POLITECHNIKA GDAŃSKA

ANDRZEJ MELLER, PIOTR GRUDOWSKI

LABORATORIUM METROLOGII WARSZTATOWEJ I INŻYNIERII JAKOŚCI

Podręcznik dla studentów
Wydziałów Mechanicznego
oraz Oceanotechniki i Okrętownictwa

Recenzent

Adam Boryczko

Wydanie I

GDAŃSK 2006

SPIS TREŚCI

WIADOMOŚCI WSTĘPNE 3
1. Regulamin ćwiczeń 3
2. Warunki zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych 3
3. Pojęcia podstawowe 4
4. Noniusze 9
5. Płytki wzorcowe 12

Ćwiczenie 1. KONTROLA WYMIARÓW ZEWNĘTRZNYCH 16

Ćwiczenie 2. KONTROLA ŚREDNIC WEWNĘTRZNYCH 23

Ćwiczenie 3. POMIARY DOKŁADNE 29

Ćwiczenie 4. KONTROLA WAŁKÓW W PRODUKCJI SERYJNEJ 38

Ćwiczenie 5. KONTROLA SPRAWDZIANÓW ZA POMOCĄ DŁUGOŚCIOMIERZY 44

Ćwiczenie 6. OKRESOWA KONTROLA MIKROMETRU 53

Ćwiczenie 7. KONTROLA CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI 59

Ćwiczenie 8. KONTROLA ODCHYŁEK KIERUNKU, POŁOŻENIA I BICIA 69

Ćwiczenie 9. POMIARY ODCHYŁEK PROSTOLINIOWOŚCI I PŁASKOŚCI 82

Ćwiczenie 10. KONTROLA KĄTÓW 90

Ćwiczenie 11. POMIAR ZARYSÓW ZA POMOCĄ OPTYCZNEJ GŁOWICY Z2-AŁOWEJ 95

Ćwiczenie 12. KONTROLA ZARYSÓW ZŁOŻONYCH ZA POMOCĄ PROJEKTORA MIERNICZEGO 100

Ćwiczenie 13. KONTROLA ZARYSÓW ZŁOŻONYCH 106

Ćwiczenie 14. PROJEKTOWANIE I ANALIZA KARTY KONTROLNEJ DLA CECH MIERZALNYCH 116

Ćwiczenie 15. BADANIE ZDOLNOŚCI JAKOŚCIOWEJ PROCESÓW 123

Ćwiczenie 16. ANALIZA POWTARZALNOŚCI I ODTWARZALNOŚCI POMIARÓW 127

LITERATURA 130

WIADOMOŚCI WSTĘPNE

1. Regulamin ćwiczeń

- Do wykonania pomiaru należy przystąpić po dokładnym zapoznaniu się z działaniem i elementami obsługi przyrządu. Powinno się przy tym przestrzegać zasady operowania elementami obsługi wskazanymi w instrukcji, aby nie spowodować uszkodzenia lub rozregulowania przyrządu.
- Należy unikać wywierania dużych sił na przyrząd, gdyż może to spowodować jego uszkodzenie.
- Zarówno środki miernicze, jak i przedmioty powinny być przed pomiarem oczyszczone. Środki konserwujące usuwa się przez przemycie w rozpuszczalniku (benzyna, alkohol etylowy) oraz przetarcie tkaniną lub irchą.
- Należy unikać dotykania rękami powierzchni mierniczych, z uwagi na korozyjne działanie potu.
- Po zakończeniu pomiaru należy środki miernicze ponownie przemyć i osuszyć, a następnie pokryć cienką warstwą bezwodnej i bezkwasowej wazeliny.
- Elementów układu optycznego nie należy dotykać ani czyścić bez porozumienia z prowadzącym zajęcia.
- Podczas pomiaru należy chronić sprzęt przed uszkodzeniem.
- Sprzęt mierniczy, jak i przedmioty mierzone powinny mieć temperaturę jednakową, zbliżoną do 20°C. Należy je więc chronić przed nagrzaniem, mając na uwadze, że ciepło może pochodzić zarówno od źródeł zewnętrznych, jak też np. od rąk osoby wykonującej pomiar.

2. Warunki zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych

- **Odrobienie wszystkich ćwiczeń przewidzianych programem zajęć**. W przypadku **usprawiedliwionej** nieobecności na zajęciach należy odpowiednio wcześniej umówić się z prowadzącym na możliwy termin odrabiania zaległości.
- **Przygotowanie się do ćwiczeń na podstawie materiału zawartego w niniejszym opracowaniu oraz wykładu**. Osoby nieprzygotowane nie będą dopuszczone do z2-biania danego ćwiczenia.
  Uwaga: Oprócz znajomości zagadnień z zakresu tematu ćwiczenia realizowanego w danym dniu, zawsze obowiązuje znajomość problematyki omówionej w tym opracowaniu w rozdziale „Wiadomości wstępne”
- **Oddanie sprawozdań z wszystkich ćwiczeń przewidzianych programem zajęć**. Grupa laboratoryjna oddaje przygotowane sprawozdanie (**jeden egzemplarz**) na początku kolejnych zajęć. Jest to warunek dopuszczenia do odrabiania kolejnego ćwiczenia

3. Pojęcia podstawowe

Pomiar wg *Międzynarodowego słownika podstawowych terminów w metrologii –International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (ISO, 1993)* - skrót: VIM - jest to zbiór operacji mających na celu wyznaczenie wartości wielkości.

Błąd pomiaru to różnica pomiędzy wynikiem pomiaru a wartością prawdziwą wielkości mierzonej.

Wartość prawdziwa (rzeczywista) wielkości, czyli wartość zgodna z definicją określonej wielkości**,** jest ze względu na swoją naturę nieznana, stąd też, w nawiązaniu do podanej definicji, wartość błędu pomiaru jest także nieznana. Problem ten stał się podstawą powstania w dziedzinie metrologii teorii niepewności pomiaru**.**

Niepewność pomiarowa to wg słownika VIM parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący **rozrzut wartości**, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej.

Niepewność pomiaru jest wynikiem oddziaływania szeregu przyczyn, do których można zaliczyć m.in.:

- niepełne uwzględnienie oddziaływania czynników otoczenia (np. temperatury),
- niedoskonałości charakterystyk technicznych przyrządu (histereza, rozrzut wskazań, określona rozdzielczość),
- błędy odczytu ze skal analogowych (błąd paralaksy),
- niedokładność użytych wzorców,
- przyjęte uproszczenia i założenia co do metody pomiaru (np. pominięcie wpływu z2-sku mierniczego),
- niedoskonałość realizacyjna definicji mierzonego parametru (np. wykonując pomiar średnicy wałka mikrometrem, poprzez nieprawidłowe ustawienie końcówek pomiarowych mierzy się jedną z cięciw), itp.

Niepewność pomiaru można obliczyć poprzez analizę statystyczną serii wyników pomiarów. Parametrem określającym niepewność pomiaru może być odchylenie standardowe otrzymane w serii n pomiarów (próbie n-elementowej):

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

gdzie*:* x_i – wynik i-tego pomiaru,

$\bar{x}$ - średnia arytmetyczna z serii n pomiarów,

n – liczba pomiarów.

Niepewność pomiaru może być wyrażona jako przedział symetryczny względem wyniku pomiaru, obejmujący (z przyjętym prawdopodobieństwem – tzw. **poziomem ufności P**) wartość prawdziwą wielkości mierzonej. Wówczas, aby wyznaczyć niepewność U należy pomnożyć z2-wność wyrażoną odchyleniem standardowym s przez **współczynnik k**, zależny od **liczby n** pomiarów stanowiących postawę oszacowania odchylenia standardowego oraz przyjętego poziomu ufności P.

$$U = k\, s$$

Przykładowo dla najczęściej przyjmowanego poziomu ufności P=0,95:

n	5	10	20
k	2,8	2.3	2.1

Widać więc, że im liczniejsza próba pomiarowa, tym węższy jest przedział niepewności zawierający z przyjętym prawdopodobieństwem P wartość prawdziwą wielkości mierzonej. Z kolei im wyższy przyjęty poziom ufności P, tym szerszy przedział niepewności (większy współczynnik k).

Uwzględnienie niepewności wyników pomiarów jest niezbędnym elementem w ustaleniu warunków umowy pomiędzy odbiorcą a producentem wyrobów i aspekt ten nie powinien być pominięty. Szczegółowe zasady pozwalające określić kiedy parametry wyrobu lub sprzętu pomiarowego są zgodne lub niezgodne z przyjętą dla tych parametrów tolerancją czy błędami sprzętu pomiarowego ustalono w normie PN-EN ISO 14253.

W zależności od charakteru występowania błędy pomiaru można podzielić na błędy systematyczne i przypadkowe.

Błąd systematyczny to wg VIM różnica pomiędzy średnią z nieskończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonanych w warunkach powtarzalności a wartością prawdziwą wielkości mierzonej.

Warunki powtarzalności obejmują:

- tę samą procedurę pomiarową,
- tego samego obserwatora,
- ten sam przyrząd pomiarowy stosowany w tych samych warunkach,
- to samo miejsce,
- powtarzanie w krótkich odstępach czasu.

Przykładem błędów systematycznych mogą być

- błędy wzorca,
- niedokładności wzorcowania,
- błędy wykonania podziałki,
- niedokładność przekładni,
- niedokładność charakterystyki pomiarowej, a także błędy wynikające np. z:
- ugięcia elementów,
- rozszerzalności cieplnej materiałów w funkcji zmian temperatury.

Ponieważ wartość i znak błędu systematycznego nie zmieniają się, można je wyeliminować dodając do wyniku **poprawkę** *C*. Wartość poprawki odpowiada sumarycznemu błędowi systematycznemu Δ_s, wziętemu z przeciwnym znakiem

$$C = -\Delta s$$

Jeżeli znane są składniki $\Delta s_1, \Delta s_2, \Delta s_3, \ldots$ błędu systematycznego, to jego wartość sumaryczna As jest sumą algebraiczną wartości składowych

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3 + \ldots$$

Ponieważ błędy te mogą mieć różne znaki, mogą się więc kompensować. Wykorzystuje się to szczególnie w tych przypadkach, gdy uniknięcie błędów jest trudne.

Błąd przypadkowy to wg VIM różnica pomiędzy wynikiem pomiaru a średnią z z2-ończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonanych w warunkach powtarzalności.

Błędu przypadkowego nie można uwzględnić jako poprawki, można tylko na podstawie serii pomiarów ustalić z określonym prawdopodobieństwem granice, w których on się znajduje.

Błąd ten powstaje w wyniku działania bardzo wielu trudnych do ustalenia przyczyn, praktycznie niemożliwych do wyeliminowania.

Wartość błędów przypadkowych można zmniejszyć stosując dokładniejszy sprzęt, charakteryzujący się mniejszym rozrzutem wyników pomiaru, stabilizując warunki pomiaru lub z2-

owadzając serię pomiarów tej samej wielkości i wyznaczając średnią wartość wyników pomiarów. Średnia ta z większą dokładnością określa wartość szukanej wielkości.

Jeżeli znane są cząstkowe błędy przypadkowe Δp_1, Δp_2, Δp_3,... powstające z różnych z2-yn, błąd sumaryczny Δp można obliczyć jako sumę geometryczną tych błędów:

$$\Delta p = \sqrt{(\Delta p_1)^2 + (\Delta p_2)^2 + (\Delta p_3)^2 + \ldots}$$

Błędy te nie kompensują się, wystąpienie nowej przyczyny powoduje zwiększenie błędu sumarycznego.

Niektóre błędy nie są powtarzalne, a więc nie należą do błędów systematycznych, a jednocześnie mają duże wartości i występują dużo częściej niżby to wynikało z praw rozkładu błędów przypadkowych. Błędy te zwane są **błędami nadmiernymi** lub **grubymi** - wynikającymi z z2-awidłowego wykonania pomiaru.

Przykładami błędów nadmiernych są: błędny odczyt, pomyłka w zapisie, rozregulowanie układu w trakcie trwania pomiaru, nieprawidłowe usytuowanie przedmiotu mierzonego, błędne obliczenie i wprowadzenie poprawki itp.

Błędy nadmierne należy wyeliminować z serii wyników pomiaru.

Wyniki pomiarów, co do wartości, których istnieje podejrzenie, iż są obarczone **błędami grubymi** należy zbadać przy pomocy testu statystycznego i orzec czy należy uwzględnić je przy opracowywaniu wyników badań czy też odrzucić. Test taki zaproponowany przez F. Grubbsa z2-ega w następujący sposób:

- oszacowanie parametrów $\bar{x}$ - średniej arytmetycznej i s – odchylenia standardowego na podstawie wyników pomiarów danej próbki n-elementowej z uwzględnieniem wyniku "podejrzanego",
- obliczenie statystyk testowych:

$$K_1 = \frac{\bar{x} - x^*}{s} \quad \text{lub} \quad K_2 = \frac{x^* - \bar{x}}{s}$$

w zależności od tego czy "podejrzany" wynik x^* ma zbyt niską lub zbyt wysoką wartość w z2-esieniu do pozostałych,

- porównanie obliczonych wartości K_1 lub K_2 z wartościami krytycznymi odczytanymi z tablic statystycznych dla danej liczności próbki n i przyjętego prawdopodobieństwa P=1-α (poziomu ufności – najczęściej przyjmuje się wartości 0.90, 0.95 lub 0.99). Jeśli obliczona wartość statystyki K_1 lub K_2 jest większa niż wartość krytyczna, należy odrzucić hipotezę, że "z2-zany" wynik należy do tej samej, co pozostałe, populacji. W sytuacji odwrotnej, można dany pomiar uwzględnić w dalszej analizie.

Logiczny ciąg wykonywanych podczas pomiaru operacji, opisanych w sposób ogólny, nosi nazwę **metody pomiarowej.**

Metody pomiarowe można podzielić na:

a) bezpośrednie:
   - metodę bezpośredniego porównania,
   - metodę różnicową,
   - metodę zerową,
b) pośrednie.

Metoda bezpośrednia jest to taki sposób pomiaru, w którym wynik pomiaru otrzymuje się na podstawie wskazania przyrządu wywzorcowanego w jednostkach miary wielkości mierzonej.

Metoda bezpośredniego porównania polega na porównaniu całkowitej wartości wielkości mierzonej ze znaną wartością wzorcową tej wielkości, wchodzącą bezpośrednio do pomiaru, czyli wskazanie K przyrządu stanowi wynik X pomiaru

$$X = K$$

Błąd systematyczny ΔX_S i przypadkowy ΔX_p wyniku pomiaru są tożsame z błędem systematycznym ΔK_s i przypadkowym ΔK_p wskazania:

$$\Delta X_s = \Delta K_s$$

Metoda różnicowa polega na odjęciu od wielkości mierzonej X znanej wartości wzorcowej W i pomiarze otrzymanej różnicy K metodą bezpośredniego porównania. A więc wartość wielkości mierzonej można obliczyć ze wzoru

$$X = W + K$$

Na wartość błędu wyniku pomiaru ΔX wpływają zarówno błąd wzorca ΔW jak i wskazania ΔK:

$$\Delta X_S = \Delta W_S + \Delta K_s$$
$$\Delta X_p = \sqrt{(\Delta W_p)^2 + (\Delta K_p)^2}$$

gdzie: ΔX_S, ΔW_S, ΔK_S - błędy systematyczne wyniku, wzorca i wskazania,
ΔX_p, ΔW_p, ΔK_p - błędy przypadkowe wyniku, wzorca i wskazania.

Przykładem realizacji tej metody jest ważenie na wadze sklepowej z użyciem odważników, pomiar długości z użyciem wzorców długości (płytek wzorcowych) itp.

Metoda zerowa polega na badaniu różnicy między wielkością mierzoną a wzorcową i takiej zmianie wielkości wzorcowej, aby tę różnicę sprowadzić do zera. Stąd wynik pomiaru X jest równy wartości wzorca:

$$X = W$$

Na błąd pomiaru wielkości mierzonej X wpływa nie tylko błąd wartości wzorca ΔW, ale także błąd wskazania równości tych wielkości. Wzory na błąd pomiaru: systematyczny ΔX_S i z2-dkowy ΔX_p są podobne jak w metodzie różnicowej:

$$\Delta X_s = \Delta W_s + \Delta K_s$$
$$\Delta X_p = \sqrt{(\Delta W_p)^2 + (\Delta K_p)^2}$$

Przykładem realizacji tej metody jest pomiar masy na wadze laboratoryjnej dwu-szalkowej.

Metoda pośrednia polega na bezpośrednim pomiarze innych wielkości, związanych z wielkością szukaną znaną zależnością. Z zależności tej wyznacza się wartość X mierzonej wielkości:

$$X = f(A,B,C,...)$$

gdzie: A, B, C - wielkości mierzone bezpośrednio.

Wpływ błędów pomiaru wielkości A, B, C na wartość błędu pomiaru wartości wielkości X można wyznaczyć rozwijając funkcję $X = f(A,B,C,...)$ w szereg Taylora. Pomijając wyrazy z wyższymi pochodnymi, zmianę wartości ΔX można wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta X = \frac{\partial f}{\partial A}\Delta A + \frac{\partial f}{\partial B}\Delta B + \frac{\partial f}{\partial C}\Delta C + \ldots$$

gdzie: $\frac{\partial f}{\partial A}, \frac{\partial f}{\partial B}, \frac{\partial f}{\partial C}, \ldots$ pochodne cząstkowe funkcji, wyznaczone względem zmiennych *A, B, C,...*;

$\Delta A, \Delta B, \Delta C, \ldots$ - przyrosty zmiennych *A, B, C.*

Stosując zasady sumowania błędów systematycznych i przypadkowych można napisać wzory na odpowiednie błędy:

$$\Delta X_s = \frac{\partial f}{\partial A}\Delta A_s + \frac{\partial f}{\partial B}\Delta B_s + \frac{\partial f}{\partial C}\Delta C_s$$

$$\Delta X_p = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\Delta A_p\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\Delta B_p\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\Delta C_p\right)^2 + \ldots}$$

Przykład 1

Wyznaczyć wartość graniczną błędu przypadkowego wyniku pomiaru powierzchni prostokąta, którego boki ustalone w wyniku pomiaru wynoszą: A = 30 ± 0,1 mm, B = 50 ± 0,2 mm.

Powierzchnia X prostokąta określona jest wzorem

$$X = A \cdot B = 30 \cdot 50 = 1500\ mm^2$$

Graniczną wartość błędu przypadkowego określa wzór

$$X_p = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\Delta A_p\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\Delta B_p\right)^2}$$

Pochodna cząstkowa funkcji względem zmiennej A wynosi (B przyjmuje się jako const.)

$$\frac{\partial f}{\partial A} = B = 50$$

Pochodna cząstkowa funkcji względem zmiennej B wynosi (A = const.)

$$\frac{\partial f}{\partial B} = A = 30$$

Stąd

$$\Delta X_p = \sqrt{\left(B \cdot \Delta A_p\right)^2 + \left(A \cdot \Delta B_p\right)^2} = \sqrt{50 \cdot 0{,}1^2 + 30 \cdot 0{,}2^2}$$

$$\Delta X_p = \sqrt{61} = 7{,}8 mm^2$$

Wyniki pomiaru powierzchni prostokąta można podać w postaci:

$$X = 1500 \pm 7{,}8 mm^2$$

Przykład 2

Wyznaczyć graniczną wartość wyniku pomiaru X określonego wzorem

$$X = M - D(1 + ctg\alpha)$$

Ustalone w wyniku bezpośredniego pomiaru wartości parametrów wynoszą: $M = 100 \pm 0{,}05$ mm, $D = 10 \pm 0{,}002$ mm, $\alpha = 60° \pm 30''$

Wartość wyniku pomiaru:

$$X = M - D(1 + ctg\alpha)$$
$$X = 100 - 10(1 + ctg60^{o}) = 84{,}226 mm$$

Pochodne cząstkowe funkcji względem poszczególnych parametrów można obliczyć:

$$\frac{\partial X}{\partial M} = 1$$
$$\frac{\partial X}{\partial D} = -(1 + ctg\alpha) = -1 - ctg60^{\circ} = -1{,}577$$
$$\frac{\partial X}{\partial \alpha} = -D\frac{-1}{\sin^2\alpha} = \frac{D}{\sin^2\alpha} = \frac{10}{\sin^2\alpha} = 13{,}33$$

Stąd można obliczyć

$$\Delta X_p = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial M}\Delta M\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial D}\Delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha}\Delta \alpha\right)^2} =$$
$$= \sqrt{(1 \cdot 0{,}05)^2 + (-1{,}577 \cdot 0{,}002)^2 + (13{,}33 \cdot 0{,}00015)^2} =$$
$$= \sqrt{0{,}002514} = \pm 0{,}05014$$

Wynik można podać w postaci

$$X = 84{,}226 \pm 0{,}05014$$
$$X \approx 84{,}23 \pm 0{,}05$$

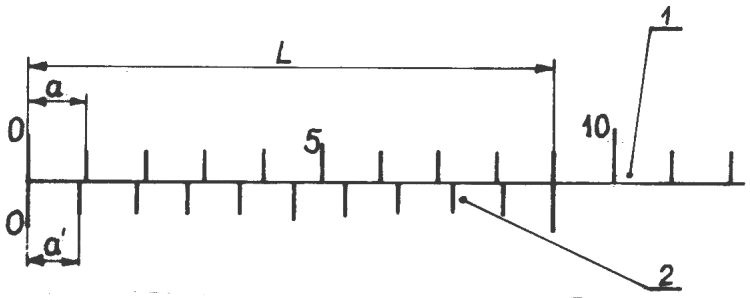
4. Noniusze

Noniusz jest to pomocnicza podziałka, służąca do powiększenia dokładności odczytania wartości mniejszych od działki elementarnej podziałki głównej.

Zastosowanie noniusza zmniejsza w znacznym stopniu błędy subiektywnej oceny „na oko" części działki, popełniane przy odczytaniu.

4.1. Parametry noniusza

Noniusz określają następujące parametry (rys. 1):



Rys. 1. Parametr noniusza: 1 — podziałka główna, 2 — podziałka noniusza

a - wartość działki elementarnej podziałki głównej (podziałki wzorca),
a' - wartość działki elementarnej podziałki noniusza,
L_n - długość noniusza mierzona w działkach podziałki głównej,
n - liczba działek elementarnych noniusza,
γ - moduł noniusza,
Δ - dokładność odczytania noniusza,
$\pm$ - typ noniusza.

