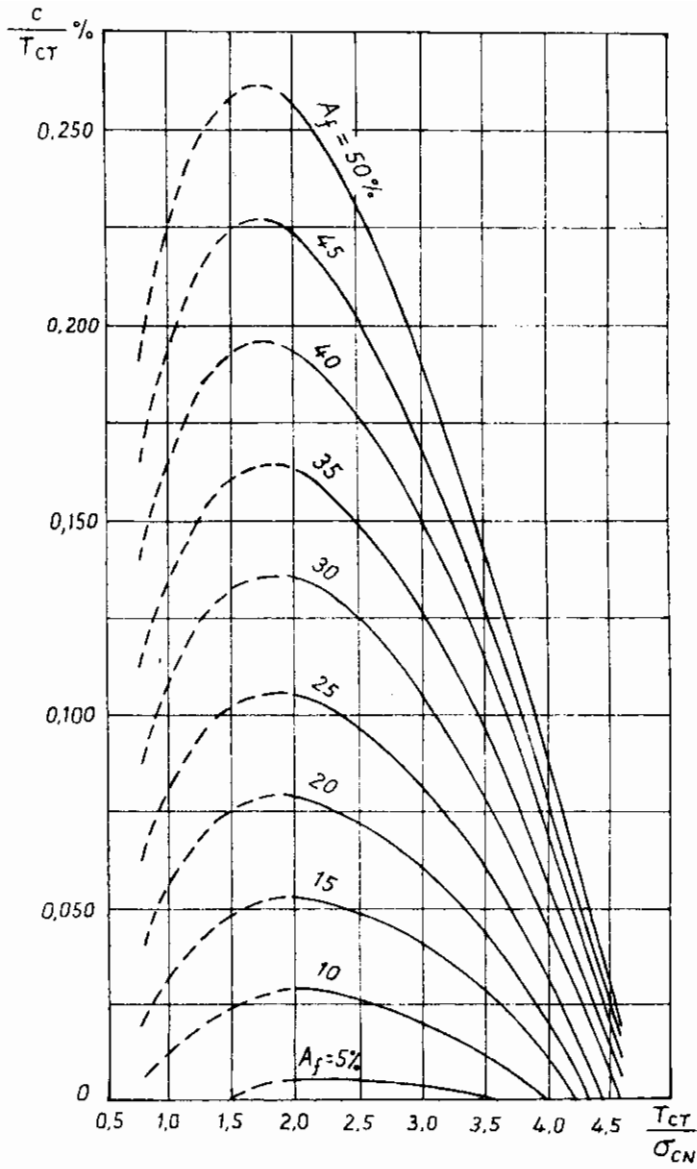
Hình 4-8. Đồ thị để tra lượng vượt kích thước giới hạn theo phần trăm giá trị dung sai khi kích thước chi tiết có phân bố chuẩn.



Hình 4-9. Đồ thị để tra tỷ lệ phần trăm chi tiết nhân làm khi kích thước chi tiết có phân bố lệch.



Hình 4-10. Đồ thị để tra tỷ lệ phần trăm chi tiết loại I làm khi kích thước chi tiết có phân bố lệch.



Hình 4-11. Đồ thị để tra lượng vượt kích thước giới hạn theo phần trăm giá trị dung sai khi kích thước chi tiết có phân bố lệch.

PHỤ LỤC

BẢNG GIÁ TRỊ TÍCH PHẦN LAPLASS

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz$$

z	Φ(z)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0389	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0909	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1555	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1950	1985	2019	2045	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3683	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4986
3,0	9865	9869	9874	9878	9882	9886	9889	9893	9896	9900
3,1	9903	9906	9909	9912	9916	9918	9921	9924	9926	9929
3,2	9931	9934	9936	9938	9940	9942	9944	9946	9948	9950
3,3	9952	9954	9955	9957	9958	9960	9961	9962	9964	9965
3,4	9966	9968	9969	9970	9971	9972	9973	9974	9975	9976