Parametry te są związane następującymi zależnościami:

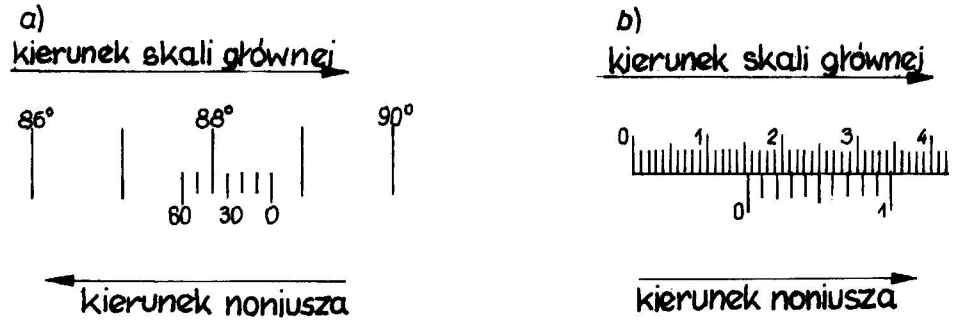
$$L = a'n = a(\gamma n \pm 1)$$

$$\Delta = \frac{a}{n}$$

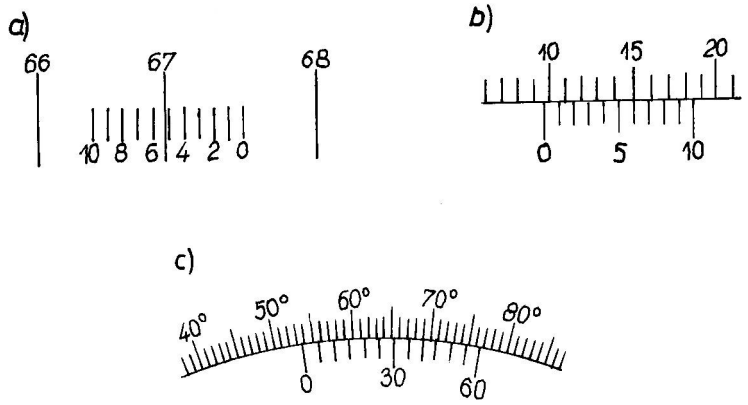
4.2. Określanie parametrów noniuszy

Spośród siedmiu parametrów noniusza łatwo ustalić

- wartość działki elementarnej a podziałki (skali) głównej, którą określa się na podstawie znajomości rodzaju podziałki i jej opisu;
- liczbę działek noniusza n, przez ich policzenie;
- długość noniusza L_n, przez ustawienie obu podziałek tak, aby ich początki pokryły się - wtedy ostatnia kreska noniusza pokrywa się z odpowiednią kreską podziałki głównej, wyznaczając jego długość w jednostkach podziałki głównej (rys. 1).
- typ noniusza, porównując kierunki podziałek: głównej i noniusza. Jeżeli są zgodne - noniusz jest ujemny (typ -), jeżeli przeciwne - dodatni (typ +) - rys. 2;
- moduł noniusza, który wiąże się ze stosunkiem długości działek noniusza i podziałki głównej. W praktyce stosuje się tylko moduły **0, 1, 2**.



Rys. 2. Przykłady noniusza różnych typów: a) typ dodatni, b) typ ujemny



Rys. 3. Przykłady noniuszy o różnych modułach: a) $\gamma = 0$, b) $\gamma = 1$, c) $\gamma = 2$

Moduł noniusza można ustalić w trzech praktycznie występujących przypadkach w z2-ępujący sposób:

$\gamma = 0$, typ +	$\gamma = 1$, typ –	$\gamma = 2$, typ -
L = a	$a' \approx a$	$a' \approx 2a$

Można więc powiedzieć, że:
- przy $\gamma = 0$ całkowita długość noniusza równa jest jednej działce podziałki skali głównej,
- przy $\gamma = 1$ długości działek noniusza i podziałki głównej są w przybliżeniu równe,
- przy $\gamma = 2$ długość działki elementarnej noniusza jest w przybliżeniu dwukrotnie większa od długości działki elementarnej podziałki głównej.

Przykłady noniuszy o różnych modułach przedstawione są na rys. 3. Moduł $\gamma = 0$ stosuje się, gdy długość działki elementarnej jest duża (np. w przyrządach optycznych 5 - 100 mm). Moduł $\gamma = 1$ jest najczęściej stosowany, występuje przy średniej długości działki elementarnej podziałki głównej (0,8 – 3 mm). Moduł $\gamma = 2$ stosuje się, gdy działka elementarna podziałki głównej jest mała (0,5 - 1 mm), dla ułatwienia odczytania.

4.3. **Odczytanie wskazania z zastosowaniem noniusza**

Całkowitą liczbę działek podziałki głównej $k \cdot a$ odcina zerowa kreska noniusza (na rys. 4 są to odpowiednio 68,6; 33; 105°). Noniusz ułatwia określenie części x podziałki głównej. Z rysunku widać, że

$$x = z - y$$

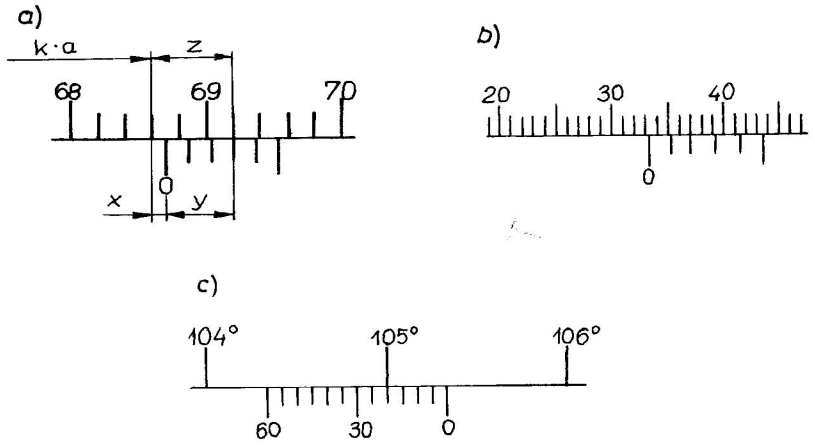
gdzie: z - odcinek podziałki głównej do kreski, która pokrywa się z jedną z kresek noniusza,
y - odcinek podziałki noniusza od kreski początkowej do kreski pokrywającej się z kreską podziałki głównej:

$$z = m \cdot a \cdot \gamma$$
$$y = m \cdot a'$$

gdzie: m - liczba działek na odcinkach z i y, czyli numer kreski noniusza, która pokrywa się z kreską podziałki głównej

$$x = m \cdot \gamma \cdot a - m \cdot a' = m(\gamma a - a')$$

$$x = m \cdot \Delta = m \cdot \frac{a}{n}$$



Rys. 4. Przykłady wskazań noniuszy

Odczytanie wskazania:
- ustalić całkowitą część wskazania $k \cdot a$,
- ustalić numer kreski m pokrywającej się z podziałką główną,
- obliczyć ułamkową część wskazania x,
- zsumować całkowitą i ułamkową część wskazania.

Na rys. 4a wskazanie noniusza wynosi więc:

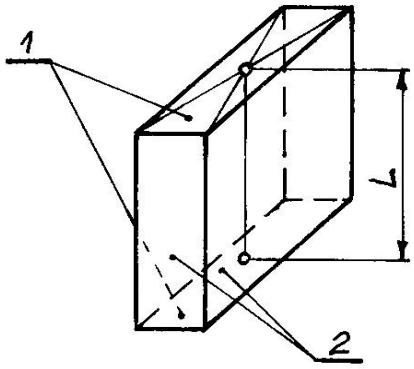
$$K = k \cdot a + x = k \cdot a + m\frac{a}{n} = 68{,}6 + 3 \cdot \frac{0{,}2}{5} = 68{,}6 + 0{,}12$$

$$K = 68{,}72$$

Podobnie na rys. 4b i c wskazania wynoszą 33,4 oraz 105°20'.

5. Płytki wzorcowe

Płytki wzorcowe stosuje się w zakładach produkcyjnych i laboratoriach pomiarowych jako końcowe wzorce długości. Są to (rys. 5) prostopadłościany ze stali narzędziowej, o twardości nie mniejszej niż 62 HRC. Ich lustrzane powierzchnie są powierzchniami mierniczymi. Odległość L między tymi powierzchniami jest nominalnym wymiarem płytki. Płytki wzorcowe nasunięte na siebie powierzchniami mierniczymi mocno do siebie przywierają. Własność ta umożliwia składanie ich w zestawy, czyli stosy wymiarowe o dowolnej wartości, które stanowią wzorce długości. Płytki nie przywierają do siebie już wówczas, jeżeli między nimi znajdzie się nierówność o wartości 0,2 μm, czyli złożony stos zapewnia dużą dokładność wymiaru. Norma PN-EN ISO 3650:2000 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) - Wzorce długości - Płytki wzorcowe, dzieli płytki pod względem dokładności na cztery klasy - z2-adniejsza - kl. 00, następnie klasy 0, 1, 2 (najmniej dokładna).



Rys. 5. Płytka wzorcowa: 1 — powierzchnie miernicze, 2 — powierzchnie boczne

Tolerancje wymiarów płytek w różnych klasach podają odpowiednie wzory. Podstawą klasyfikacji kompletu jest najmniej dokładna, zawarta w nim płytka. W zależności od ilości płytek spotyka się komplety małe (47), średnie (76) i duże (103 płytki). Ponadto istnieją komplety uzupełniające mikronowe i setkowe, które umożliwiają stopniowanie wymiarów z2-wiednio co 0,001 i 0,01 mm, oraz komplety uzupełniające duże i małe wymiary.

Najdokładniejszy komplet płytek w danym laboratorium jest kompletem podstawowym i służy do sprawdzania innych kompletów, sam zaś jest wzorcowany przez uprawnione laboratorium. Kontrole te gwarantują jednolitość miar we wszystkich laboratoriach w kraju.

5.1. Posługiwanie się płytkami wzorcowymi

1) Ustalić wymiary płytek wchodzących w skład zestawu. Liczba płytek powinna być możliwie najmniejsza z uwagi na sumowanie błędów, wynikających ze składania. Dobór płytek zaczyna się od wymiaru odpowiadającego ostatnim miejscom dziesiętnym wyniku, np. dla wymiaru 26,375 mm:

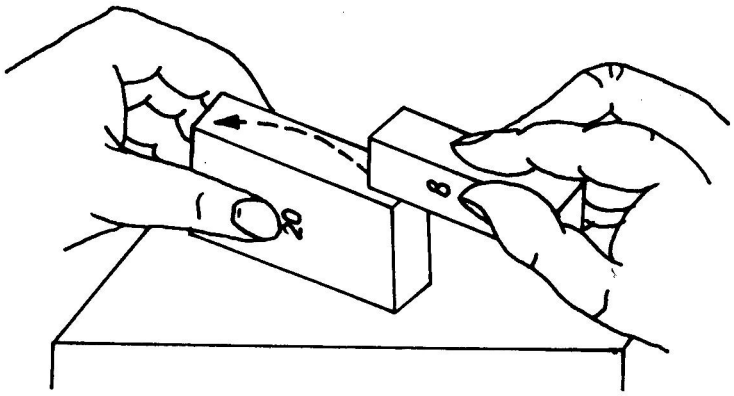
I	płytka	1,005	reszta 25,370
II	płytka	1,370	reszta 24,000
III	płytka	4,000	reszta 20,000
IV	płytka	20,000	reszta 0,000
	Razem	**26,375**	

Oczywiście przy wyborze płytek trzeba zwracać uwagę, czy płytki o danym wymiarze znajdują się w komplecie.

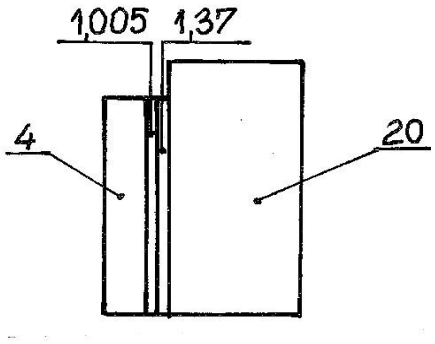
2) Wyjąć wybrane płytki z kasety i ułożyć je na podstawce lub kartce czystego papieru.

3) Umyć starannie płytki za pomocą miękkiego pędzla w spirytusie lub benzynie i wytrzeć. Płytki małe, których nie można kłaść na powierzchniach bocznych, należy z2-ć bezpośrednio przed składaniem.

4) Złożyć stos przez nasunięcie płytek na siebie albo przez złożenie ich powierzchniami mierniczymi w środku i obrót (rys. 6). Płytkę większą opiera się na stole, mniejszą - trzyma się w prawej ręce i nasuwa, lekko dociskając. W złożonym stosie płytki z2-eńsze powinny znajdować się w środku, celem zabezpieczenia ich przed wygięciem (rys. 7).



Rys. 6. Sposób składania płytek wzorcowych

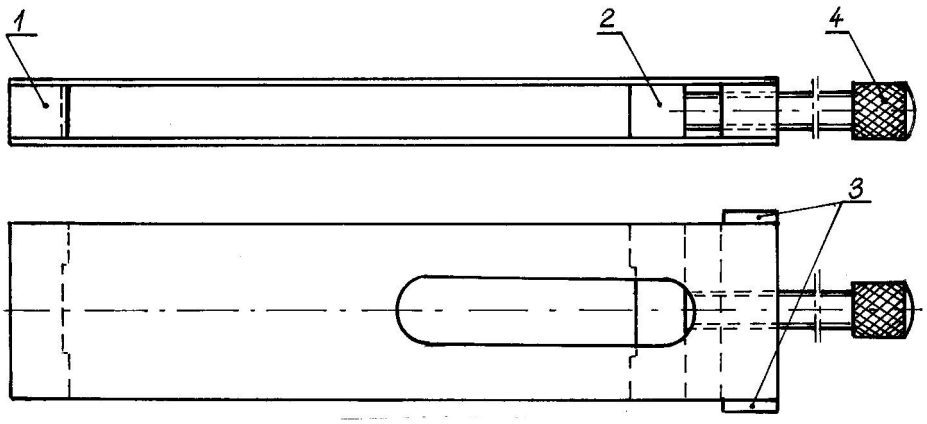


Rys. 7. Zestaw płytek wzorcowych

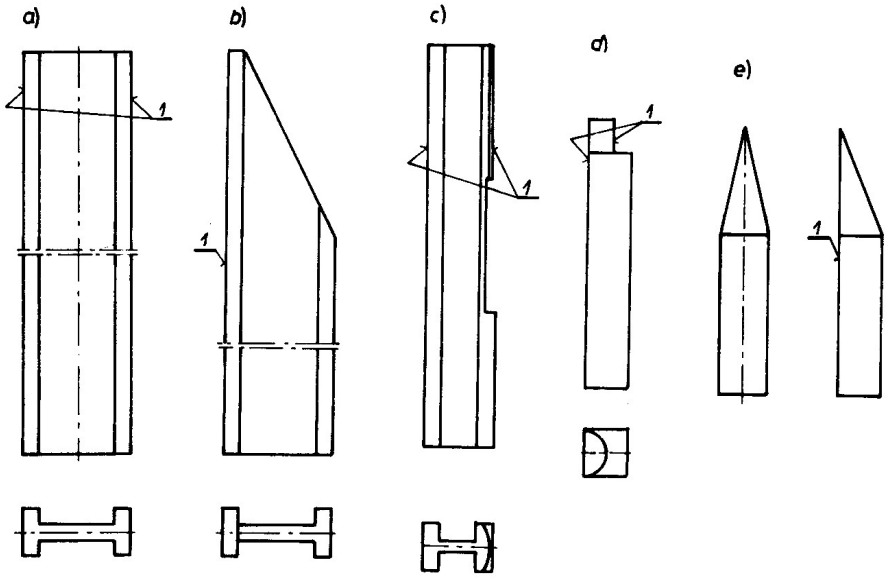
5) Jeżeli płytki przy pomiarze stykać się będą z ostrymi krawędziami przedmiotu mierzonego, to na jednym lub obu końcach należy nałożyć tzw. płytki ochronne, wykonane ze spiekanych węglików metali lub materiałów ceramicznych, odznaczających się dużą twardością i odpornością na ścieranie. Mają one zazwyczaj wymiar 1 lub 2 mm, co oczywiście trzeba uwzględnić przy obliczaniu wymiarów płytek w stosie.
6) Płytki nie powinny pozostawać długo w stanie złożonym w zestaw, gdyż to z2-iesza ich korozję. Natychmiast po wykorzystaniu trzeba je więc rozdzielić.
7) Rozłożyć zestaw, zsuwając płytki pojedynczo ze stosu. Uważać, by ostrymi krawędziami nie porysować gładzi powierzchni mierniczych.
8) Umyć płytki i posmarować, nie dotykając powierzchni mierniczych palcami. Ułożyć je w odpowiednich miejscach w kasecie.

5.2. Oprzyrządowanie płytek wzorcowych

Pomocnicze przybory zwiększają znacznie zakres zastosowania płytek. Należą do nich głównie uchwyty do płytek (rys. 8) i wkładki (rys. 9). Płytki łącznie z wkładkami, zamocowane w uchwycie, mogą tworzyć wzorce wymiarów wewnętrznych.



Rys. 8. Uchwyt do płytek wzorcowych; 1 - płytka oporowa; 2 - płytka dociskowa, 3 - przyciski wyłączające z2-ętkę dwudzielną, 4 - śruba dociskowa



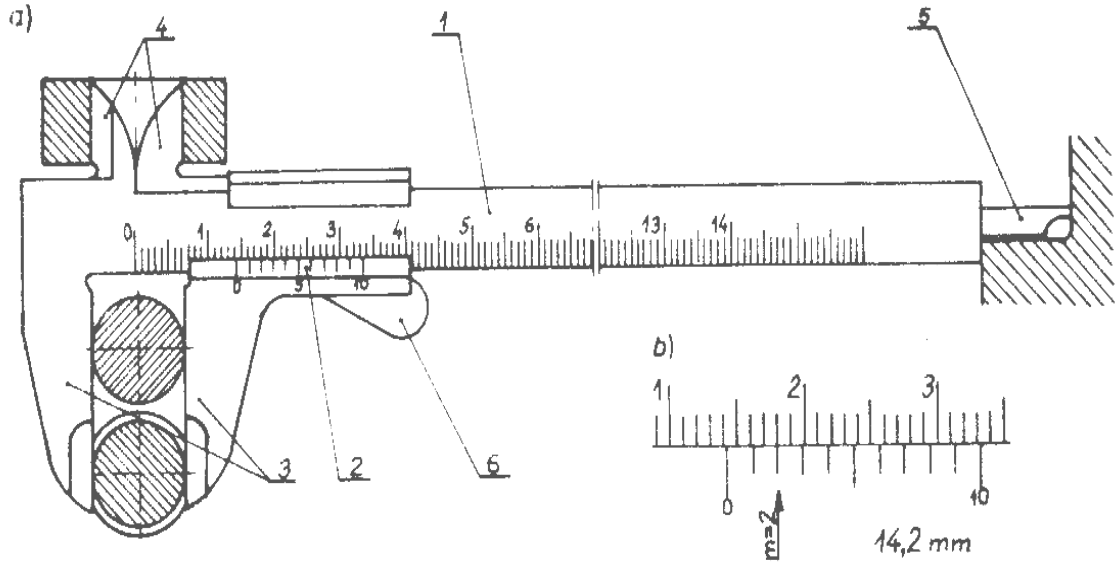
Rys. 9. Wkładki do płytek wzorcowych: a) wkładka płasko-równoległa, b) wkładka płasko-ścięta, c), d) wkładki płasko-walcowe, e) rysik; 1- powierzchnie miernicze

Ćwiczenie 1

KONTROLA WYMIARÓW ZEWNĘTRZNYCH

1.1. Pomiar suwmiarką

Suwmiarka (rys. l.l a) jest przyrządem zaopatrzonym w noniusz. Służy ona do mierzenia wymiarów zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych.



Rys. 1.1. Suwmiarka uniwersalna: a) widok, b) wskazanie noniusza; 1 — prowadnica, 2 - suwak z noniuszem, 3 - szczęki do pomiaru wymiarów zewnętrznych, 4 - szczęki do pomiaru wymiarów wewnętrznych, 5 - wysuwka głębokościomierza, 6 — dźwignia zacisku

Używane obecnie powszechnie suwmiarki elektroniczne nie są wbrew pozorom z2-ądami zapewniającymi większą dokładność pomiaru w stosunku do przyrządów klasycznych, ale dają możliwość bezpośredniego transferu wyniku pomiaru do komputera, urządzeń rejestrujących (drukarek) lub do tzw. zbieraczy danych, co jest bardzo przydatne w późniejszej analizie statystycznej wyników.

1.1.1. Przebieg pomiaru

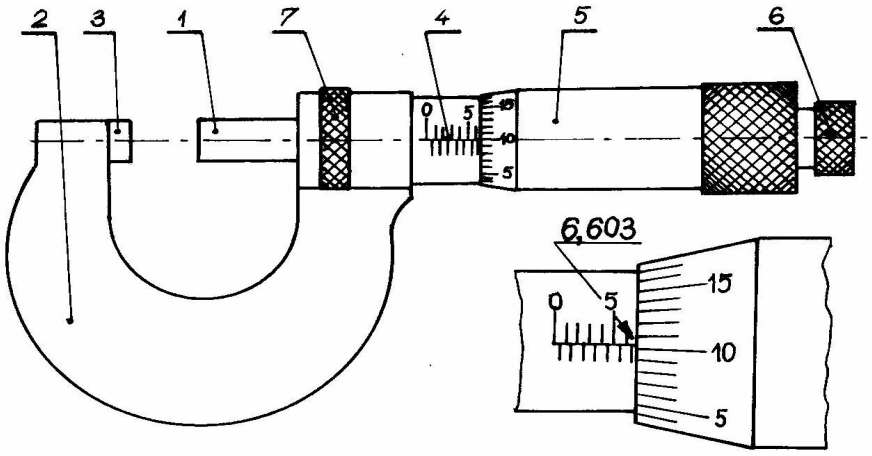
1) Sprawdzić wskazanie zerowe suwmiarki (złożyć szczęki, sprawdzić, czy nie ma szczeliny i sprawdzić poprawność wskazania zerowego),
2) Zwolnić zacisk i objąć szczękami przedmiot (szczęki powinny być przyłożone prostopadle do powierzchni mierzonej i obejmować je możliwie głęboko – blisko prowadnicy),
3) Docisnąć szczęki do przedmiotu i odczytać wymiar.

Odczytując wymiar należy brać pod uwagę, że:
- pełną liczbę milimetrów wskazuje zerowa kreska noniusza na skali stałej (głównej),
- ułamek milimetra oblicza się ze wzoru:

$$x = m \cdot \frac{a}{n}$$

gdzie: *m* - numer kreski noniusza, pokrywającej się z kreską skali głównej,
a - wartość działki skali głównej,
n - liczba działek noniusza. Przykład odczytu podany jest na rys. l.lb.

1.2. Pomiar mikrometrem



Rys. 1.2. Mikrometr; 1 - wrzeciono, 2 - kabłąk, 3 - kowadełko, 4 - podziałka wzdłużna, 5 - bęben z podziałka z2-dową, 6 - sprzęgło, 7 - zacisk

Mikrometr (rys. 1.2) jest przyrządem służącym głównie do pomiarów wymiarów z2-ętrznych. Przebieg pomiaru jest podobny jak przy pomiarze suwmiarką. Należy zwrócić uwagę, by powierzchnie miernicze kowadełek były prostopadłe do wymiaru mierzonego. z2-sk mierniczy wywiera się za pomocą sprzęgła, które gwarantuje jego stałą i określoną wartość.

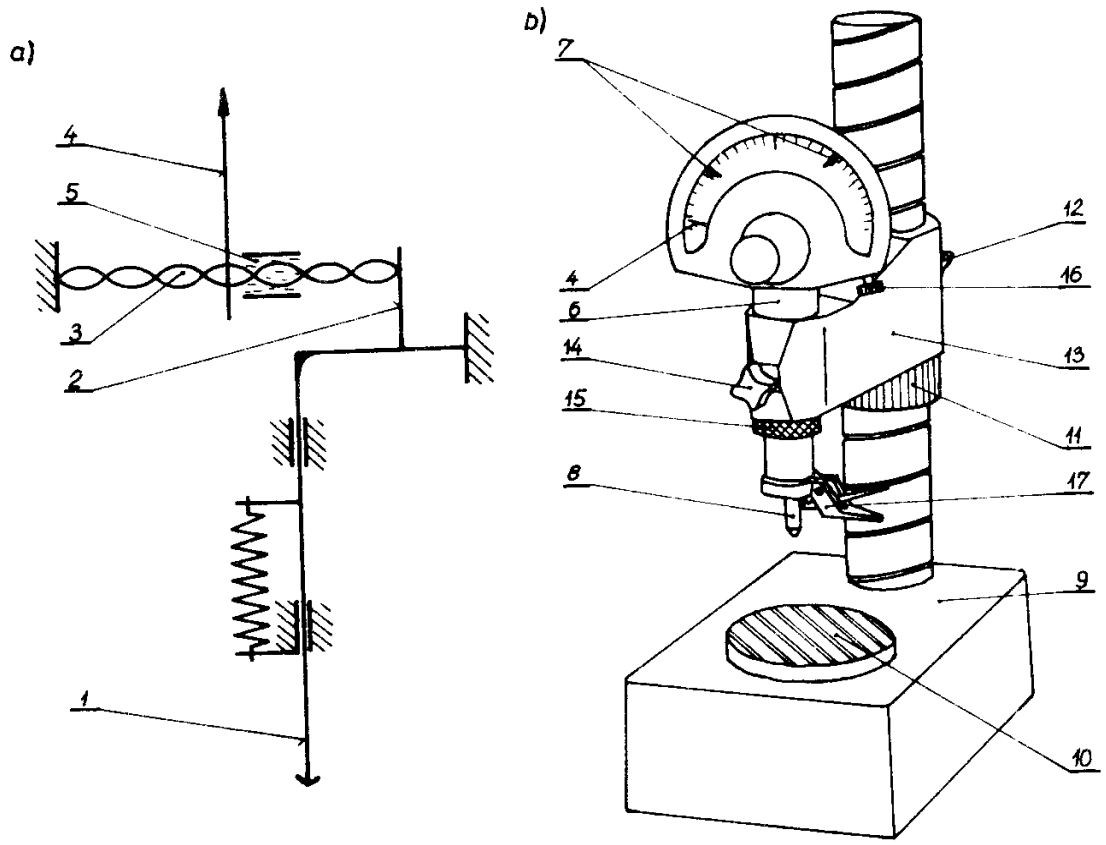
Ponieważ jeden obrót bębna mikrometru powoduje przesunięcie wrzeciona o 0,5mm, więc wartość działki elementarnej skali głównej, naciętej wzdłuż bębna, wynosi 0,5 mm, a skala na obwodzie bębna ma działkę równą $\frac{1}{50}$ przesunięcia przy pełnym obrocie, czyli 0,01 mm.

Podobnie jak w przypadku suwmiarek, powszechnie wykorzystuje się obecnie mikrometry elektroniczne. Stanowić one mogą element systemu, w którym wyniki pomiarów są automatycznie gromadzone i poddawane obróbce statystycznej.

1.3. Pomiary za pomocą mikrokatora

1.3.1. Zasada działania i budowa mikrokatora

Mikrokator jest czujnikiem sprężynowym, przeznaczonym do pomiaru wymiarów z2-ętrznych metodą różnicową. Schemat mikrokatora przedstawiony jest na rys. 1.3.a.



Rys. 1.3. Mikrokator: a) zasada działania, b) widok mikrokatora na podstawie; 1 - trzpień mierniczy, 2 - sprężyna kątowa, 3 - sprężyna śrubowa, 4 - wskazówka, 5 - tłumik, 6 - korpus mikrokatora, 7 - wskaźnik tolerancji, 8 - końcówka miernicza, 9 - podstawa, 10 - stół przedmiotowy, 11 - pokrętło przesuwu ramienia, 12 - zacisk przesuwu ramienia, 13 - ramię, 14 - zacisk mikrokatora w ramieniu, 15 - pokrętło przesuwu dokładnego, 16 - pokrętło obrotu skali, 17 - dźwignia podnoszenia końcówki mierniczej

Trzpień mierniczy 1 unosząc się ugina sprężynę kątową 2, która z kolei powoduje zmianę napięcia sprężyny śrubowej 3. Sprężyna ta zwinięta jest z paska folii o wymiarach 0,005 x 0,25 mm od środka, z jednej strony w prawo, z drugiej - w lewo. W środku umieszczona jest wskazówka. Zmiana napięcia sprężyny powoduje obrót wskazówki w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny rysunku. Sprężyna jest zanurzona w rurce 5 z kroplą gliceryny, która spełnia rolę tłumika. Wygląd zewnętrzny czujnika wraz z elementami obsługi s2-awiony jest na rys. 1.3b.

1.3.2. Przebieg pomiaru

1) Złożyć stos płytek wzorcowych na wymiar nominalny i postawić go na stoliku z2-ądu.
2) Odblokować przesuw ramienia po kolumnie.
3) Przesunąć ramię po kolumnie, doprowadzając końcówkę do styku z płytkami i z2-okować przesuw.
4) Ustawić wskazówkę w pobliżu zera przy pomocy górnego pierścienia (rys. 1.3b) przesuwając mikrokator w ramieniu.
5) Poprawić ustawienie zera przez obrót tarczy z podziałką.
6) Wyjąć stos płytek i włożyć przedmiot mierzony.
7) Odczytać odchyłki, zwracając uwagę na ich kierunek.

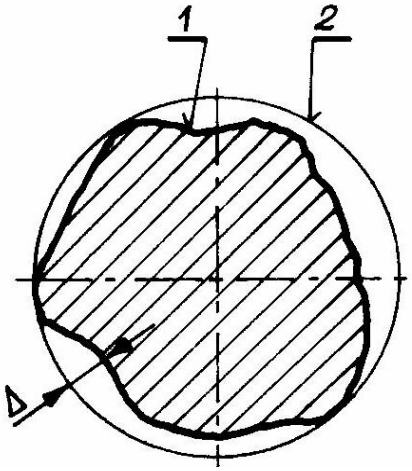
8) Sprawdzić ustawienie zera za pomocą stosu płytek. Jeżeli jest nieprawidłowe, powtórzyć ustawienie i pomiar.

Dla poprawnie przeprowadzonego pomiaru przeciętny błąd pomiaru nie przekracza ±1% wartości wskazania.

Uwaga: W przypadku dostępności na stanowisku **optimetru pionowego** lub innego dokładnego przyrządu czujnikowego, należy zapoznać się z zasadami ich obsługi podanymi w **ćwiczeniu nr 3** lub z instrukcją dostarczoną przez prowadzącego.

1.4. Kontrola odchyłek kształtu

1.4.1. Pojęcie podstawowe



Rys. 1.4. Idea praktycznego określenia wartości odchyłki okrągłości

Odchyłka kształtu (tj. odchyłka prostoliniowości, płaskości, okrągłości i walcowości) **jest miarą maksymalnego odchylenia rzeczywistego zarysu przedmiotu od jego kształtu nominalnego** (projektowego), przy czym kształt nominalny jest zdefiniowany jako idealny geometrycznie (odpowiednio - prosta, płaszczyzna, okrąg, walec) [10].

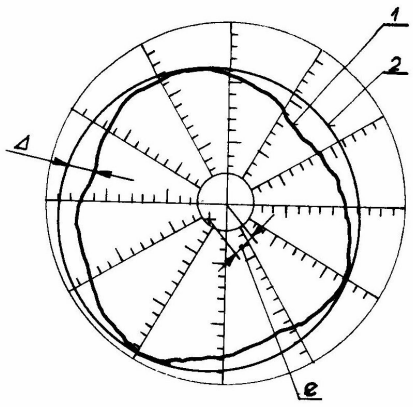
Ocena wartości odchyłki kształtu powinna być dokonywana tzw. metodą minimalnej strefy. Wg tej metody zarys rzeczywisty przedmiotu powinien być zawarty pomiędzy dwoma elementami nominalnymi (tzn. równoległymi liniami prostymi – w przypadku prostoliniowości, równoległymi płaszczyznami – w przypadku płaskości, współśrodkowymi okręgami – w przypadku okrągłości lub współosiowymi walcami) znajdującymi się w najmniejszej możliwej odległości od siebie, nie przekraczającej zadanej wartości tolerancji kształtu.

W praktyce pomiarowej odchyłki kształtu powierzchni walcowych, wyznaczać jednak można w następujący sposób:

- **odchyłkę okrągłości** – jako największa odległość punktów zarysu rzeczywistego 1 w z2-oju poprzecznym od okręgu przylegającego 2 (rys. 1.4),
- **odchyłkę walcowości** - jako największa odległość punktów zarysu rzeczywistego 1 w przekroju wzdłużnym od zarysu (walca) przylegającego.

Przy określaniu odchyłki okrągłości (walcowości) zarysem przylegającym jest okrąg (walec) styczny do zarysu przekroju poprzecznego (wzdłużnego) na zewnątrz materiału i położony tak, aby największa odległość między nim a zarysem przedmiotu była najmniejsza ze wszystkich możliwych.

1.4.2. Zasada kontroli odchyłki okrągłości

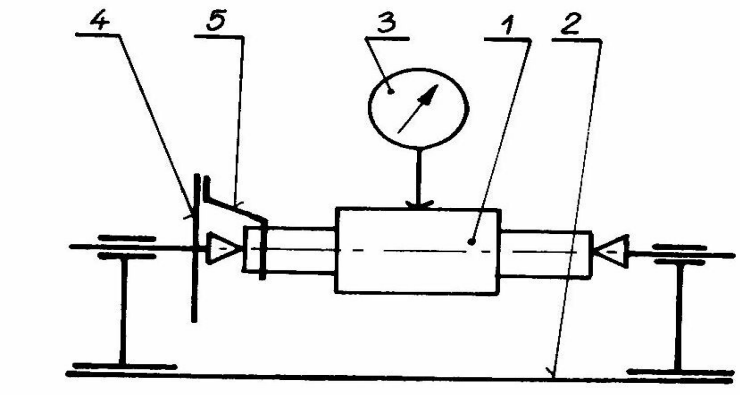


Rys. 1.5. Odtworzenie zarysu przedmiotu we współrzędnych biegunowych: 1 - zaobserwowany zarys przedmiotu, 2 - okrąg przylegający, Δ – odchyłka okrągłość, e - mimośrodowość zarysu

Zasada kontroli odchyłki okrągłości na stanowisku badawczym polega na mierzeniu różnic odległości poszczególnych punktów zarysu od osi obrotu, którą w tym przypadku stanowi oś nakiełków. Ponieważ punkt obrotu może nie pokrywać się ze środkiem okręgu z2-gającego, z uwagi na nieuniknioną niewspółosiowość osi rozpatrywanej powierzchni i osi z2-ełków, wyniki pomiaru zawierają także mimośrodowość zarysu względem punktu obrotu. Wyniki te nanosi się na wykres biegunowy (rys. 1.5) i dopasowuje do niego odpowiedni okrąg przylegający, spełniający warunki podane wcześniej. Odchyłką okrągłości (*Δ*) jest największa odległość zarysu rzeczywistego *1* od okręgu przylegającego *2* (rys. 1.5). Odległość między środkiem okręgu odniesienia a środkiem układu współrzędnych biegunowych stanowi mimośrodowość *e* zarysu względem osi nakiełków.

Powiększenie wykresu należy dobrać tak, aby stosunek największego i najmniejszego wskazania był nie większy od 2.

1.4.3. Przebieg pomiaru



Rys. 1.6. Schemat układu do pomiaru nieokrągłości przedmiotu mocowanego w kłach; 1 - przedmiot mierzony, 2 - urządzenie kłowe, 3 - czujnik na podstawie, 4 - skala kątowa, 5 - przeciwwskaźnik

1) Zamocować przedmiot mierzony w kłach (rys. 1.6).
2) Zamocować na przedmiocie przeciwwskaźnik kąta obrotu.
3) Zetknąć czujnik z powierzchnią badaną tak, aby jego oś przecinała się z osią s2-otu. Nacisk wstępny czujnika o działce 0,001 mm powinien wynosić kilkanaście działek.

4) Kilkakrotnie obrócić przedmiot o kąt pełny, odczytać największą różnicę wskazań czujnika.
5) Znaleźć największy promień przedmiotu (największe wskazanie czujnika) i ustawić czujnik na zero.
6) Znając największą różnicę wskazań czujnika tak dobrać powiększenie wykresu, aby odchyłka nie przekroczyła połowy promienia wykresu.
7) Obracając przedmiot w jednym kierunku (nie cofać) o określony kąt (np. co 15°) z2-ytywać wskazanie czujnika i nanosić je na wykres biegunowy, przyjmując największy okrąg za zero,
8) Połączyć cienką linią ciągłą punkty na wykresie.
9) Dopasować okrąg odniesienia posługując się siatką w postaci szeregu kół współ-środkowych na przezroczystej płytce.
10) Określić największą nieokrągłość zarysu.
11) Ocenić przedmiot.

1.5. Pomiar średnicy podziałowej gwintu za pomocą mikrometru do gwintu

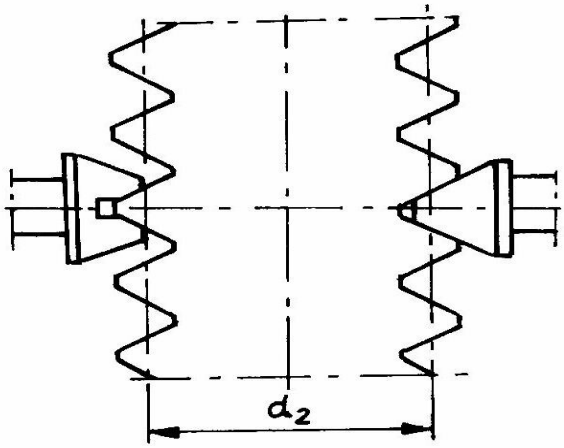
Mikrometr ten jest przeznaczony do pomiaru średnicy podziałowej gwintów z2-ętrznych metodą bezpośredniego porównania.

1.5.1. Zasada pomiaru

We wrzeciono i kowadełko mikrometru mocuje się odpowiednie końcówki i bezpośrednio mierzy średnicę podziałową gwintu (rys. 1.7). Końcówki te są wymienne w zależności od kąta zarysu i skoku gwintu.

Błąd pomiaru w dużym stopniu zależy od błędu skoku i kąta zarysu gwintu i wynosi 0,02 - 0,2 mm.

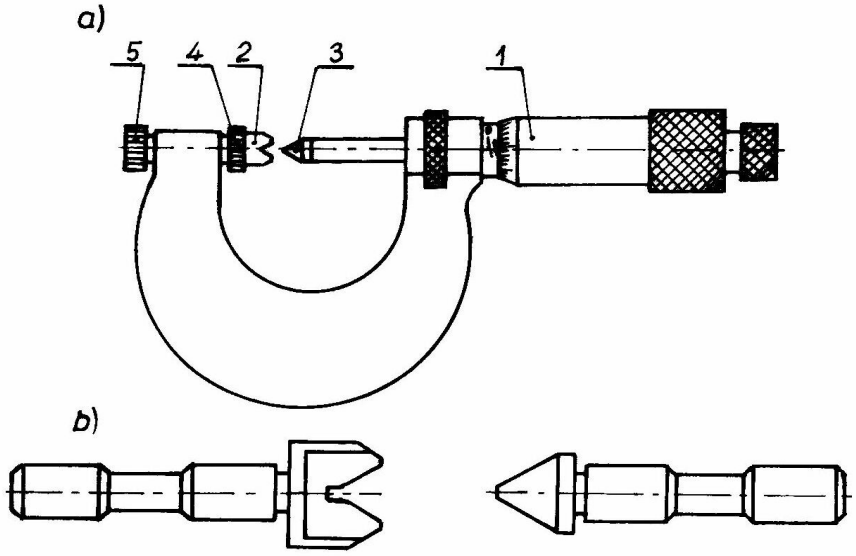
1.5.2. Przebieg pomiaru



Rys. 1.7. Zasada pomiaru średnicy podziałowej za pomocą mikrometru do gwintu

1) Wybrać i założyć odpowiednie końcówki. Końcówkę stożkową 3 włożyć we wrzeciono, natomiast pryzmatyczną 2 w kowadełko mikrometru (rys. 1.8).
2) Zamocować mikrometr w podstawie do mikrometru.
3) Odblokować i wycofać kowadełko.
4) Nastawić wskazanie zerowe i zacisnąć wrzeciono.
5) Docisnąć z wyczuciem kowadełko do zejścia się końcówek (rys. 1.8) i zacisnąć je.

6) Odblokować wrzeciono i sprawdzić ustawienie zera. W przypadku odchylenia od wskazania zerowego powtórzyć ustawienie.
7) Zmierzyć w kilku punktach średnicę podziałową.
8) Rozmontować układ.



Rys. 1.8. Mikrometr do gwintu: a) widok, b) końcówki wymienne; 1 - bęben mikrometru, 2 wymienna końcówka pryzmatyczna umieszczona w kowadełku mikrometru, 3 - wymienna końcówka stożkowa umieszczona we wrzecionie mikrometru, 4 - pokrętło przesuwu kowadełka mikrometru, 5 - blokada przesuwu kowadełka

Ćwiczenie 2

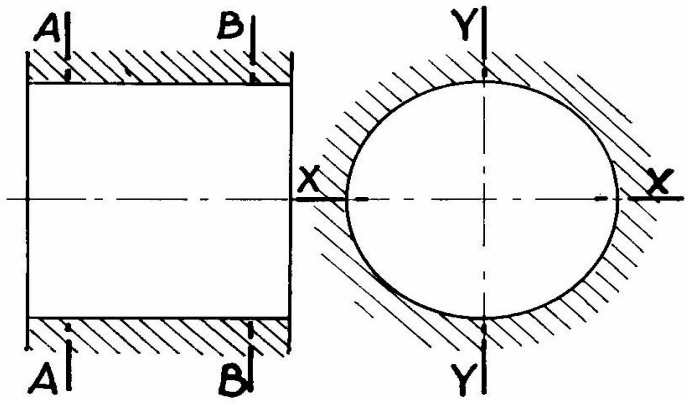
KONTROLA ŚREDNIC WEWNĘTRZNYCH

2.1. Przedmiot pomiaru

Celem pomiaru jest stwierdzenie spełnienia wymagań dotyczących średnicy wewnętrznej wskazanej tulei.

W każdym punkcie wymiar otworu powinien mieścić się w polu tolerancji. Stwierdzenie tego wymaga kilkakrotnego pomiaru w różnych kierunkach i przekrojach przedmiotu. Kontrola powinna być przeprowadzona co najmniej w dwóch kierunkach i dwóch przekrojach, jak to przedstawiono na rys. 2.1.

Otrzymane wyniki pozwalają także określić odchyłki kształtu w przekroju wzdłużnym i poprzecznym - jako największą różnicę wskazań w tych przekrojach.



Rys. 2.1. Zalecane miejsca pomiaru kontrolowanego otworu

2.2. Pomiar za pomocą średnicówki trzypunktowej

Średnicówka trzypunktowa przeznaczona jest do pomiaru średnic otworów metodą bezpośredniego porównania.

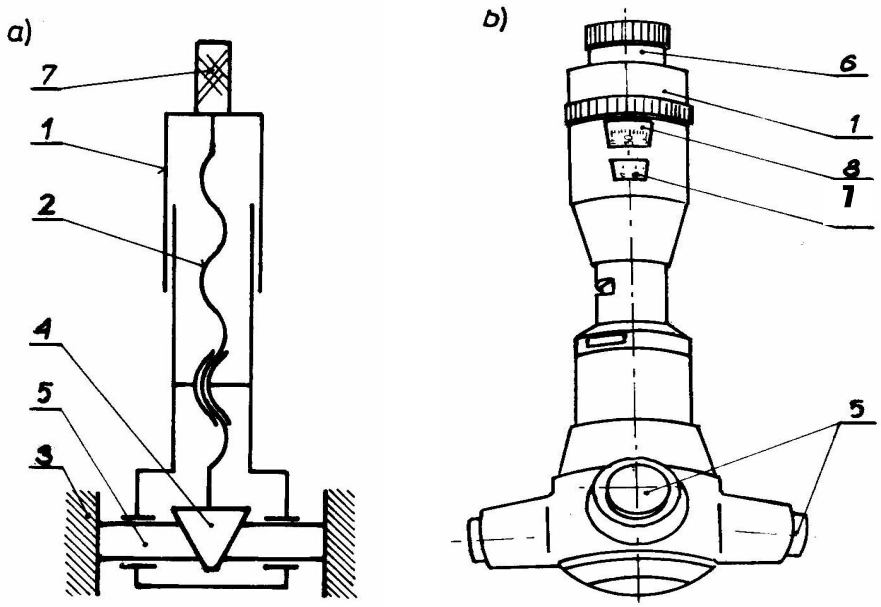
2.2.1. Zasada działania i budowa średnicówki trzypunktowej

Zasadę działania tej średnicówki ilustruje rys. 2.2a.