BẢNG GIÁ TRỊ TÍCH PHẦN STUDENT

Giá trị t_{α} thỏa mãn đẳng thức $2 \int_0^{t_{\alpha}} S(t, k) dt = \alpha$

k = n - 1	α												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,578
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,997	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,126	0,255	0,388	0,529	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,126	0,254	0,387	0,527	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,126	0,254	0,386	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
1000	0,126	0,253	0,385	0,525	0,675	0,842	1,037	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	3,300

BẢNG GIÁ TRỊ TÍCH PHẦN MACXOEN

$$F(t) = \int_0^t e^{-t^2} dt$$

$t \cdot \frac{K}{\sigma}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0,00000	0,00005	0,00020	0,00045	0,00080	0,00125	0,00180	0,00245	0,00319	0,00404
0.1	0,00499	0,00603	0,00717	0,00841	0,00975	0,01119	0,01272	0,01435	0,01607	0,01789
0.2	0,01980	0,02181	0,02391	0,02610	0,02839	0,03077	0,03324	0,03579	0,03844	0,04118
0.3	0,04400	0,04691	0,04991	0,05299	0,05616	0,05941	0,06275	0,06616	0,06966	0,07323
0.4	0,07688	0,08061	0,08442	0,08831	0,09226	0,09629	0,10040	0,10457	0,10881	0,11312
0.5	0,11750	0,12195	0,12646	0,13103	0,13567	0,14037	0,14512	0,14994	0,15482	0,15975
0.6	0,16473	0,16977	0,17486	0,18000	0,18519	0,19043	0,19571	0,20104	0,20642	0,21184
0.7	0,21730	0,22279	0,22833	0,23391	0,23952	0,24516	0,25084	0,25655	0,26229	0,26806
0.8	0,27385	0,27967	0,28552	0,29139	0,29728	0,30320	0,30913	0,31508	0,32104	0,32703
0.9	0,33302	0,33903	0,34505	0,35108	0,35712	0,36317	0,36922	0,37528	0,38134	0,38740
1.0	0,39347	0,39953	0,40560	0,41166	0,41772	0,42377	0,42982	0,43586	0,44189	0,44791
1.1	0,45393	0,45993	0,46591	0,47189	0,47785	0,48379	0,48972	0,49563	0,50152	0,50740
1.2	0,51325	0,51908	0,52489	0,53067	0,53643	0,54217	0,54788	0,55356	0,55922	0,56484
1.3	0,57044	0,57601	0,58155	0,58706	0,59253	0,59798	0,60339	0,60877	0,61411	0,61942
1.4	0,62469	0,62993	0,63512	0,64029	0,64541	0,65050	0,65555	0,66056	0,66553	0,67046
1.5	0,67535	0,68020	0,68501	0,68977	0,69450	0,69918	0,70382	0,70842	0,71298	0,71749
1.6	0,72196	0,72639	0,73077	0,73511	0,73941	0,74366	0,74787	0,75203	0,75615	0,76022
1.7	0,76425	0,76824	0,77218	0,77608	0,77993	0,78373	0,78750	0,79121	0,79489	0,79852
1.8	0,80210	0,80564	0,80914	0,81259	0,81600	0,81936	0,82268	0,82596	0,82919	0,83238
1.9	0,83553	0,83863	0,84169	0,84471	0,84768	0,85062	0,85351	0,85636	0,85917	0,86194
2.0	0,86466	0,86735	0,87000	0,87260	0,87517	0,87770	0,88018	0,88263	0,88504	0,88742
2.1	0,88975	0,89205	0,89431	0,89653	0,89871	0,90086	0,90298	0,90505	0,90710	0,90910
2.2	0,91108	0,91302	0,91492	0,91680	0,91863	0,92044	0,92221	0,92396	0,92567	0,92735
2.3	0,92899	0,93061	0,93220	0,93376	0,93529	0,93679	0,93826	0,93970	0,94112	0,94250
2.4	0,94387	0,94520	0,94651	0,94779	0,94904	0,95028	0,95148	0,95266	0,95382	0,95495
2.5	0,95606	0,95715	0,95821	0,95926	0,96028	0,96127	0,96225	0,96321	0,96414	0,96506
2.6	0,96595	0,96683	0,96768	0,96852	0,96934	0,97014	0,97092	0,97169	0,97243	0,97317
2.7	0,97388	0,97458	0,97526	0,97592	0,97657	0,97721	0,97783	0,97843	0,97902	0,97960
2.8	0,98016	0,98071	0,98124	0,98177	0,98228	0,98277	0,98326	0,98373	0,98419	0,98464
2.9	0,98508	0,98551	0,98592	0,98633	0,98672	0,98711	0,98748	0,98785	0,98821	0,98855
3.0	0,98889	0,98922	0,98954	0,98985	0,99016	0,99045	0,99074	0,99102	0,99129	0,99155
3.1	0,99181	0,99206	0,99231	0,99254	0,99277	0,99300	0,99321	0,99342	0,99363	0,99383
3.2	0,99402	0,99421	0,99440	0,99457	0,99475	0,99491	0,99508	0,99523	0,99539	0,99554
3.3	0,99568	0,99582	0,99596	0,99609	0,99622	0,99634	0,99646	0,99658	0,99669	0,99680
3.4	0,99691	0,99701	0,99711	0,99721	0,99731	0,99740	0,99749	0,99757	0,99765	0,99773
3.5	0,99781	0,99789	0,99796	0,99803	0,99810	0,99817	0,99823	0,99829	0,99835	0,99841
3.6	0,99847	0,99852	0,99857	0,99862	0,99867	0,99872	0,99877	0,99881	0,99885	0,99890
3.7	0,99894	0,99897	0,99901	0,99905	0,99908	0,99912	0,99915	0,99918	0,99921	0,99924
3.8	0,99927	0,99930	0,99932	0,99935	0,99937	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948
3.9	0,99950	0,99952	0,99954	0,99956	0,99957	0,99959	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965
4.0	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	0,99977