Obrót bębna mikrometrycznego 1 powoduje przesuw wrzeciona 2 średnicówki, z2-ńczonego stożkiem 4. Przesuw ten powoduje rozsuwanie trzech końcówek mierniczych 5 i dociskanie ich do powierzchni mierzonego otworu 3.

Dla ograniczenia nacisku mierniczego obrót wrzeciona powinien być realizowany za pomocą sprzęgła 6. Wskazanie odczytuje się z podziałki milimetrowej 7 i obwodowej 8 na bębnie mikrometrycznym.

Z uwagi na rozłożenie końcówek mierniczych co 120° średnicówką trzypunktową nie można ustalić owalności otworu, za to skutecznie wykrywa się jego wielołukowość.



Rys. 2.2. Średnicówka trzypunktowa: a) zasada działania, b) widok

2.2.2. Przebieg pomiaru

Pomiar za pomocą średnicówki trzypunktowej jest podobny do pomiaru innymi narzędziami mikrometrycznymi i nie wymaga dodatkowych wyjaśnień.

2.3. Pomiar za pomocą średnicówki mikrometrycznej

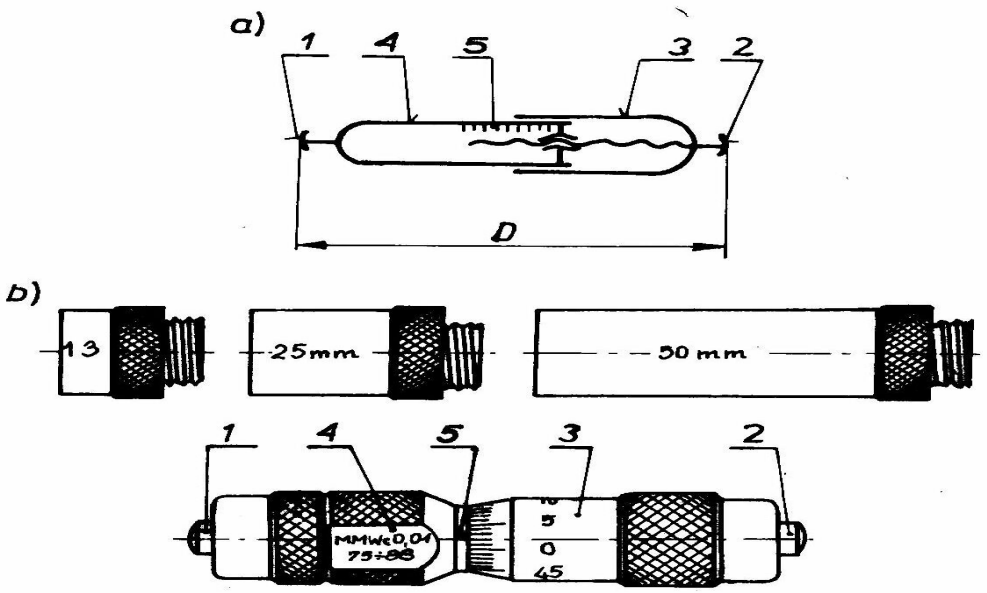
Średnicówka mikrometryczna jest przeznaczona do mierzenia wymiarów wewnętrznych metodą bezpośredniego porównania.

2.3.1. Zasada działania i budowa średnicówki mikrometrycznej

Zasadę działania przedstawia rys. 2.3a. Pokręcanie bębnem 3 powoduje przesuwanie się ruchomej końcówki mierniczej 2 i powiększanie lub zmniejszanie wymiaru D średnicówki. Wskazanie odczytuje się, podobnie jak w przypadku mikrometru, korzystając z podziałki 5 na tulei 4 oraz na bębnie 3. Widok ogólny średnicówki przedstawia rys. 2.3b.

Wadą średnicówek mikrometrycznych jest brak sprzęgła, co znacznie utrudnia przeprowadzenie pomiarów i wpływa na powiększenie błędów.

Zakres pomiaru w tych średnicówkach można zmieniać, wymieniając końcówki stałe 1.



Rys. 2.3. Średnicówka mikrometryczna: a) zasada działania, b) widok

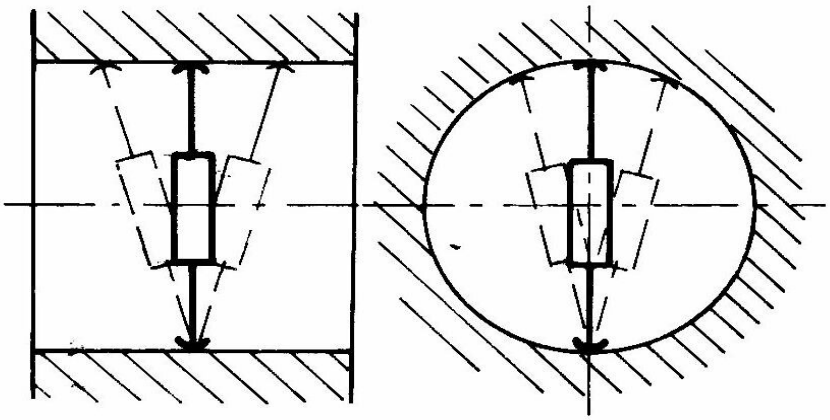
2.3.2. Przebieg pomiaru

1) Dobrać końcówkę stałą, odpowiednią do wymiaru mierzonego otworu.
2) Rozsunąć końcówki na wymiar nieco mniejszy od średnicy otworu przez pokręcanie bębna mikrometrycznego i wprowadzić średnicówkę do otworu.
3) Zmierzyć otwór. Oś średnicówki w czasie mierzenia powinna być prostopadła do osi otworu i pokrywać się z jego średnicą. Prawidłowe położenie średnicówki osiąga się przez dociśnięcie jedną ręką końcówki stałej do ścianki otworu i wykonywanie lekkich wychyleń w dwu prostopadłych kierunkach, jak na rys. 2.3. Jednocześnie przez z2-wiednie obracanie bębna mierniczego należy osiągnąć takie rozstawienie końcówek, aby przy prawidłowym położeniu średnicówki względem osi otworu między powierzchniami mierniczymi a ścianką otworu uzyskać lekkie zetknięcie (bez luzu).
Mierzenia należy dokonać w dwu przekrojach i dwu kierunkach wzajemnie prostopadłych.
4) Po stwierdzeniu prawidłowego ustawienia średnicówki w otworze wyjąć ją, odczytać wskazanie i obliczyć wymiar, dodając do wskazania długość końcówki stałej.
5) Rozmontować średnicówkę.

Przy dużej wprawie i kwalifikacjach mierzącego przeciętny błąd pomiaru zawiera się w granicach określonych wzorem

$$\Delta_p = \pm(18 + n)\mu m$$

gdzie: n - liczba wykorzystanych końcówek stałych.

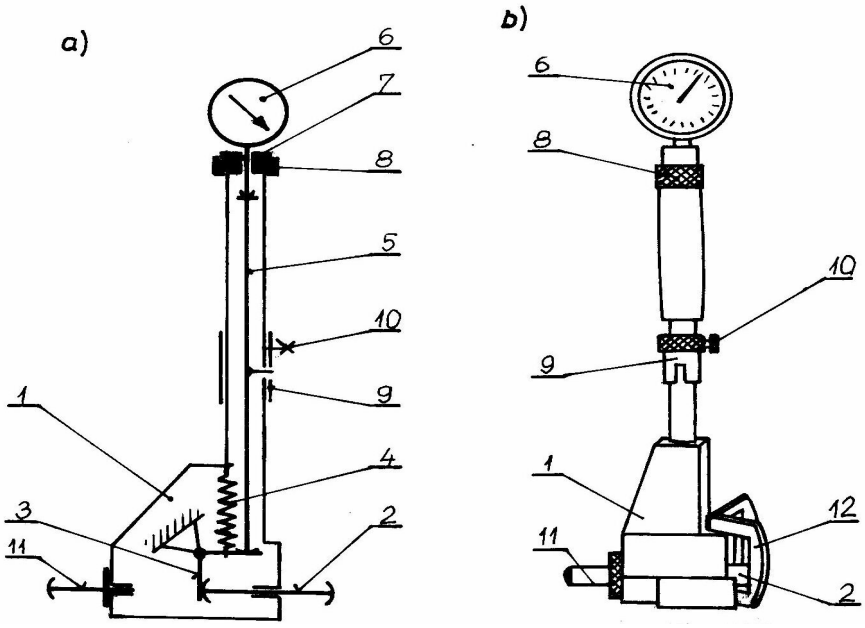


Rys. 2.4. Prawidłowe położenie średnicówki mikrometrycznej podczas pomiaru

2.4. Pomiar za pomocą średnicówki czujnikowej

Średnicówka czujnikowa przeznaczona jest do mierzenia średnicy i kształtu otworów metodą różnicową.

2.4.1. Zasada działania i budowa średnicówki czujnikowej



Rys. 2.5. Średnicówka czujnikowa: a) zasada działania, b) widok

Zasada działania średnicówki czujnikowej jest przedstawiona na rys. 2.5. W korpusie 1 średnicówki umieszczona jest końcówka ruchoma 2, dźwignia 3 dociskana do końcówki ruchomej sprężyną 4 oraz trzpień 5. O czołową powierzchnię trzpienia opiera się końcówka miernicza czujnika 6, umieszczonego w oprawce 7, zaciskanej nakrętką 8. Na tulei korpusu umieszczona jest przesuwna tulejka 9. Jej ruch blokowany jest śrubą 10. W otworze tulejki, z luzem 1 mm, umieszczony jest kołek, na stałe związany z trzpieniem 5. Zablokowanie z2-

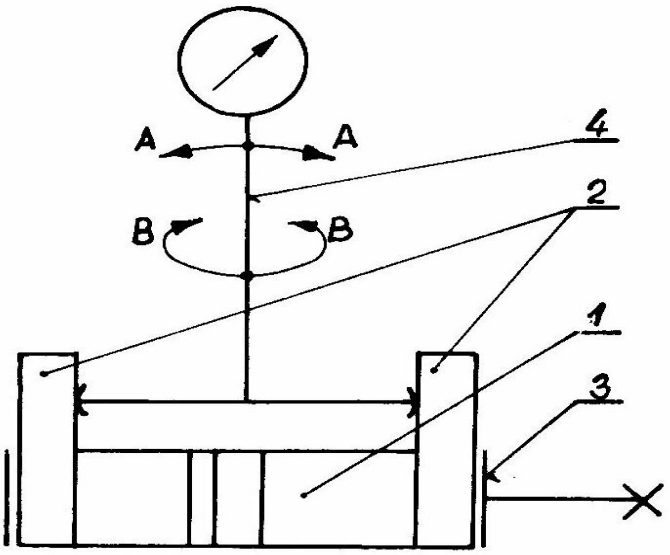
wu tulejki ogranicza więc luz trzpienia, a tym samym zakres pomiaru, do 1 mm. Pozwala to uniknąć przy pomiarze błędów grubych.

Z drugiej strony korpusu, w osi końcówki ruchomej, wkręca się końcówkę stałą 11, dobraną w zależności od wartości nominalnej wymiaru mierzonego otworu.

Po obu stronach końcówki ruchomej znajdują się ramiona kołyski 12, której zadaniem jest ustawienie średnicówki wzdłuż średnicy.

2.5.2. Przebieg pomiaru

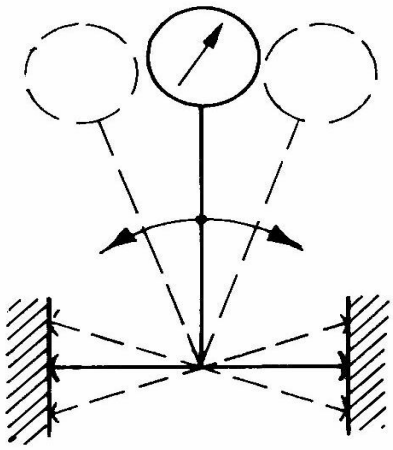
1) Ustalić wymiar nominalny sprawdzanego otworu (z rysunku albo przez pomiar suwmiarką).
2) Złożyć stos płytek wzorcowych 1 (rys. 2.6) na wymiar nominalny otworu i zamocować je, wraz z wkładkami płasko-równoległymi 2, lub płasko-ściętymi, w uchwycie do płytek wzorcowych 3.
3) Zamocować uchwyt z płytkami w podstawie do mikrometru tak, aby uchwyt znajdował się w płaszczyźnie pionowej.
4) Wybrać i wkręcić końcówkę stałą, odpowiednią do żądanego zakresu pomiaru.
5) Zwolnić śrubę 10 (rys. 2.5), ograniczającą zakres przesuwu trzpienia i odblokować obrót skali czujnika.
6) Wprowadzić końcówki średnicówki 4 między wkładki 2 (rys. 2.6). Najpierw należy spowodować zetknięcie końcówki ruchomej z wkładką, wcisnąć ją, następnie wprowadzić końcówkę stałą i lekko zwolnić nacisk. Jeżeli wymiar wykracza poza zakres czujnika - przesunąć czujnik w oprawce mocującej.
7) Przytrzymując palcami jednej ręki końcówkę stałą przy wkładce, drugą wychylać średnicówkę w płaszczyźnie pionowej A-A dla uchwycenia położenia zwrotnego. W tym położeniu przytrzymać średnicówkę i obrotem skali czujnika ustalić wskazanie zerowe, a potem zablokować obrót skali. Następnie wychylać średnicówkę w płaszczyźnie poziomej B-B. Jeżeli punkt zwrotny nie przypada na zero, to odblokować z2-t skali, ustawić zero i zablokować. Sprawdzać i korygować ustawienie w obu płaszczyznach, aż do uzyskania tego samego punktu zwrotnego.



Rys. 2.6. Wzorcowanie średnicówki czujnikowej

8) Zacisnąć śrubę 10, ograniczając zakres przesuwu trzpienia do 1 mm.
9) Wyjąć średnicówkę z uchwytu, wciskając najpierw końcówkę ruchomą.

10) Wprowadzić średnicówkę do otworu sprawdzanego, wkładając najpierw końcówkę ruchomą i wciskając ją. Zmierzyć średnice otworu w dwu płaszczyznach i dwu z2-ojach. Podczas pomiaru należy wychylać średnicówkę w płaszczyźnie pionowej (rys. 2.7) i odczytać jej wskazanie w położeniu zwrotnym.
11) Wyjąć średnicówkę z otworu, wciskając najpierw końcówkę ruchomą.
12) Sprawdzić ustawienie zerowego wskazania średnicówki, posługując się zestawem płytek wzorcowych.
13) Rozłożyć i zakonserwować płytki wzorcowe.
14) Wykręcić końcówkę stałą.
15) Ocenić wykonanie otworu.



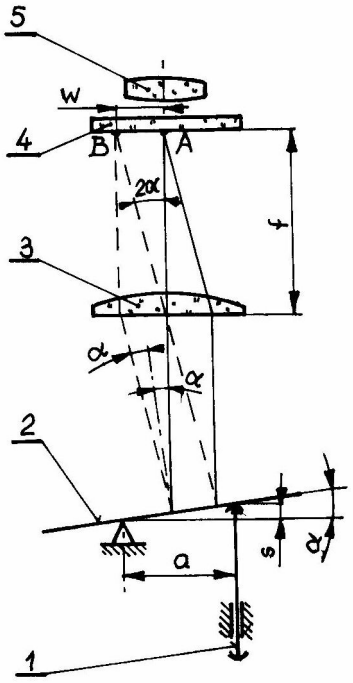
Rys. 2.7. Prawidłowe położenie średnicówki czujnikowej podczas pomiaru.

Ćwiczenie 3

POMIARY DOKŁADNE

3.1. Pomiary za pomocą optimetru na podstawie pionowej

Optimetr na podstawie pionowej jest przeznaczony do mierzenia zewnętrznych wymiarów liniowych (średnice, długości) przedmiotów dokładnych metodą różnicową oraz do mierzenia bardzo cienkich (do 0,2 mm) taśm i drutów metodą bezpośredniego porównania.



Rys. 3.1. Zasada działania optimetru

3.1.1. Zasada działania

Optimetr jest czujnikiem dźwigniowo-optycznym, w którym dłuższe ramię dźwigni stanowi ogniskowa obiektywu 3 (rys. 3.1), krótsze zaś odcinek zwierciadła 2.

Wychylenie zwierciadła 2 o kąt α, wynikające z podniesienia trzpienia mierniczego 1 o wielkość s (rys. 3.1), powoduje wychylenie wiązki promieni równoległych o kąt 2α i przesunięcie obrazu punktu A do punktu B. Odległość między punktami A i B jest więc miarą wychylenia zwierciadła, a tym samym miarą przesunięcia trzpienia mierniczego. Obraz powstający na płytce 4 jest obserwowany przez okular 5, który daje dodatkowe powiększenie V wielkości mierzonej.

Przełożenie optimetru można wyrazić wzorem

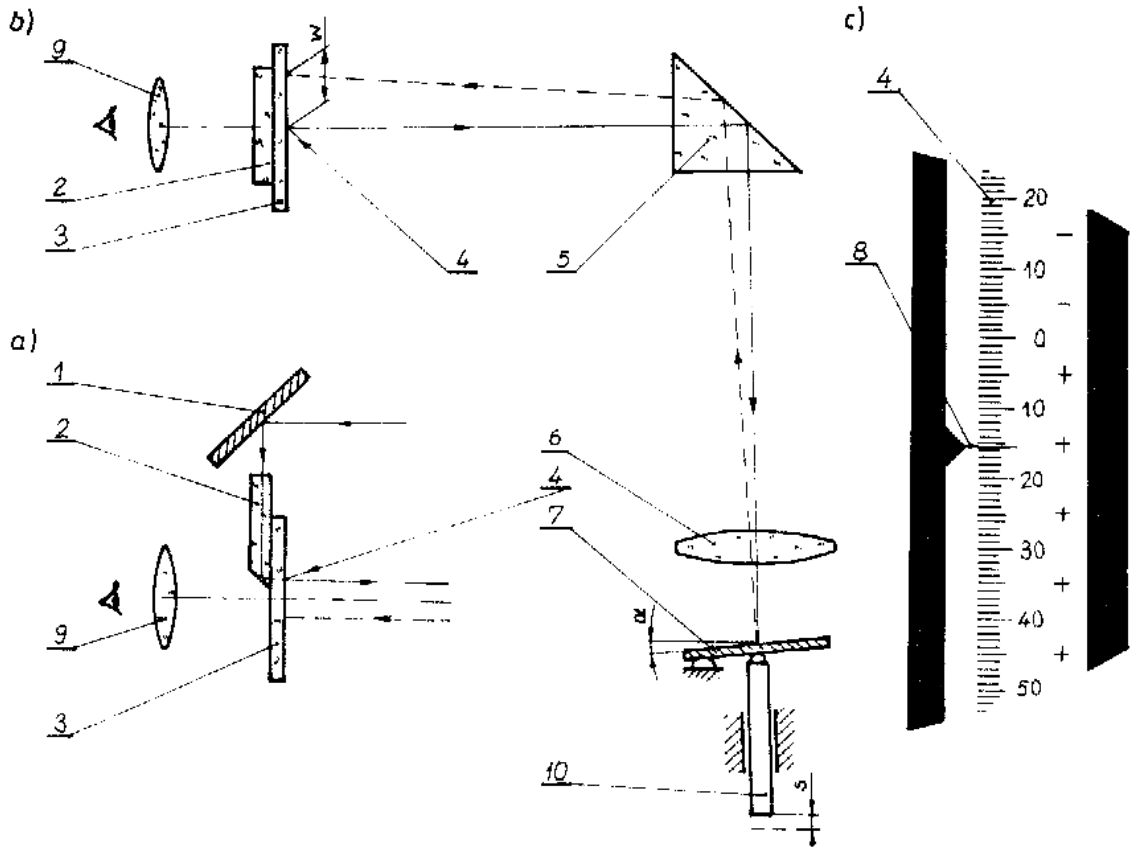
$$i' = \frac{w}{s} = \frac{f\,tg\,2\alpha}{a\,tg\alpha} \approx \frac{2f}{a}$$

$$i = i'V = \frac{2f}{a}V$$

Praktycznie stosuje się i = 800 ÷ 1000.

3.1.2. Budowa optimetru

Budowę optimetru wyjaśnia rys. 3.2.



Rys. 3.2. Budowa optimetru: a) schemat układu oświetlającego, b) schemat ogólny, c) pole widzenia

Wiązka światła z otoczenia kierowana jest przez lustro oświetlające 1 (rys. 3.2a) do z2-ądu. W pryzmacie 2 zmienia ona kierunek i oświetla płytkę szklaną 3 z podziałką 4. Następnie załamuje się w pryzmacie 5 (rys. 3.2b) i przechodzi przez obiektyw 6. Za obiektywem wiązka światła jest wiązką promieni równoległych. Po odbiciu od zwierciadła 7 wiązka wraca do płytki 3 tworząc na niej, na tle przeciwwskaźnika 8, obraz podziałki 4, oglądany przez okular 9. Obraz ten będzie przesunięty względem przeciwwskaźnika, jeżeli zwierciadło 7 z2-yli się o pewien kąt α zależny od położenia trzpienia 10.

Pole widzenia przedstawia rys. 3.2c, widok zewnętrzny zaś i elementy obsługi rys.3.3.

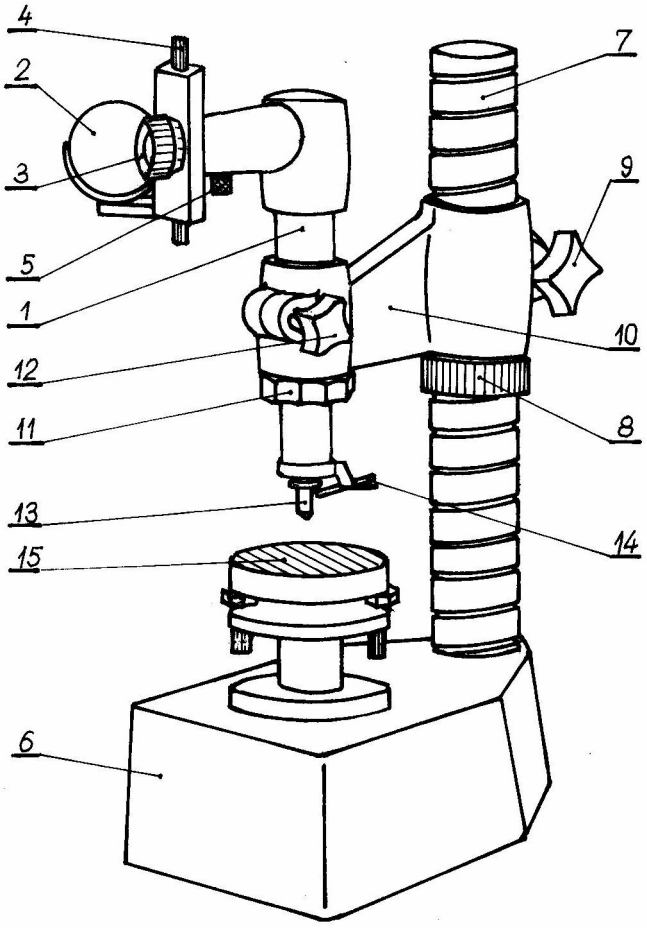
Na trzpień mierniczy optimetru zakłada się wymienne końcówki, w zależności od kształtu mierzonego przedmiotu:

- do powierzchni płaskich - kulistą,
- do powierzchni kulistych - płaską,
- do powierzchni walcowych - nożową lub kulistą.

3.1.3. Obsługa optimetru

Przebieg ustawienia czujnika na wskazanie zerowe (rys. 3.3).

1) Złożyć stos płytek wzorcowych na wymiar nominalny i ustawić na oczyszczonym stoliku 15 przyrządu.



Rys. 3.3. Wygląd optimetru na podstawie pionowej: 1 - optimetr, 2 - zwierciadło oświetlające, 3 - pokrętło z2-awienia ostrości obrazu, 4 - pokrętło nastawienia wskaźnika tolerancji, 5 - pokrętło ustawienia wskazania z2-wego, 6 - podstawa przyrządu, 7 - kolumna, 8 – pokrętło przesuwu ramienia, 9 - zacisk przesuwu ramienia, 10 - ramię, 11 - pokrętło przesuwu dokładnego, 12 - zacisk przesuwu dokładnego, 13 - końcówka miernicza, 14 - dźwignia wyłącznikowa, 15 - stół przedmiotowy

2) Optimetr 1 na ramieniu 10 przesunąć po kolumnie 7 (nakrętką 8 po zwolnieniu śruby 9) tak, aby końcówka miernicza 13 dotknęła powierzchni płytek.
3) Zablokować przesuw po kolumnie za pomocą śruby 9.
4) Zwolnić śrubę zaciskową 12 przesuwu dokładnego i pokrętłem przesuwu dokładnego 11 ustawić wskazanie zerowe. Zablokować przesuw dokładny pokrętłem 12.
5) Sprawdzić ustawienie zera przez kilkakrotne naciśnięcie dźwigni wyłącznikowej 14.
Jeżeli nastąpi rozregulowanie - powtórzyć czynności z punktów 4 i 5, uwzględniając poprawkę na przesunięcie zera przy blokowaniu; np. gdy zablokowanie śruby 12 powoduje przesunięcie wskazania o +3 μm, to przy powtórnym korygującym nastawieniu z2-ży przesunąć wskazanie optimetru o -3 μm tak, by po zablokowaniu optimetr wskazywał zero.
6) Jeżeli optimetr ma dodatkową śrubę ostatecznej regulacji (5 na rys. 3.3) przy jej pomocy skorygować wskazanie.
7) Wskaźnik tolerancji 4 nastawić na wartość odchyłek dopuszczalnych przedmiotu mierzonego (tylko w przypadku pomiaru serii przedmiotów).
8) Zmierzyć przedmiot i obliczyć jego wymiar.

Błąd wskazań przyrządu według danych fabrycznych nie przekracza ± 0,25 μm. Błąd pomiaru przy prawidłowym jego przeprowadzeniu nie powinien przekraczać wartości z2-czonej ze wzoru

$$\Delta_p = \pm\left(0{,}5 + \frac{L}{100}\right)\mu m$$

gdzie: L - wartość wymiaru nominalnego w mm.

3.2. Pomiary za pomocą optimetru projekcyjnego

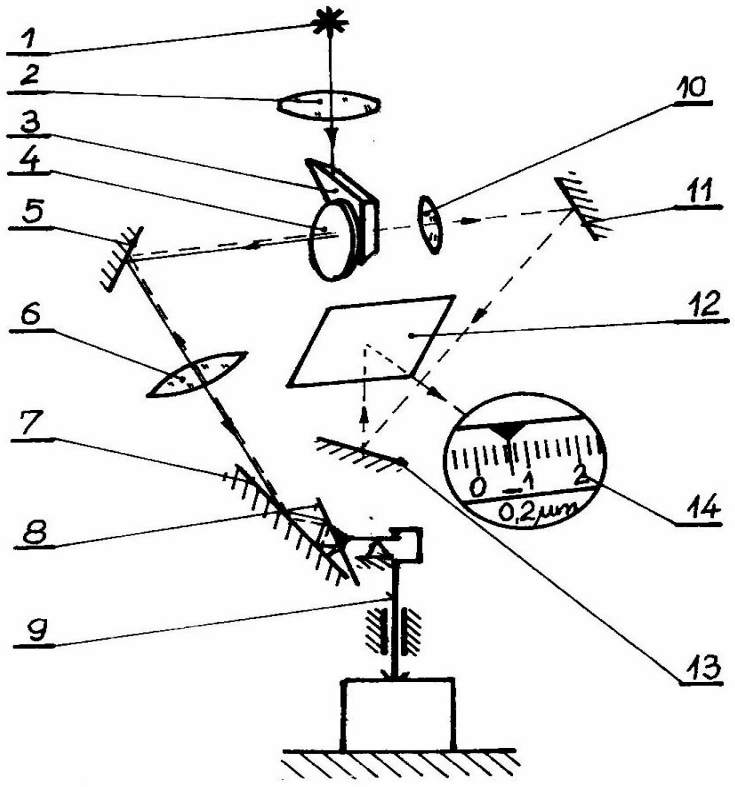
Optimetr projekcyjny jest przeznaczony do pomiaru płytek wzorcowych metodą różnicową, może być także wykorzystany do pomiaru bardzo dokładnych przedmiotów, np. sprawdzianów.

3.2.1. Zasada działania i budowa optimetru

Działanie optimetru projekcyjnego oparte jest na tej samej zasadzie, co optimetru na z2-awie pionowej, dlatego wskazane jest zapoznanie się z punktem 3.1.2.

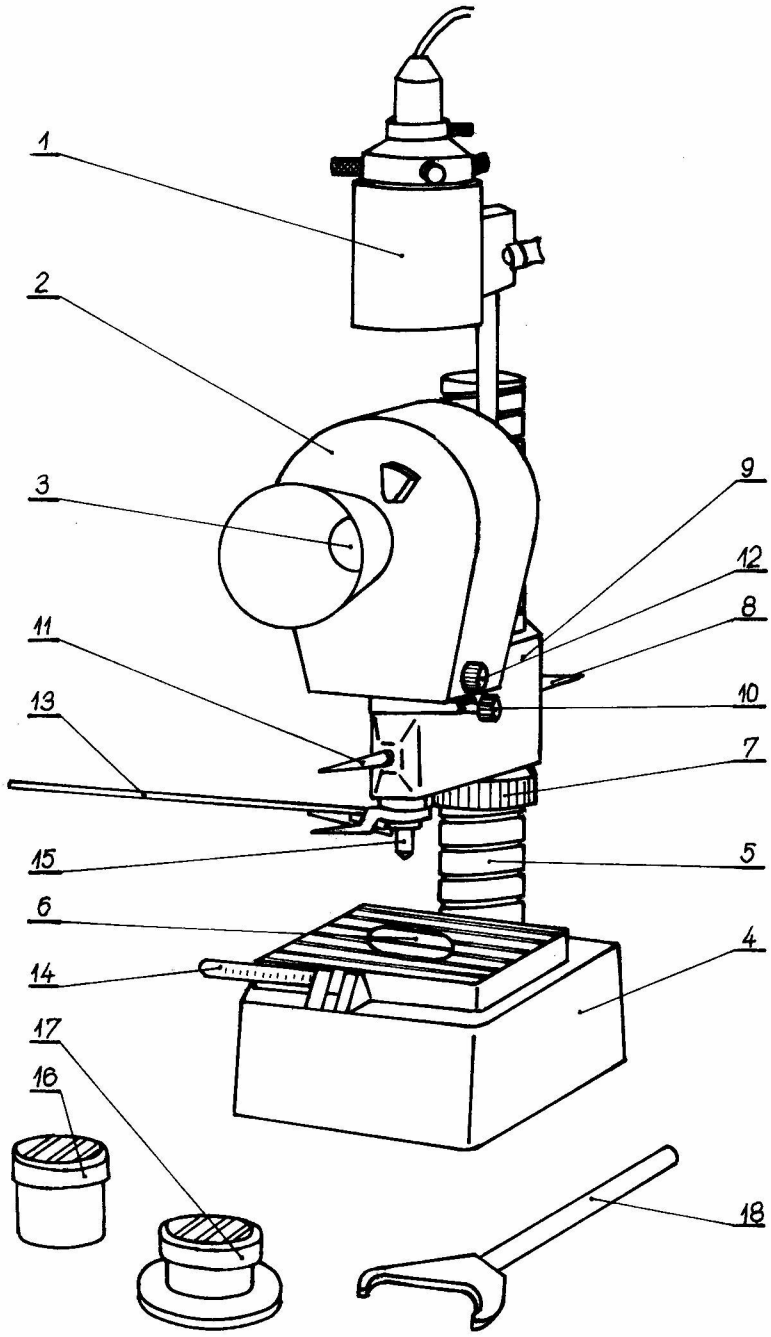
Schemat optimetru projekcyjnego przedstawiony jest na rys. 3.4.

Wiązka światła ze źródła 1 przechodzi przez kondensor 2 i po załamaniu się w pryzmacie 3 oświetla płytkę z podziałką 4.



Rys. 3.4. Zasada działania optimetru projekcyjnego

Następnie odbija się od zwierciadła 5, przechodzi przez obiektyw 6 i jako wiązka równoległa wpada między zwierciadła 7 i 8, tworzące klin. Zwierciadło 7 jest zwierciadłem z2-chomym, położenie zaś zwierciadła 8, wyznaczające wartość kąta między nimi, zależy od położenia trzpienia mierniczego 9, czyli od wartości wymiaru mierzonego 15.



Rys. 3.5. Optimetr projekcyjny: 1 - oświetlacz, 2 - korpus przyrządu, 3 - ekran, 4 - podstawa, 5 - kolumna, 6 - stół przedmiotowy, 7 - pokrętło przesuwu ramienia, 8 - zacisk przesuwu ramienia, 9 - ramię, 10 - pokrętło z2-wu optimetru w ramieniu, 11 - zacisk przesuwu optimetru w ramieniu, 12 - pokrętło dokładnego nastawienia wskazania zerowego, 13 - dźwignia wyłącznikowa, 14 - termometr, 15 - końcówka miernicza, 16,17 - oprawki do płytek wzorcowych, 18 - widełki

Kąt między zwierciadłami jest tak dobrany, że wiązka światła odbija się między nimi pięciokrotnie i po wyjściu tworzy z wiązką wchodzącą pewien kąt, zależny od położenia trzpienia mierniczego. Przechodząc przez obiektyw 6 wiązka ta odbija się od zwierciadła 5 i na płytce 6, na tle przeciwwskaźnika, tworzy obraz podziałki.
Obraz ten przez okular projekcyjny 10 i układ zwierciadeł 11, 12 i 13 rzucany jest na matowy ekran 14. Położenie obrazu względem przeciwwskaźnika zależy od położenia trzpienia.

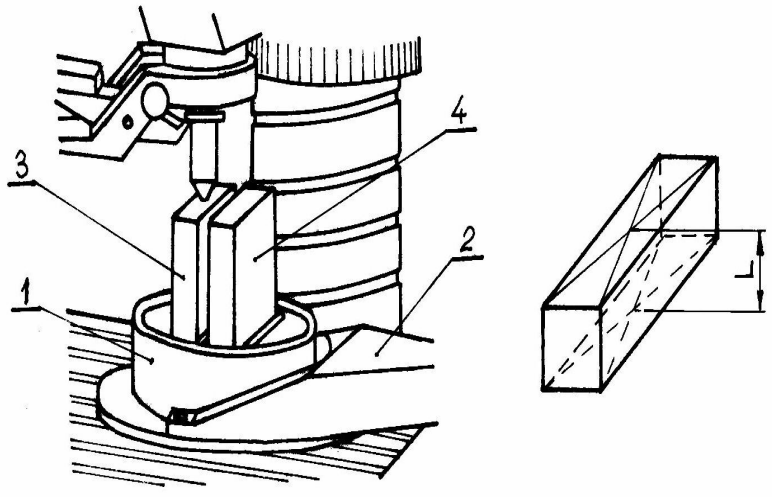
Ogólny widok optimetru projekcyjnego na podstawie pionowej przedstawiony jest na rys. 3.5. Z uwagi na dokładność przyrządu jest on umieszczony w osłonie dla ochrony przed z2-zaniem od ciepła wydzielanego przez obsługującego przyrząd.

3.2.2. Obsługa optimetru projekcyjnego

1) Odblokować przesuw ramienia 9 wzdłuż kolumny 5 (zacisk 8).
2) Przesuwem 7 po kolumnie 5 doprowadzić końcówkę mierniczą 15 do styku ze stosem płytek wzorcowych.
3) Zablokować zaciskiem 8 przesuw ramienia po kolumnie.
4) Zwolnić zacisk 11 przesuwu dokładnego.
5) Pokrętłem 10 przesuwu dokładnego ustawić wskazanie zerowe.
6) Zablokować przesuw dokładny zaciskiem 11.
7) Skorygować ustawienie zera za pomocą śruby regulacji ostatecznej 12.
8) Sprawdzić stabilność ustawienia wskazania zerowego przez kilkakrotne naciśnięcie dźwigni 13 unoszącej końcówkę mierniczą. W przypadku rozregulowania skorygować ustawienie.

3.2.3. Pomiar wymiaru środkowego płytki wzorcowej metodą porównawczą

1) Oczyścić dokładnie obie płytki: badaną oraz podstawową.
2) Za pomocą szczypiec umieścić obie płytki na stoliku przyrządu w specjalnej oprawce; należy przy tym ściśle trzymać się zasady, że płytka podstawowa 3 znajduje się zawsze po lewej stronie, zaś mierzona 4 – po prawej (rys. 3.6).
3) Posługując się widełkami 2, przesunąć oprawkę 1 z płytkami tak, by środek płytki pod stawowej znalazł się pod końcówką mierniczą przyrządu.
4) Ustawić położenie zerowe przyrządu i kilkakrotnie je skontrolować, przesuwając płytki po stoliku, aby wykryć ewentualne zanieczyszczenia.
5) Umieścić pod końcówką płytkę sprawdzaną i odczytać wskazanie przyrządu.



Rys. 3.6. Kontrola płytek wzorcowych za pomocą optimetru projekcyjnego

6) Przesunąć dziesięć razy na przemian obie płytki pod końcówką mierniczą i każdorazowo notować oba wskazania.
7) Obliczyć wymiar *w* mierzonej płytki, uwzględniając błąd wymiaru płytki podstawowej:

$$w = a - b$$

gdzie: a - wskazanie przyrządu,
b - błąd płytki podstawowej.

Błąd pomiaru przy prawidłowym jego przeprowadzeniu można obliczyć z empirycznego wzoru, podawanego przez wytwórcę przyrządu:

$$\Delta = \pm\left(0{,}05 + \frac{\Delta_p}{400} + \frac{1{,}2L}{1000}\right)\mu m$$

gdzie: Δ_p - różnice wymiarów nastawionego i mierzonego w μm,
L - wymiar mierzony w mm.

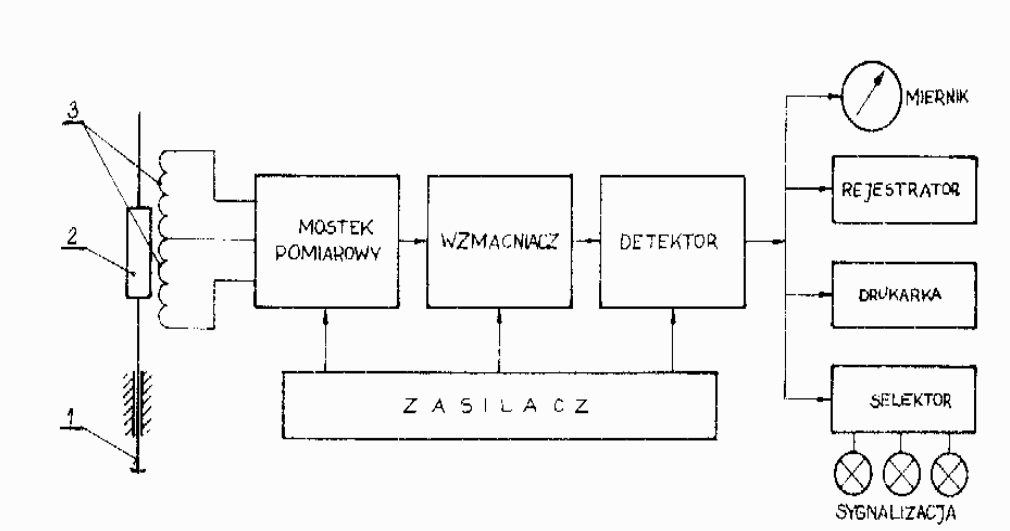
3.3. Pomiary za pomocą czujnika indukcyjnego

Czujnik indukcyjny jest przeznaczony do mierzenia zewnętrznych wymiarów liniowych (średnice, długości) przedmiotów dokładnych metodą różnicową. Umożliwia także pomiar różnicy lub sumy odchyłek długości i może być stosowany zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i przemysłowych.

Można go stosować w zmechanizowanych i zautomatyzowanych układach kontroli biernej oraz w układach kontroli czynnej.

Czujniki te mogą mieć układ pamięci, umożliwiające pomiar wymiarów maksymalnych i minimalnych. Wyniki pomiarów mogą być rejestrowane za pomocą rejestratorów analogowych i cyfrowych.

3.3.1. Zasada działania



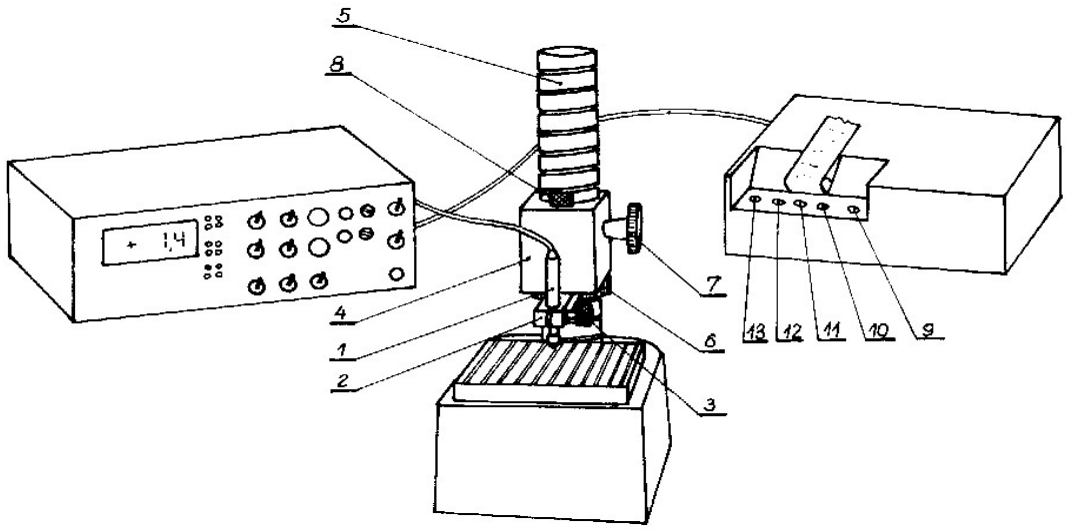
Rys. 3.7. Zasada działania czujnika indukcyjnego

Przemieszczenie trzpienia mierniczego 1 (rys. 3.7) z rdzeniem ferrytowym 2 powoduje zmianę indukcyjności cewek 3, a następnie stanu mostka pomiarowego. Sygnał po wzmocnieniu we wzmacniaczu przekazywany jest do detektora fazoczułego, skąd po porównaniu z sygnałem podstawowym i po wyprostowaniu jest przekazywany do jednego z urządzeń z2-

orczych. Urządzeniami tymi mogą być: miernik, rejestrator, drukarka lub selektor wyposażony przerzutniki o nastawnych napięciach zadziałania. Przekroczenie tych napięć powoduje zmianę sygnalizacji świetlnej oraz przesterowanie współpracujących urządzeń (np. sortownika lub obrabiarki).

Czujniki te mogą mieć kilka stopni wzmocnienia, a więc kilka zakresów wskazań i wartości działek elementarnych, co zwiększa możliwości ich zastosowania. Wzmocnienie to może dochodzić do 100 000 razy.

3.3.2. Układ pomiarowy



Rys. 3.8. Układ do pomiaru wymiarów zewnętrznych za pomocą czujnika indukcyjnego

Układ do pomiaru wymiarów zewnętrznych składa się z następujących elementów (rys. 3.8):

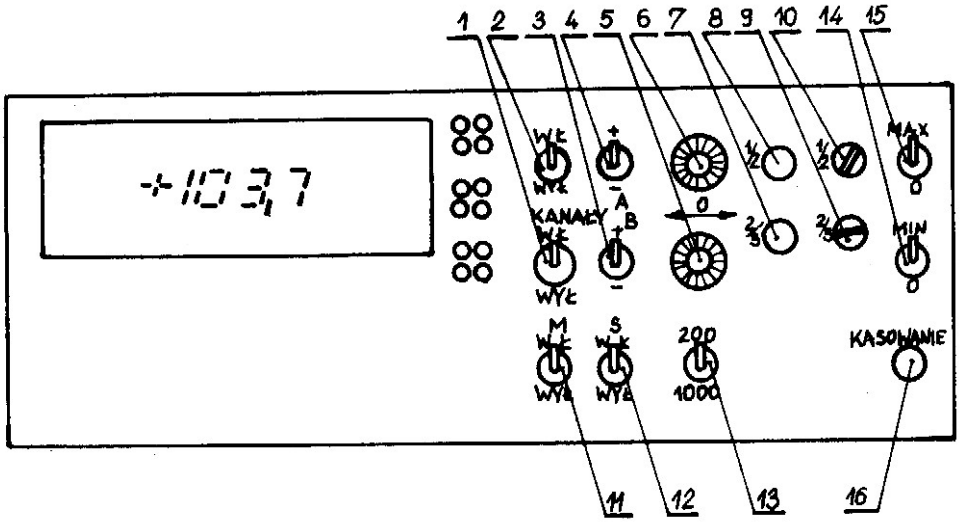
- podstawy,
- czujnika indukcyjnego cyfrowego "Vistronik - C",
- rejestratora drukującego "Visoprint".