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Б. С. Балакшин и другие.* Взаимозаменяемость и технические измерения и машиностроение. Москва 1972.
2. *Г. Д. Бурау.* Единицы физических величин. Москва 1967.
3. *Е. М. Добрынин.* Приборы автоматического контроля размеров и машиностроений. Машгиз 1960.
4. *А. И. Таврилов.* Приборостроения и средства автоматизации. Том 2, книга 1. Машиностроений Москва 1972.
5. *И. Е. Городицкий.* Основные технических измерений в машиностроений. Машгиз 1960.
6. *А. И. Тригорьев и Е. Р. Дворецкий.* Контроль размеров в машиностроений. Машгиз - Москва 1959.
7. *А. Г. Иванов.* Контроль измерительных средств в машиностроений. Москва 1964.
8. *А. Г. Иванов и другие.* Измерительных приборы в машиностроений. Машиностроений Москва 1964.
9. *Л. Т. Иванков.* Технические измерения с основами метрологий. Москва 1963.
10. *В. И. Коротков и Тийц.* Основные метрологий и точности механизмов припоров. Машгиз 1964.
11. *Е. П. Пустыльник.* Статические методы анализа и обработки наблюдений. "Наука" Москва 1961.
12. *А. К. Кутай и Х. Д. Кордонский.* Анализа точности контроля качества в машиностроений. Москва 1961.
13. *Т. С. Лоновак.* Стандартизация размерных параметров в машиностроений. Машгиз 1968.

14. *И. И. Марков*. Выбор измерительных средств для контроля цилиндрических зубчатых колес. Москва 1966.
15. *И. И. Марков и другие*. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. "Машиностроения" Москва 1967.
16. *Ф. В. Удудко*. Динамика пневматических приборов для линейных измерений. Москва 1975.
17. *А. В. Высоцкий и другие*. Прибор и устройства для активного контроля размеров в машиностроении. Машигиз Москва 1961.
18. *Ninh Học Phi*. Dụng cụ đo cơ khí. Nhà xuất bản Công nghiệp cơ khí Bắc Kinh. Nguyên bản tiếng Trung Quốc 1966.
19. *Bành Sĩ Nhan*. Lý thuyết sai số và xử lý số liệu thí nghiệm. Nguyên bản tiếng Trung Quốc. Nhà xuất bản Khoa học Bắc Kinh, 1965.