Głowica 1 (rys. 3.8) czujnika indukcyjnego umieszczona jest w uchwycie 2 podstawy, z2-skanym za pomocą śruby 3. Do zgrubnego nastawiania wskazania zerowego służy przesuw ramienia 4 wzdłuż kolumny 5, realizowany przez obrót pierścienia 6. Do unieruchomienia ramienia na kolumnie służy śruba 7. Przesuw dokładny głowicy realizowany jest za pomocą pokrętła 8.

Płyta czołowa czujnika indukcyjnego przedstawiona jest na rys. 3.9. Czujnik może współpracować z dwiema głowicami podłączonymi do kanałów A i B przyrządu. Punkty z2-ugi kanału A znajdują się w górnym rzędzie na płycie czołowej przyrządu, zaś kanału B - w rzędzie poniżej.

Przełączniki 1 i 2 (rys. 3.9) służą do włączenia odpowiedniego kanału, w zależności od stosowanej głowicy. Przełączniki 3 i 4 pozwalają zmienić znak wskazania. Pokrętła 5 i 6 służą do ostatecznego zerowania wskazań.

Przyciski 7 i 8 oraz śruby 9 i 10 służą do nastawienia sygnalizacji przekroczenia granic tolerancji.



Rys. 3.9. Widok płyty czołowej wskaźnika czujnika indukcyjnego

Poniżej umieszczono przełączniki, służące do włączania miernika M (11) i sygnalizacji S (12). Przełącznik 13 służy do wyboru zakresu wskazań: 1000 μm lub 200 μm.

Omawiany czujnik wyposażony jest w układy pamięci, które umożliwiają ustalenie wartości maksymalnej lub minimalnej, włączane przełącznikami 14 i 15. Przycisk 16 służy do kasowania zawartości pamięci i przygotowania następnego pomiaru.

Z czujnikiem może współpracować drukarka, utrwalająca wyniki pomiaru. Przycisk 9 (rys. 3.8) służy do uruchomienia drukarki, przycisk 10 - do wydrukowania aktualnie wskazywanej przez czujnik wartości.

Przesuw papieru realizowany jest za pomocą przycisku 11. Przycisk 12 służy do włączenia automatycznego zapisu w określonych odstępach czasu.

Przycisk 13 służy do zerowania licznika kolejności pomiaru.

3.3.3. Przebieg pomiaru średnic zewnętrznych

Czujnik indukcyjny należy włączyć do sieci na 30 min. przed rozpoczęciem pomiaru.

1) Nastawić wskazanie zerowe czujnika, posługując się stosem płytek wzorcowych, z2-awionych na wymiar nominalny mierzonego przedmiotu. Najpierw przeprowadzić z2-wanie przy włączonym zakresie wskazań 1000 μm, a następnie przy zakresie 200 μm. Sprawdzić stabilność wskazania zerowego.
2) Przesuwając przedmiot pod trzpieniem mierniczym odczytać największe wskazanie, odpowiadające średnicy przedmiotu.

Można także wykorzystać układ pamięci czujnika. W tym celu należy ustawić przełącznik 12 (rys. 3.9) w pozycji MAX i przed każdym pomiarem nacisnąć przycisk kasowania 14. Wartość maksymalną można odczytać ze wskaźnika.

3) Wciskając przycisk 10 (rys. 3.8) drukarki, wydrukować wynik pomiaru.

Ćwiczenie 4

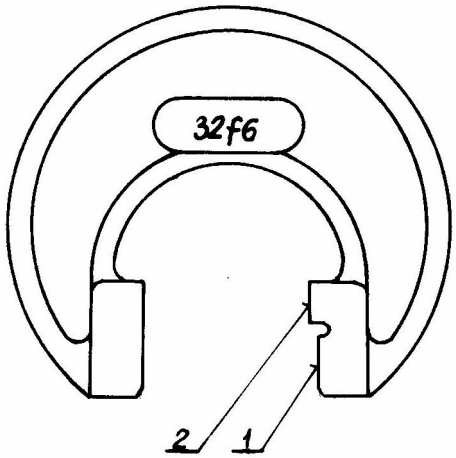
KONTROLA WAŁKÓW W PRODUKCJI SERYJNEJ

4.1. Kontrola wałków za pomocą sprawdzianu szczękowego

Sprawdzian jest to narzędzie kontrolne, służące do stwierdzenia, czy wymiar lub kształt przedmiotu nie wykracza poza granice tolerancji. Sprawdzian nie pozwala na ustalenie rzeczywistego wymiaru przedmiotu, a tylko na sprawdzenie, czy mieści się on w dopuszczalnych granicach.

Wygląd sprawdzianu szczękowego do wałków przedstawiono na rys. 4.1. Elementem roboczym sprawdzianu szczękowego są dwie pary powierzchni roboczych, tworzące szczęki przechodnie 1 i nieprzechodnie 2, zwane prościej stroną przechodnią i nieprzechodnią S_p i S_n sprawdzianu. Przedmiot sprawdzany powinien przejść przez stronę przechodnią i zatrzymać się na stronie nieprzechodniej. W zależności od liczby szczęk sprawdziany dzielą się na jednograniczne (z jedną parą) i dwugraniczne (z dwiema parami).

Sprawdzian należy nakładać pionowo z góry na kolejne przedmioty, prostopadle do osi badanego przedmiotu. Powinien on pod własnym ciężarem, bez użycia siły, przejść przez **stronę przechodnią** i zatrzymać się na **nieprzechodniej** – badany wymiar jest prawidłowy. Jeżeli przedmiot przechodzi przez obie strony sprawdzianu - jest za mały; jeżeli nie przechodzi wcale - jest za duży.



Rys. 4.1. Sprawdzian szczękowy dwugraniczny

4.2. Wielowymiarowa kontrola wałków

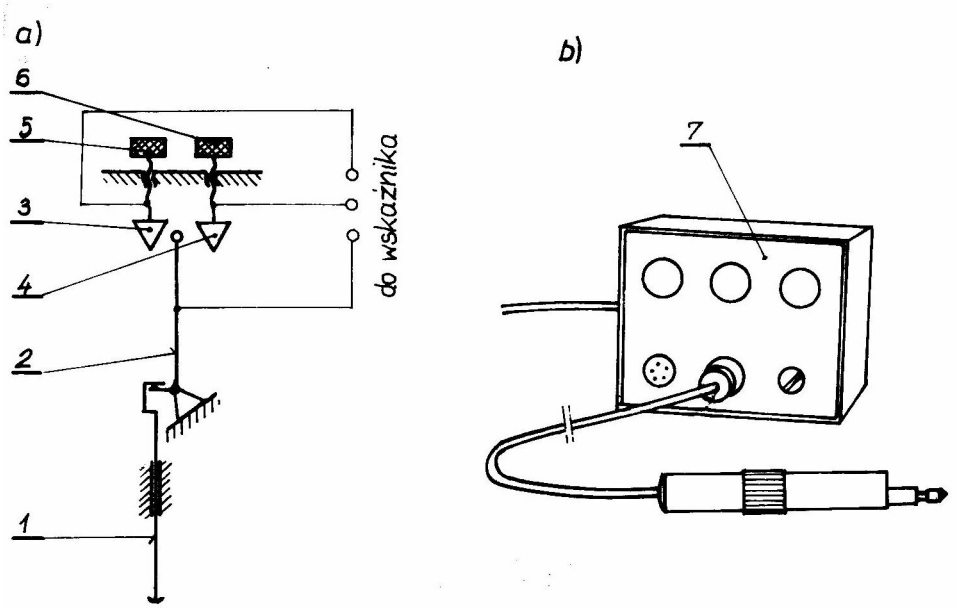
4.2.1. Zasady kontroli

Kontrola wielowymiarowa polega na równoczesnej kontroli kilku lub kilkunastu parametrów przedmiotu. Do parametrów najczęściej kontrolowanych należą średnice, długości, odchyłki kształtu oraz odchyłki położenia.

W przyrządach do kontroli wielowymiarowej mogą być stosowane dowolne czujniki, np. mechaniczne, optyczne, pneumatyczne lub elektryczne. Jednakże zasadnicze skrócenie czasu kontroli można uzyskać jedynie przez zastosowanie czujników sygnalizujących (świetlnie lub dźwiękowo) przekroczenie odchyłek granicznych. Do najprostszych czujników spełniających to wymaganie należą czujniki elektrostykowe bezskalowe.

4.2.2. Zasada działania czujnika elektrostykowego bezskalowego

Schemat czujnika elektrostykowego dwugranicznego przedstawiony jest na rys. 4.2a.

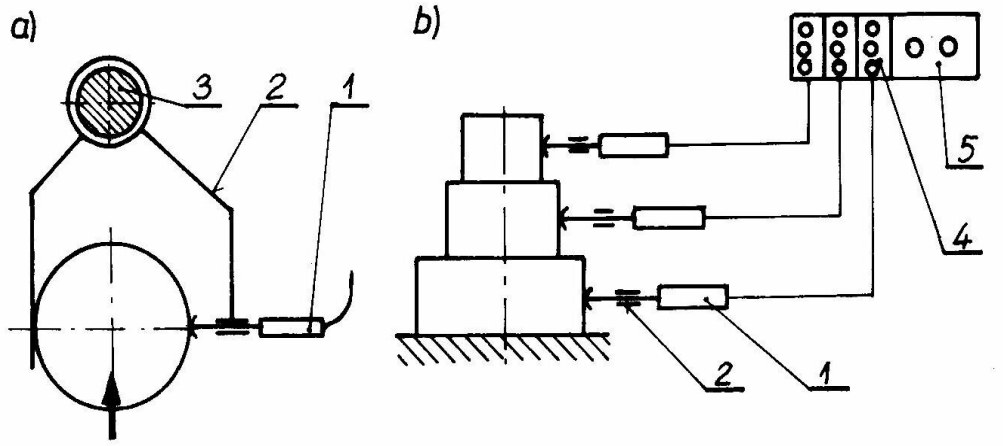


Rys. 4.2. Czujnik elektrostykowy bezskalowy: a) schemat, b) widok

Przemieszczenie trzpienia 1 powoduje wychylenie dźwigni 2, której końcówka może dotykać nastawnych styków 3 i 4. Zwarcie styku 3 świadczy o przekroczeniu dolnej odchyłki i towarzyszy mu zapalenie lampki czerwonej wskaźnika sygnalizacyjnego 7. Zwarcie styku 4 świadczy o przekroczeniu górnej odchyłki i towarzyszy mu zapalenie na wskaźniku sygnalizacyjnym 7 lampki zielonej. Lampka żółta (biała) sygnalizuje, że mierzony parametr mieści się w granicach tolerancji. Pokrętła 5 i 6 służą do osiowego przesuwu stożkowych styków 3 i 4, co umożliwia nastawienie momentu i sygnalizacji czujnika. Wygląd czujnika jest przedstawiony na rys. 4.2b.

4.2.3. Budowa przyrządu do kontroli wielowymiarowej

Schemat przyrządu wielowymiarowego do kontroli trzech średnic jest przedstawiony na rys. 4.3. Czujniki elektrostykowe 1 zamocowane są w odpowiednich uchwytach szczękowych 2 i ustawione za pomocą płytek wzorcowych lub wzorców przedmiotowych na sygnalizację przekroczenia wymiarów granicznych. Uchwyty szczękowe mocowane są wahliwie na pionowej kolumnie 3, co umożliwia naprowadzenie się końcówek mierniczych na mierzoną powierzchnię. Wynik kontroli poszczególnych wymiarów podawany jest w postaci sygnałów świetlnych obserwowanych na odpowiednim wskaźniku sygnalizacyjnym 4. Przyrząd może być wyposażony we wskaźnik zbiorczy 5, którego lampka żółta (biała) pali się wówczas, gdy wszystkie parametry mieszczą się w granicach tolerancji, zaś czerwona - gdy choć jeden z parametrów przekracza tolerancję.



Rys. 4.3. Schemat przyrządu do kontroli wielowymiarowej wałków: a) schemat układu pomiarowego dla jednego wymiaru, b) schemat jednoczesnej kontroli kilku wymiarów

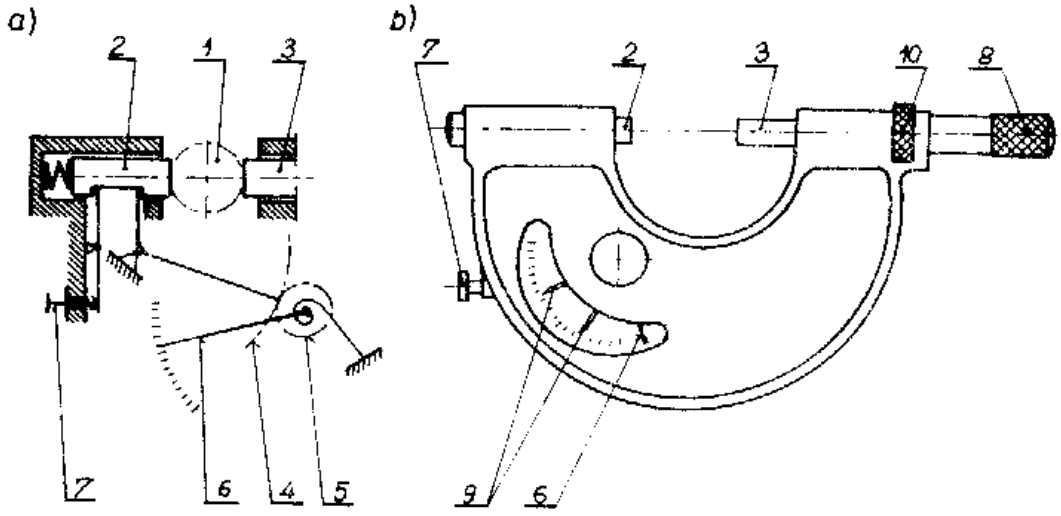
4.2.4. Niedokładność kontroli

Na powstawanie błędów kontroli wpływa zarówno staranność samego przeprowadzenia kontroli, jak i błąd wzorca i dokładność nastawienia sygnalizacji przekroczenia wymiarów. Przy prawidłowym przeprowadzeniu kontroli w warunkach warsztatowych błąd oceny s2-otów nie przekracza wartości 2 ± 3 μm.

4.3. Pomiary za pomocą transametru

Transametr jest czujnikiem dźwigniowo-zębatym. Służy on do pomiaru wymiarów z2-ętrznych metodą różnicową, głównie w produkcji seryjnej.

4.3.1. Zasada działania i budowa transametru



Rys. 4.4. Transametr: a) schemat, b) widok

Schemat transametru przedstawiony jest na rys. 4.4a. Przedmiot mierzony 1, wstawiony między kowadełka ustawione w odległości odpowiadającej wymiarowi nominalnemu, powo-duje cofanie się kowadełka ruchomego 2. Ruch ten, przez dźwignię z segmentem zębatym 4

przenosi się na kółko zębate i wskazówkę 6. Przycisk 7 umożliwia wycofanie kowadełka ruchomego 2 podczas wkładania przedmiotu, co zabezpiecza kowadełko przed porysowaniem. Wymiar nominalny ustawia się przez przesuw kowadełka nastawnego 3 za pomocą nakrętki 10. Przesuw ten jest blokowany nakrętką 8.

Przy pomiarach seryjnych wygodnie jest stosować wskaźniki tolerancji 9 (rys. 4.4b) z2-awione na górny i dolny wymiar graniczny, co ułatwia wykrywanie braków.

4.3.2. Przebieg pomiaru

1) Określić wartość wymiaru nominalnego.
2) Złożyć stos płytek wzorcowych na wymiar nominalny.
3) Zamocować transametr w postawie do mikrometru.
4) Odblokować przesuw kowadełka nastawnego, rozsunąć kowadełka i wstawić między nie płytki wzorcowe.
5) Dosunąć kowadełko ruchome tak, by wskazówka czujnika wskazywała zero. z2-okować przesuw kowadełka i sprawdzić ustawienie zera; w razie potrzeby skorygować ustawienie.
6) Cofając kowadełko ruchome, wstawić przedmiot mierzony i odczytać odchyłkę, od wymiaru nastawionego, zwracając uwagę na kierunek odchyłki.
7) Obliczyć wymiar rzeczywisty.

Błąd pomiaru w zakresie 0 - 100 mm określa empiryczny wzór

$$\Delta_p = \pm\left(1{,}3 + \frac{L}{40}\right)\mu m$$

gdzie: L - wymiar mierzony w mm.

4.4. Ocena jakości wykonania serii przedmiotów przy wykorzystaniu układu pomiarowego wykorzystującego elektroniczne przyrządy pomiarowe

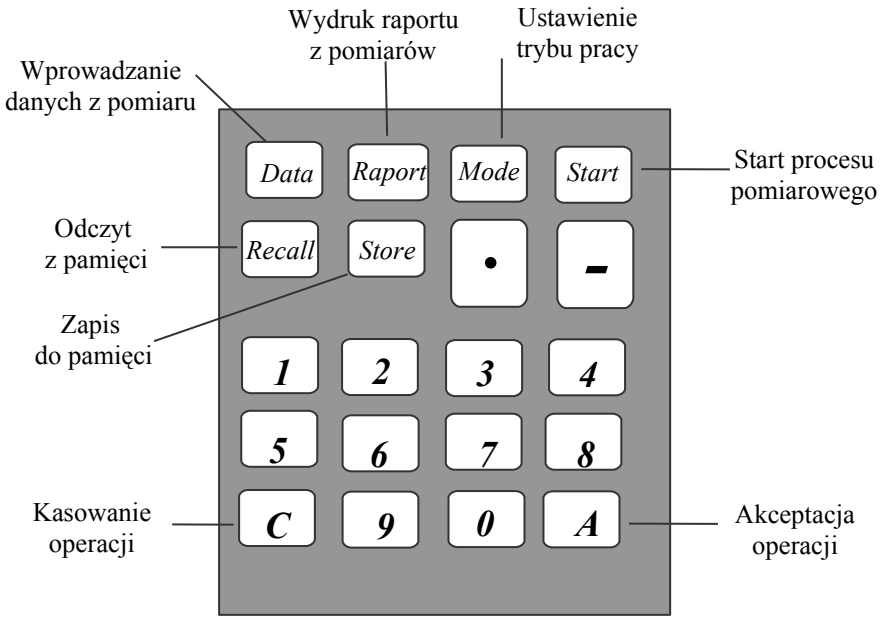
Pomiary serii wskazanych przedmiotów należy przeprowadzić przy wykorzystaniu układu pomiarowego złożonego z elektronicznego przyrządu pomiarowego oraz drukarki VISOPRINT. Elektroniczne przyrządy pomiarowe można podłączyć bezpośrednio do drukarki, albo za pośrednictwem interface'u iv300 com. Podstawową zaletą drukarki VISOPRINT jest możliwość jej wykorzystania w warunkach warsztatowych, jej lekkość (ok. 700 g) i poręczność. Ma ona pod tym względem niewątpliwą przewagę nad zestawem komputerowym PC, nawet typu laptop.

Z drukarką VISOPRINT mogą współpracować następujące przyrządy pomiarowe wyposażone w system OPTO firmy Sylvac:

- suwmiarka elektroniczna,
- czujnik elektroniczny SYLVAC,
- mikrometr elektroniczny,

Możliwe jest również podłączenie do tej drukarki przyrządów pomiarowych firm TESA i Mitutoyo.

Na rys. 4.5 przedstawiono funkcje przycisków na panelu sterowniczym drukarki.



Rys. 4.5. Panel sterowniczy drukarki VISOPRINT

Drukarka VISOPRINT umożliwia, poprzez wykorzystanie danych wprowadzanych z elektronicznych przyrządów pomiarowych, uzyskanie raportów zawierających parametry statystyczne mierzonych próbek wyrobów, wskaźniki zdolności jakościowej procesu (por. ćwiczenie 15) oraz diagramy przebiegu procesu w postaci kart wartości indywidualnych. Wydruk raportu zawiera też histogram pokazujący częstość (liczbę sztuk) występowania mierzonego wymiaru w dziesięciu przedziałach oznaczonych na wydruku literami A-J (grupy selekcyjne), na jakie podzielono tolerancję tego wymiaru. Histogram ten przedstawia w z2-iżony sposób rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej, jaką stanowi badany wymiar.

Badanie serii przedmiotów przy wykorzystaniu układu pomiarowego złożonego z elektronicznego przyrządu pomiarowego oraz drukarki VISOPRINT należy przeprowadzić w następujący sposób:

1) Włączyć drukarkę
2) Ustawić odpowiednie wskazanie przyrządu pomiarowego połączonego z drukarką - wyzerować mikrometr elektroniczny przy zetkniętych powierzchniach końcówek pomiarowych (ew. przy wykorzystaniu odpowiedniej płytki wzorcowej) lub wyzerować czujnik elektroniczny na płytce wzorcowej odpowiadającej wymiarowi nominalnemu mierzonych przedmiotów (ew. stykając końcówkę ze stolikiem, na którym ustawiany jest przedmiot mierzony – odczytuje się wówczas wartość bezwzględną wymiaru).
3) Nacisnąć przycisk **Start** na panelu drukarki.
4) Wprowadzić korzystając z klawiszy oznaczonych cyframi **0÷9** oraz ew. znaków „•” (kropka dziesiętna) lub „-” (znak minus) **górną i dolną granicę tolerancji** (ew. górną i dolną odchyłkę) badanego wymiaru. Po wprowadzeniu każdej z tych wartości należy nacisnąć na panelu przycisk **A** (Akceptacja) - wartości te zostaną wprowadzone do pamięci urządzenia i wydrukowane.
5) Dokonać pomiaru wskazanego wymiaru we wszystkich sztukach badanej serii wyrobów. Wprowadzenie i rejestracja każdego wyniku pomiaru następuje po z2-śnięciu przycisku **Data** na panelu drukarki.

6) Po wprowadzeniu wszystkich wyników pomiarów nacisnąć przycisk **Raport** na panelu sterowniczym. Drukarka wydrukuje raport, z którego należy odczytać wartość średnią $\bar{x}$ mierzonego wymiaru w badanej serii przedmiotów, odchylenie standardowe σ_n, szacunkową wadliwość P (%), liczbę sztuk stanowiących braki z2-awialne i nienaprawialne. Na podstawie wydrukowanego histogramu należy określić liczność występowania wyników pomiaru w poszczególnych przedziałach, na jakie została podzielona tolerancja przewidziana dla badanego wymiaru i ocenić proces, którego wynikiem był mierzony parametr w serii wyrobów.

Wydruk raportu należy dołączyć do wypełnionego formularza sprawozdania z ćwiczenia.

Ćwiczenie 5

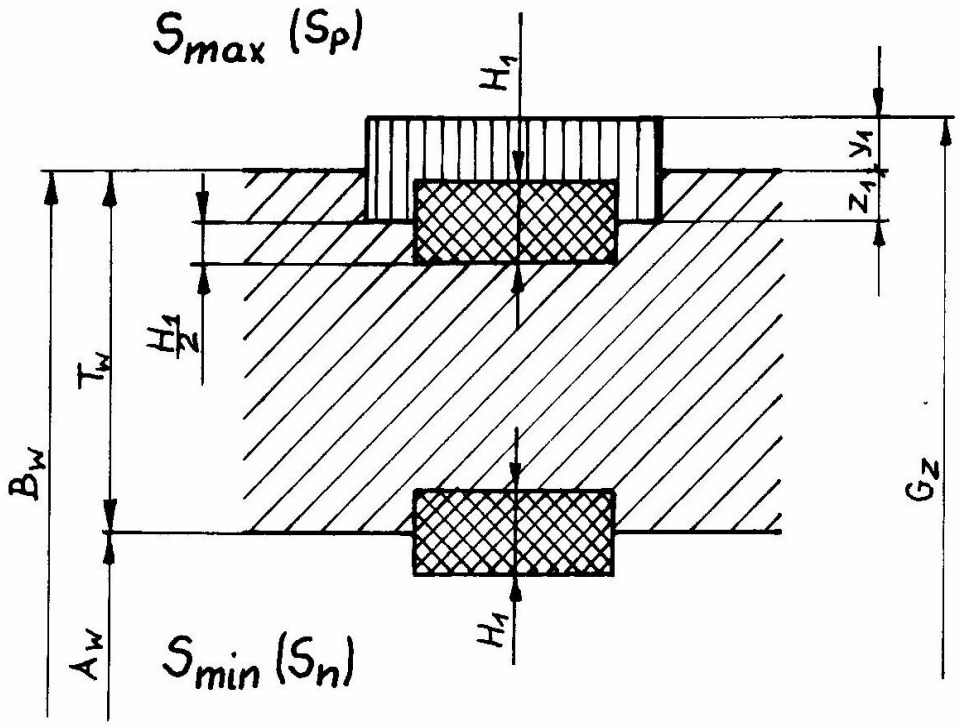
KONTROLA SPRAWDZIANÓW ZA POMOCĄ DŁUGOŚCIOMIERZY

5.1. Tolerowanie sprawdzianów do wałków

Sprawdzian jest to narzędzie kontrolne, służące do stwierdzenia, czy wymiar, kształt lub działanie sprawdzanego przedmiotu są zgodne z ustalonymi wymaganiami (nie wykraczają poza granice tolerancji).

Położenie pól tolerancji wykonania sprawdzianu przedstawiono na rys. 5.1. Ustala się je wg następującej kolejności:

1) Na podstawie opisu sprawdzianu ustalić klasę dokładności i odchyłki wymiarowe sprawdzanego tym sprawdzianem wałka i w efekcie wymiary graniczne tego wałka (A_w i $B_{w)}$.
2) Ustalić klasę dokładności sprawdzianu z tabl. 5.1.



Rys. 5.1. Schemat tolerowania sprawdzianu do wałków

3) Ustalić tolerancję H_1 sprawdzianu z tabl. 5.2.
4) Z tablicy 5.3 ustalić parametry y_1 i z_1.
5) Korzystając ze schematu 5.1 określić zakresy wymiarów **strony przechodniej** (S_p) i **z2-odniej** (S_n) danego sprawdzianu – przykładowo maksymalny wymiar strony przechodniej sprawdzianu do wałków ($S_{pg} = G_z$ - granica zużycia strony przechodniej sprawdzianu) to zgodnie z rys. 5.1 - $S_{pg} = B_w + y_1$.

Tablica 5.1

Tolerancja wykonania sprawdzianów

Przedmiot sprawdzany	**Sprawdzian**		**Tolerancja przedmiotu**		
	powierzchnie pomiarowe	**symbol tolerancji**	**IT 6**	**IT 7**	**IT 8 do IT 10**
			tolerancja sprawdzianu		
Otwór	walcowa	H	IT2	IT3	
		T_k	IT1	IT2	
	kulista	H_S	IT2		
		T_K	IT1		
Wałek	walcowa lub płaska	H_1	IT3		IT4
		T_k	IT2		IT3
H – tolerancja sprawdzianu do otworów o powierzchni pomiarowej walcowej H_S – tolerancja sprawdzianu do otworów o powierzchni pomiarowej walcowej H_1 – tolerancja sprawdzianu do wałków T_k – tolerancja kształtu sprawdzianu					

Tablica 5.2

Tolerancja wałków i otworów w mikrometrach

Średnica mm		**Klasy dokładności wykonania otworów i wałków**									
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ponad	**do**										
6	10	1,5	2	3	4	6	9	15	22	36	58
10	18	1,5	2	3	5	8	11	18	27	43	70
18	30	1,5	2	4	6	9	13	21	33	52	84
30	50	2	3	4	7	11	16	25	39	62	100
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120

Tablica 5.3

Wielkości określające położenie pól tolerancji sprawdzianów w μm

Średnica mm		Wielkości y_1, z_1	Klasa sprawdzanego otworu lub wałka					
			6		7	8	9	10
ponad	do		otwór	wałek				
6	10	z_1 y_1	1,5 1	2 1,5	2 1,5	3 3	7 0	7 0
10	18	z_1 y_1	2 1,5	2,5 2	2,5 2	4 4	8 0	8 0
18	30	z_1 y_1	2 1,5	3 3	3 3	5 4	9 0	9 0
30	50	z_1 y_1	2,5 2	3,5 3	3,5 3	6 5	11 0	11 0
50	80	z_1 y_1	2,5 2	4 3	4 3	7 5	13 0	13 0

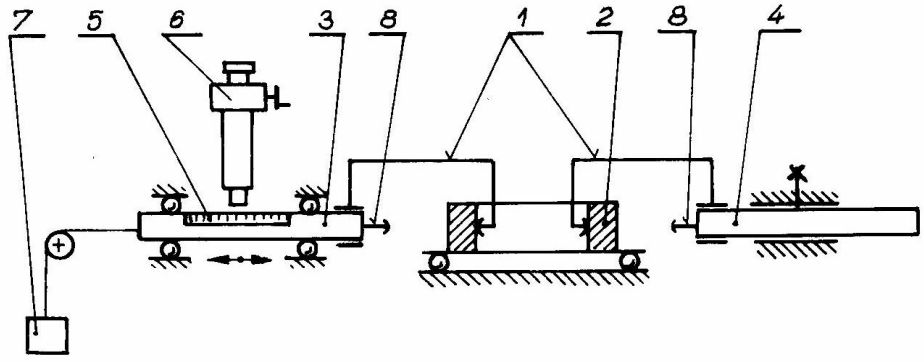
5.2. Pomiary za pomocą długościomierza uniwersalnego

Długościomierz uniwersalny, z uwagi na konstrukcję podstawy, jest przeznaczony głównie do pomiaru wymiarów wewnętrznych metodą bezpośredniego porównania i metodą różnicową. Można nim mierzyć także wymiary zewnętrzne oraz średnicę podziałową gwintów wewnętrznych i zewnętrznych.

5.2.1. Zasada działania i budowa długościomierza

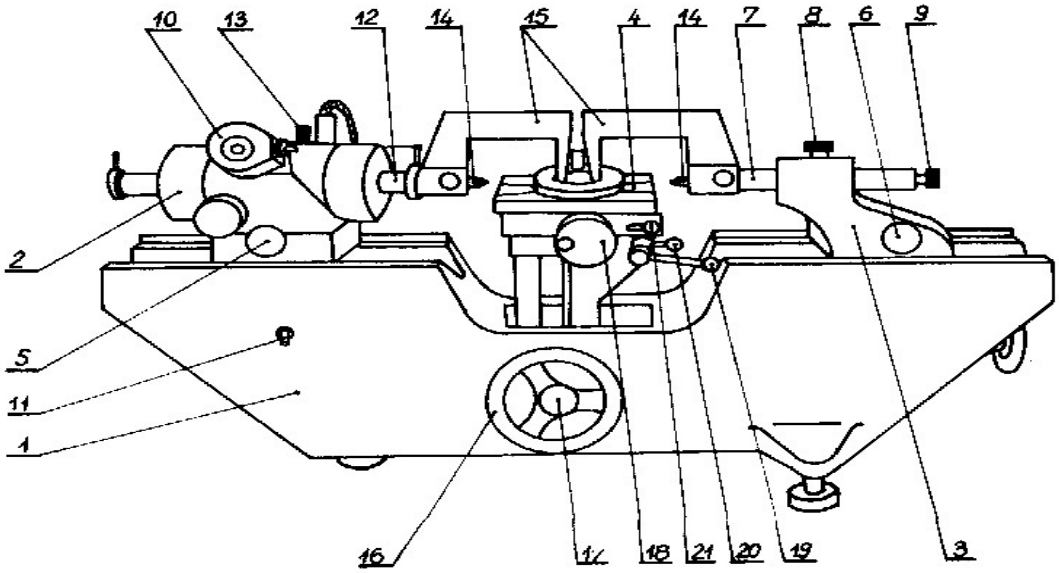
Zasada działania długościomierza poziomego jest przedstawiona na rys. 5.2. Szczęki miernicze 1, których końcówki miernicze stykają się z powierzchniami mierzonego otworu 2, mocowane są na trzpieniu mierniczym 3 i trzpieniu konika 4. Z trzpieniem mierniczym związany jest liniał szklany 5 o długości 100 mm z podziałką milimetrową.

Wskazania liniału są odczytywane za pomocą mikroskopu odczytowego 6 ze spiralą Archimedesa o działce 0,001 mm. Nacisk mierniczy wywoływany jest za pomocą ciężarka 7. Po zmianie kierunku nacisku mierniczego oraz zdjęciu szczęk można mierzyć wymiary z2-ętrzne za pomocą końcówek mierniczych 8.



Rys. 5.2. Zasada działania długościomierza poziomego

Wygląd długościomierza przedstawiony jest na rys. 5.3. Na podstawie 1 przyrządu umieszczone są trzy główne zespoły: głowica 2, konik 3 i stolik przedmiotowy 4. Głowicę mierniczą i konik można przesuwać wzdłuż łoża podstawy w zależności od wielkości mierzonego przedmiotu. Przesuw ten jest blokowany śrubami 5 i 6. Dokładnego nastawienia wymiaru można dokonać przez przesuw trzpienia konika 7, który jest blokowany śrubą 8, lub przez przesuw końcówek mierniczych 14, dokonywany obrotem pokrętła 9. Wskazanie liniału odczytywane jest za pomocą mikroskopu ze spiralą Archimedesa 10, którego opis znajduje się poniżej. Włączenie oświetlenia mikroskopu następuje za pomocą przełącznika 11. Przesuw trzpienia mierniczego 12 blokowany jest śrubą 13. Na trzpieniach mierniczych mogą być z2-cowane końcówki miernicze do pomiarów zewnętrznych 14 lub szczęki 15 do pomiarów wewnętrznych.



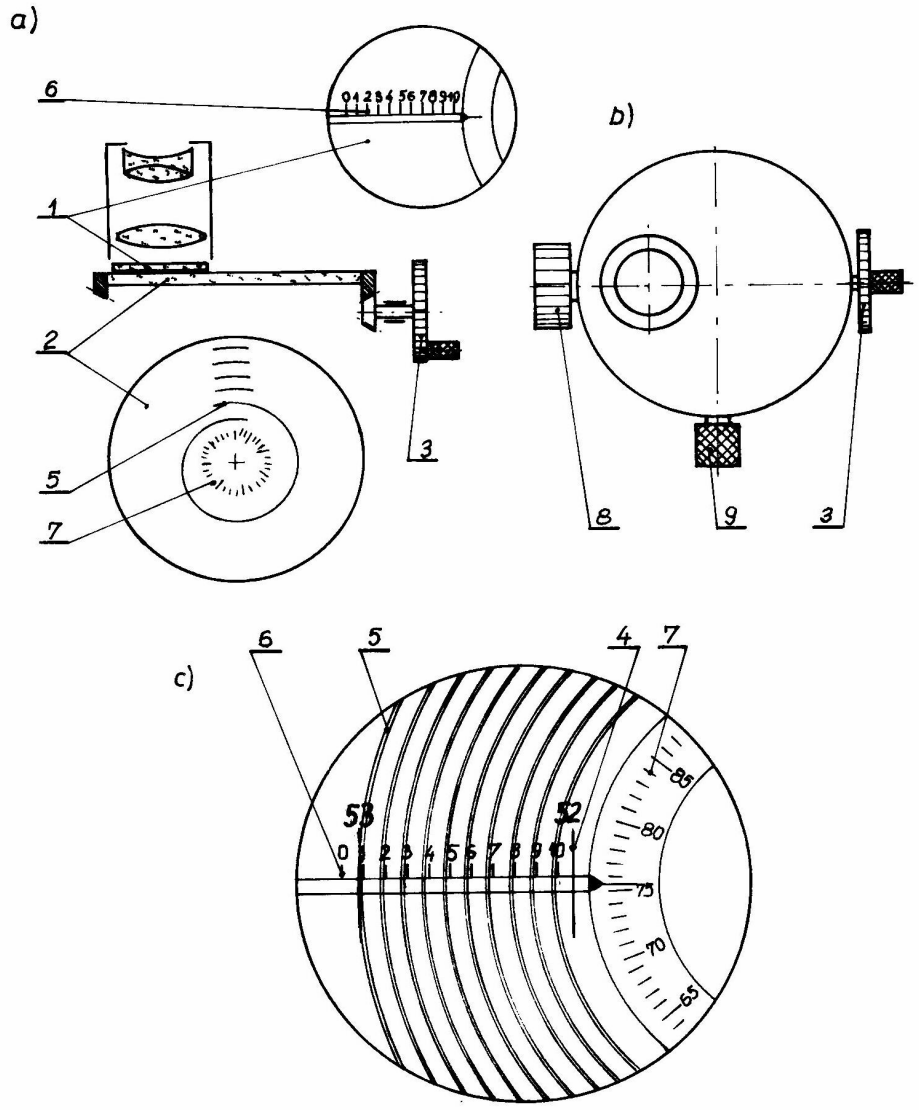
Rys. 5.3. Widok długościomierza poziomego

Stolik przedmiotowy 4 ma możliwość szeregu ruchów, potrzebnych do prawidłowego ustawienia przedmiotu. Przesuw pionowy jest realizowany przez obrót pokrętła 16 i blokowany śrubą 17. Przesuw w płaszczyźnie poziomej uzyskuje się przez obrót bębna mikrometrycznego 18. Obrót dookoła osi poziomej realizuje się dźwignią 19 i blokuje za pomocą dźwigni 20, zaś dookoła osi pionowej - za pomocą dźwigni 21.

5.2.2. Mikroskop odczytowy ze spiralą Archimedesa

Mikroskop ten pozwala podzielić działkę skali głównej (1 mm) liniału wmontowanego w trzpień mierniczy na 1000 części, czyli pozwala na odczytanie z dokładnością do 1 μm.

Schemat mikroskopu przedstawia rys. 5.4a, zaś rys. 5.4b - widok z góry ze wskazaniem punktów obsługi. Podstawowymi elementami są płytki szklane 1 i 2 (rys. 5.4a). Na płytce 1 nacięty jest noniusz 6 (0-10), dzielący obraz skali liniału, rzutowany przez obiektyw mikroskopu na 10 części, a więc pozwalający odczytać dziesiąte części milimetra. Do określenia części działki od kreski tego noniusza do kreski milimetrowej służy płytka 2, z naciętą spiralą Archimedesa 5 (spirala o stałym skoku). Skok tej spirali odpowiada odległości między sąsiednimi kreskami noniusza, czyli wynosi 0,1 mm. Jej pełny obrót przesuwa punkt z2-ęcia spirali i linii podziałki noniusza o skok spirali, czyli o 0,1 mm. Ponieważ podziałka z2-dowa 7 na płytce 2 ma 100 działek, zatem obrót płytki o jedną działkę podziałki obwodowej powoduje przesunięcie punktu przecięcia spirali z podziałka noniusza o 0,1 : 100 = 0,001 milimetra, czyli 1 μm.



Rys. 5.4. Głowica odczytowa ze spiralą Archimedesa: a) schemat, b) widok, c) pole widzenia w okularze

W celu dokonania odczytu należy obracać pokrętłem 3 tak, aby kreska milimetrowa z2-ałki 4 (rys. 5.4c), która znajduje się w obszarze spirali, została symetrycznie objęta liniami podwójnego łuku spirali. Całkowitą liczbę milimetrów określa numer kreski podziałki objętej spiralą, dziesiąte części milimetra odczytuje się z podziałki noniusza, a setne i tysięczne części milimetra wskazuje przeciwwskaźnik na podziałce obwodowej 7. Na rys. 5.4c pokazane jest wskazanie 53,0755.

Pokrętło 8 służy do przesuwu całej głowicy okularowej przy wzorcowaniu przyrządu, zaś śruba 9 - do blokady tego przesuwu.

5.2.3. Przebieg pomiaru wymiarów wewnętrznych

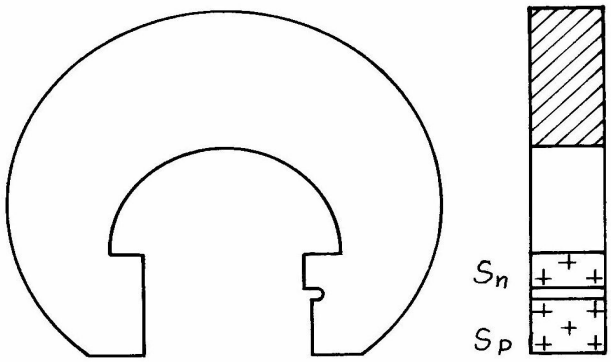
Nastawianie długościomierza na podstawie poziomej na wymiar wewnętrzny można ująć w następujących punktach (rys. 5.3).

1) Zamocować szczęki 15 na trzpieniu mierniczym 12 i trzpieniu konika 7.
2) Zamocować pierścień wzorcowy na stoliku 4 za pomocą przycisku.
3) Zsunąć szczęki aż do ich zetknięcia i zablokować przesuw trzpienia mierniczego pokrętłem 13.

4) Przesuwając pionowo stolik przez obrót pokrętła 16 wprowadzić końcówki miernicze szczęk w otwór wzorca. Śrubą 13 odblokować trzpień.
5) Przez przesuw głowicy mierniczej 2 wzdłuż prowadnic podstawy ustawić wskazanie zbliżone do wymiaru wzorca. Zablokować przesuw głowicy pokrętłem 5.
6) Przez obrót bębna mikrometrycznego 18 znaleźć średnicę otworu (największe wskazanie), zaś przez wychylenie stolika dźwignią 19 - kierunek prostopadły do powierzchni (najmniejsze wskazanie).
7) Na skali obwodowej mikroskopu odczytowego ustawić przez obrót pokrętła 3 (rys. 5.4b) wskazanie odpowiadające końcówce (setne i tysięczne) wymiaru wzorca (rys. 5.4c).
8) Po odblokowaniu śruby 9 (rys. 5.4b) wprowadzić, za pomocą pokrętła 8, kreskę skali milimetrowej (tę, która odpowiada wymiarowi nominalnemu wzorca) między z2-wiednie, podwójne linie spirali. Jeżeli wymiar wzorcowy ma zero na pierwszym miejscu po przecinku, np. 50,0018, będzie to pierwszy zwój spirali.
9) Sprawdzić i ewentualnie skorygować ustawienie wzorca, zgodnie z punktem 7.
10) Zablokować przesuw głowicy odczytowej 1 (śrubą 9 - rys. 5.4b).
11) Zdjąć wzorzec i zamontować badany przedmiot (sprawdzian).
12) Dokonać pomiaru wymiarów strony przechodniej (S_p) i nieprzechodniej (S_n) sprawdzianu we wskazanych punktach (rys. 5.5), sprawdzając, czy kierunek pomiaru jest prostopadły do powierzchni. Przy każdym pomiarze kreska skali milimetrowej musi być objęta podwójnym łukiem spirali, co osiąga się przez obrót pokrętła 3 (rys. 5.4b).
13) Nanieść wyniki pomiaru na schemat tolerowania sprawdzianu i ocenić sprawdzian.
14) Oszacować przypuszczalny błąd pomiaru wg wzoru:

$$\Delta_p = \pm\left(2 + \frac{L}{100}\right)\mu m$$

gdzie*: L* - wartość mierzonego wymiaru w mm.



Rys. 5.5. Punkty pomiaru wymiarów sprawdzianu szczękowego

5.3. Pomiary za pomocą długościomierza pionowego Abbego

Długościomierz pionowy Abbego przeznaczony jest do pomiaru metodą bezpośredniego porównania wymiarów zewnętrznych w zakresie 0-100 mm oraz do pomiarów metodą różnicową w zakresie 0 -200 mm.

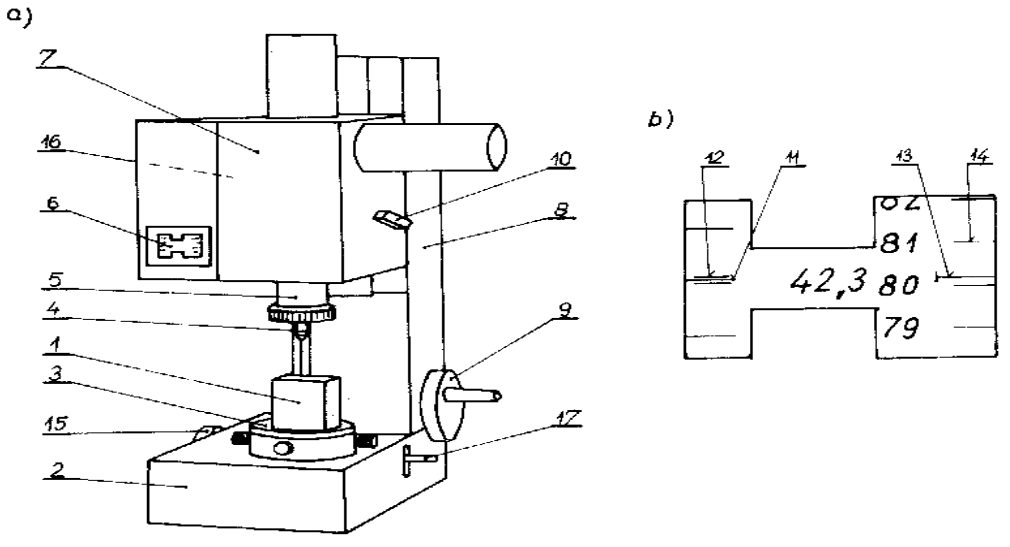
5.3.1. Budowa długościomierza pionowego

Długościomierz pionowy Abbego ma wbudowany wzorzec kreskowy o długości 100 mm, którego wskazanie jest widoczne na projekcyjnym ekranie odczytowym przyrządu. Wygląd przyrządu przedstawiony jest na rys. 5.6a. Przedmiot mierzony 1 ustawia się na stoliku mierniczym 3, umieszczonym na podstawie 2 przyrządu. Z przedmiotem styka się końcówka 4 trzpienia mierniczego 5. Z trzpieniem związany jest wzorzec kreskowy, którego wskazania widoczne są na ekranie projekcyjnym 6. Trzpień mierniczy łożyskowany jest w ramieniu 7, mającym możliwość przesuwu wzdłuż prowadnic kolumny 8. Przesuw ten jest realizowany przez obrót pokrętła 9 i blokowany dźwignią 10. Odczyt wskazania liniału, widoczny na ekranie projekcyjnym 6 można przeprowadzić tylko wtedy, gdy kreska 11 liniału objęta jest przez podwójne kreski 12 przeciwwskaźnika (rys. 5.6b). Kreska pojedyncza 13 przeciwwskaźnika j odcina na skali mikronowej 14 część końcową wskazania. Ponieważ każda kreska skali mikronowej jest opisana, całe wskazanie odczytuje się z ekranu projekcyjnego jednym rzutem oka. Ustawienie kresek przeciwwskaźnika tak, aby obejmowały kreskę wzorca, następuje przez obrót pokrętła 15. Niewidoczne na rysunku pokrętło 16 służy do z2wania wskazania przy ustawianiu przyrządu za pomocą płytek wzorcowych.

Trzpień mierniczy omawianego przyrządu jest przesuwany mechanicznie. Przesuw ten jest regulowany za pomocą dźwigni 17. Dźwignia ta ma cztery położenia:

- górne - odpowiadające ruchowi trzpienia do góry,
- drugie od góry - odpowiadające zatrzymaniu trzpienia (stop),
- trzecie od góry - odpowiadające wolnemu przesuwowi trzpienia na dół i wykorzystywane do ostatecznego zbliżenia trzpienia do powierzchni przedmiotu,
- dolne - odpowiadające przyspieszonemu ruchowi trzpienia w dół.

Uzyskanie styku końcówki mierniczej z przedmiotem powinno odbywać się zawsze za pomocą wolnego przesuwu trzpienia. Po uzyskaniu styku i zatrzymaniu trzpienia silnik z2dzający jego ruch zatrzyma się automatycznie. Po przeprowadzeniu pomiaru należy dźwignię 17 pozostawić w położeniu „stop" (drugie od góry).



Rys. 5.6. Długościomierz pionowy: a) widok, b) pole widzenia

Tablica 5.4

Wielkość pomiarowa M_o dla gwintów metrycznych zwykłych

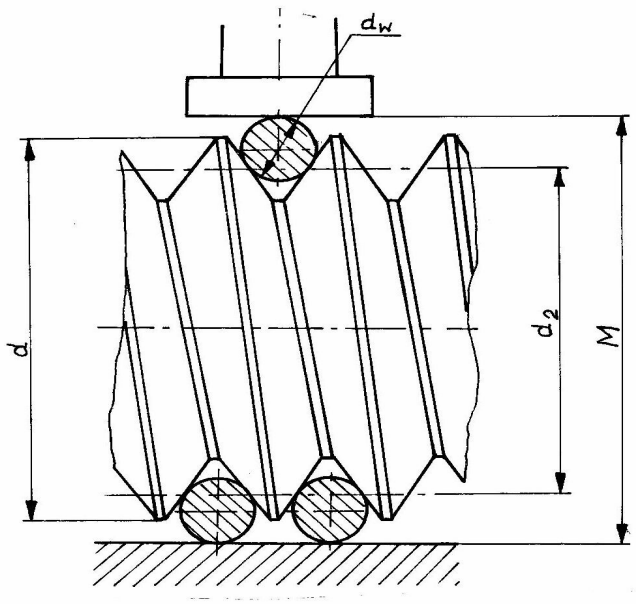
Średnica gwintu	d_w	P	d_2	M_o	δ
mm	mm	mm	mm	mm	µm
6 7	0,62	1	5,350 6,350	6,346 7,346	1,7
8 9	0,725	1,25	7,188 8,188	8,282 9,282	1.7
10 11	0,895	1,5	9,026 10,026	10,414 11,414	1,4
12	1.1	1,75	10,863	12,650	1,4
14 16	1,35	2	12,701 14,701	15,021 17,021	1,4
18 20 22	1,65	2,5	16,376 18,376 20,376	19,163 21,163 23,163	1,4
24 27	2,05	3	22,051 25,051	25,605 28,605	1
30 33		3,5	27,727 30,727	30,848 33,848	
36 39	2,55	4	33,402 36,402	37,590 40,590	1
42 45		4,5	39,077 42,077	42,832 45,832	

5.3.2. Przebieg pomiaru

1) Sprawdzić nastawienie przyrządu przez pomiar płytki wzorcowej dowolnego wymiaru. Gdy wskazanie przyrządu różni się znacznie od nominalnego, skorygować je przesuwem ramienia wzdłuż kolumny. Małe odchylenie można skorygować za pomocą pokrętła 16.
2) Na stoliku mierniczym ustawić przedmiot mierzony.
3) Szybkim przesuwem trzpienia mierniczego zbliżyć końcówkę mierniczą do s2-otu, a następnie wolnym przesuwem doprowadzić do styku z jego powierzchnią.
4) Obrotem pokrętła 15 objąć podwójnymi kreskami przeciwwskaźnika kreskę wzorca.
5) Odczytać wskazanie.
6) Podnieść trzpień mierniczy, ustawić dźwignię 17 w położeniu "stop" i wyjąć s2-ot.

Błąd pomiaru, przy prawidłowym jego przeprowadzeniu, według danych wytwórcy, nie powinien przekroczyć wartości obliczonej ze wzoru

$$\Delta = \pm(0{,}75 + L \cdot 10^{-6})\ \mu m$$



Rys. 5.7. Schemat pomiaru średnicy podziałowej gwintu z zastosowaniem wałeczków

5.4. Pomiar średnicy podziałowej gwintu metodą trójwałeczkową

Metodę trójwałeczkową stosuje się do **pośredniego pomiaru średnic podziałowych** sprawdzianów i przeciwsprawdzianów trzpieniowych do gwintów, gwintowników i dokładnych śrub. Metoda ta wymaga użycia trzech wałeczków o tej samej średnicy d_w. Wałeczki powinny stykać się z bokami gwintu na średnicy podziałowej d_2 gwintu (rys. 5.7). Dlatego średnice wałeczków dobiera się w zależności od kąta zarysu i podziałki P gwintu. Dla gwintów metrycznych średnice d_w podane są w tabl. 5.4. Znalezienie wartości wielkości mierzonej M pozwala na obliczenie błędu średnicy podziałowej gwintu.

$$\Delta d_2 = M - (M_o - \delta)$$

gdzie: M- wartość mierzona,

M_o - wartość teoretyczna, wzięta z tablicy 5.4,

δ - poprawka, uwzględniająca błąd pomiaru, spowodowany odkształceniem gwintu pod wpływem nacisku mierniczego (tabl. 5.4).

Pomiar średnicy podziałowej gwintu wspomnianą metodą przebiega w następujący z2-b:

1) Ustalić parametry mierzonego gwintu: średnicę zewnętrzną, kąt zarysu i podziałkę (z rysunku, opisu sprawdzianu i tablicy lub za pomocą wzornika).
2) Dla danej podziałki i kąta zarysu gwintu dobrać średnicę wałeczka na podstawie tabl. 5.4.
3) Sprawdzić prawidłowość wzorcowania długościomierza według punktu 5.3.2.
4) Na stoliku długościomierza ustawić dwa wałeczki, na nich oprzeć gwint dwoma sąsiednimi bruzdami. W przeciwległej bruździe, tak jak na rys. 5.7, umieścić trzeci wałeczek i opuścić końcówkę przyrządu.
5) Odczytać wskazanie i obliczyć odchyłkę mierzonej średnicy.
6) Ocenić mierzony sprawdzian.
7) Obliczyć błąd pomiaru wg wzoru podanego w punkcie 5.3.2.

Ćwiczenie 6

OKRESOWA KONTROLA MIKROMETRU

6.1. Cel kontroli

W wyniku eksploatacji sprzętu mierniczego może wystąpić jego zużycie, rozregulowanie mechanizmów, zniszczenie powierzchni mierniczych itp., powodując powstanie błędów pomiarów przekraczających wartości dopuszczalne, określone w odpowiednich normach.

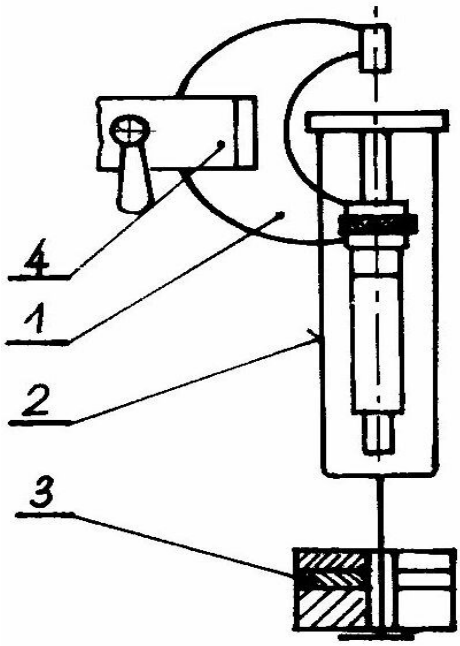
Celem okresowej kontroli sprzętu jest ustalenie jego parametrów metrologicznych dla ujawnienia przekroczenia wymagań i skierowania narzędzia do regulacji, naprawy lub kasacji.

6.2. Badanie stanu ogólnego

Badanie to polega na sprawdzeniu, czy powierzchnie zewnętrzne nie są uszkodzone lub skorodowane, a działki na skalach oznaczone czytelnie. Należy też sprawdzić, czy śruba mikrometryczna po zwolnieniu zacisku przesuwa się swobodnie w całym zakresie oraz czy zacisk wrzeciona działa poprawnie (po zaciśnięciu wrzeciona nie powinno się ono przesuwać przy pokręcaniu sprzęgłem).

6.3. Sprawdzenie nacisku mierniczego

Mikrometr 1 mocuje się w uchwycie 4 w położeniu pionowym (rys. 6.1) i zakłada urządzenie do obciążeń wrzeciona 2. Na szalkę dokłada się kolejno odważniki 3 sprawdzając każdorazowo, czy sprzęgło obraca jeszcze śrubę mikrometryczna. Najmniejsze obciążenie, przy którym sprzęgło nie obraca wrzeciona, odpowiada naciskowi mierniczemu badanego sprzęgła. Pamiętać należy, że do ciężaru obciążników należy dodać ciężar urządzenia do obciążenia (szalka i talerzyk).



Rys. 6.1. Schemat układu do sprawdzania nacisku mierniczego mikrometru

Tablica 6.1

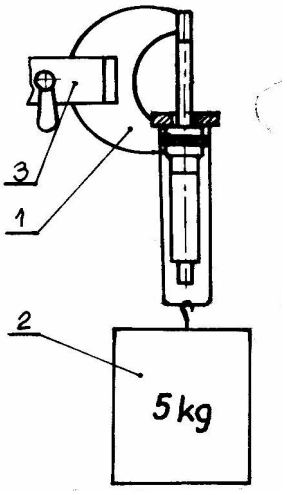
Dopuszczalne błędy mikrometrów wg PN-82/M-53200

Dolna granica A zakresu mierniczego	f_i	f_A	T_r	f_p
mm	µm	µm	µm	µm/10N
0 i 25	4	2	2	2
50 i 75	5	3	3	3
100	6	4	4	4
125	6	4	4	5
150 i 175	7	5	5	6
200	8	6	6	7
225	8	6	6	8
250	9	7	7	8
275	9	7	7	9
300 i 325	10	8	8	10
350	11	9	9	11
375	11	9	9	12
400	12	10	10	12
425	12	10	10	13
450	13	11	11	14
475	13	11	11	15
500	14	—	12	18
600	16	—	14	21
Dopuszczalna wartość błędu F pary gwintowej - 3 µm				
Tolerancja T_P płaskości powierzchni mierniczych - 0,9 µm				

Nacisk sprzęgła (nacisk mierniczy) dla mikrometrów o średnicy wrzeciona 6 ÷ 8 mm powinien wynosić 5 ÷ 10 N.

6.4. Sprawdzenie sztywności kabłąka

Mikrometr 1, zamocowany w uchwycie 3, jak przy sprawdzaniu nacisku mierniczego, z2-ąża się odważnikiem 5 kg (49 N) - rys. 6.2. Ugięcie sprężyste, wyznaczone z różnicy wskazań mikrometru obciążonego i nieobciążonego, przelicza się na 10 N obciążenia. Np. przy różnicy wskazań 0,005 mm sztywność wynosi 1 µm/10 N. Wartość ta nie może przekraczać wartości dopuszczalnej f_p (tabl. 6.1).



Rys. 6.2. Sprawdzanie sztywności kabłąka mikrometru

6.5. Sprawdzenie dokładności wskazań

Na dokładność mikrometru mają wpływ głównie:
- dokładność przekładni śrubowej,
- dokładność podziałek,
- prowadzenie wrzeciona.

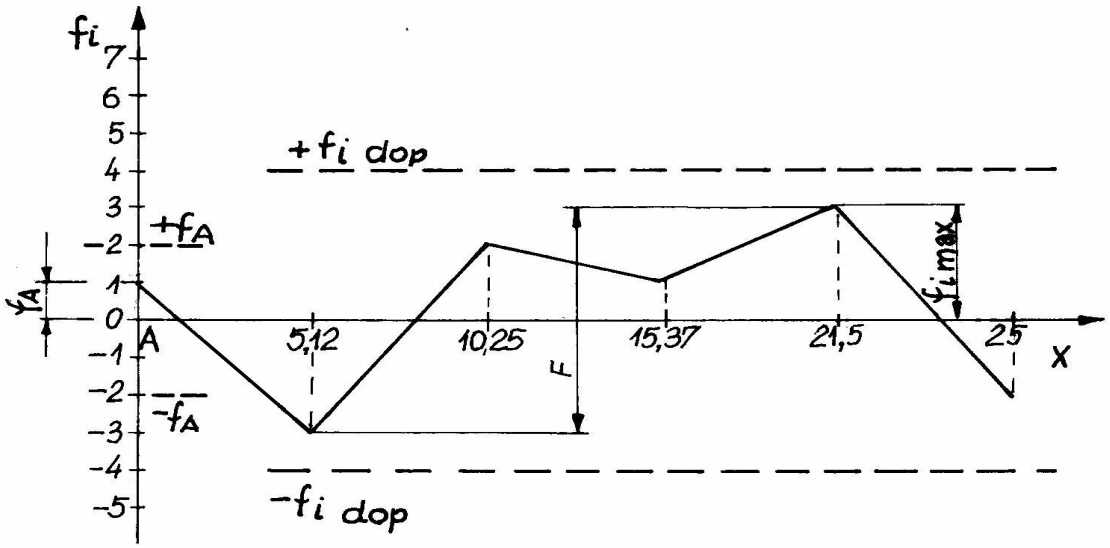
Wpływ tych czynników sprawdza się łącznie, dokonując pomiaru pewnej liczby płytek wzorcowych za pomocą mikrometru. Płytki podczas pomiaru należy chronić przed z2-zaniem, a do pokręcania wrzeciona używać wyłącznie sprzęgła.

Badanie należy przeprowadzić dla dolnej granicy A zakresu pomiaru (np. dla mikrometru o zakresie pomiarowym 25-50 mm A=25 mm) oraz dla wartości A+5,12; A+10,25; A+15,37; A+21,50; A+25,00 mm. Wartości ustalonych odchyłek f_i wskazań nanosi się na wykres (rys. 6.3).

Z wykresu tego, zgodnie z normą PN-82/M-53200, można odczytać następujące odchyłki:
- błąd wskazań dolnej granicy A zakresu mierniczego f_A,
- błąd f_{imax}, będący największą wartością bezwzględną błędu wskazań f_i,
- błąd F pary gwintowej przyrządu mikrometrycznego, który jest różnicą największej f_{imax} najmniejszej f_{imin} wartości odchyłki wskazań:

$$F = f_{i\max} - f_{i\min}$$

Wartości powyższych odchyłek nie mogą przekraczać wartości dopuszczalnych podanych w tablicy 6.1.

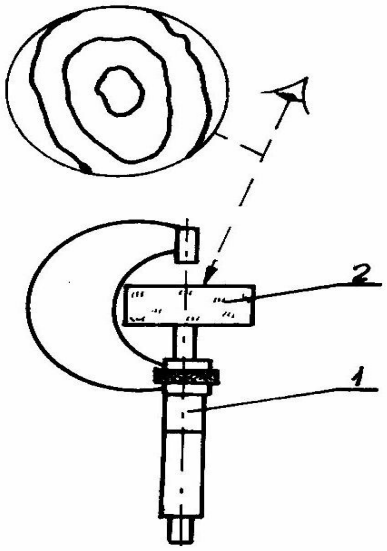


Rys. 6.3. Wykres odchyłek f_i wskazań

6.6. Sprawdzanie odchyłek płaskości powierzchni mierniczych kowadełka i wrzeciona

Odchyłkę płaskości powierzchni mierniczych kowadełka i wrzeciona mikrometru 1 (rys. 6.4) należy sprawdzać za pomocą płaskiej płytki interferencyjnej 2 na podstawie kształtu i liczby ukazujących się prążków interferencyjnych (zjawisko interferencji opisane jest w ćwiczeniu 9).

Po dokładnym oczyszczeniu powierzchni badanej umieszcza się na niej płytkę interferencyjną i lekko dociska w ten sposób, by ukazał się obraz prążków. Jeżeli powierzchnia badana jest zupełnie płaska, to otrzymane prążki są prostoliniowe i równoległe względem siebie. Przy równoległym ustawieniu płytki względem powierzchni badanej prążki znikają.



Rys. 6.4. Schemat sprawdzania płaskości powierzchni mierniczych mikrometru

Jeżeli powierzchnia nie jest płaska, to prążki przybierają postać różnego rodzaju krzywych, np. krzywych zamkniętych (rys. 6.4). Odległość między prążkami reguluje się przez bardzo małą zmianę kąta pochylenia płytki interferencyjnej. Przy prążkach bardziej z2-głych nieregularności są bardziej widoczne.

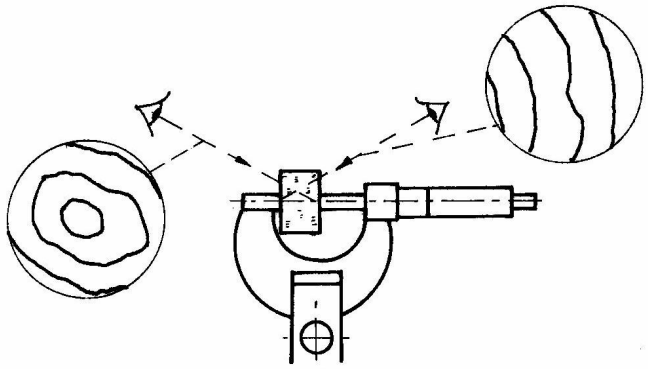
W celu określenia wartości odchyłki płaskości należy pochylić płytkę interferencyjną w taki sposób, aby ukazała się możliwie najmniejsza ilość prążków: wtedy płytka osiąga najbardziej równoległe położenie względem powierzchni badanej. Jeżeli najmniejsza liczba prążków obrazu interferencyjnego wynosi *m*, to niepłaskość można wyliczyć ze wzoru:

$$\Delta_p = \frac{\lambda}{2} \cdot m$$

gdzie*:* λ - długość fali światła zastosowanego do uzyskania interferencji (w przypadku światła białego obserwuje się prążek czerwony, dla którego $\lambda = 0{,}6\mu m$).

6.7. Sprawdzanie odchyłki równoległości powierzchni mierniczych

Odchyłkę równoległości powierzchni mierniczych wrzeciona i kowadełka mikrometru sprawdza się za pomocą kompletu płasko-równoległych płytek interferencyjnych. Płytkę interferencyjną należy lekko zacisnąć między wrzecionem i kowadełkiem, starając się na jednej z powierzchni otrzymać jak najmniejszą liczbę prążków interferencyjnych przez delikatne jej pochylanie (rys. 6.5). Jeżeli prążki nie znikają, to najmniejsza ich liczba osiągnięta jest wtedy, gdy skrajny zewnętrzny prążek tworzy krzywą zamkniętą.



Rys. 6.5. Schemat sprawdzania odchyłki równoległości powierzchni mierniczych mikrometru

Wtedy przyjmuje się, że powierzchnia badana jest równoległa do płytki. Jednocześnie należy obserwować prążki, które powstają na drugiej badanej powierzchni mierniczej mikrometru. Jeżeli najmniejsza liczba prążków na jednej powierzchni mierniczej wynosi m_1, a jednocześnie na drugiej powierzchni pojawi się m_2 prążków, wtedy odchyłka równoległości tych powierzchni wynosi:

$$\Delta_r = (m_1 + m_2)\frac{\lambda}{2}$$

gdzie: λ - długość fali światła.

W każdym komplecie płasko-równoległych płytek interferencyjnych, składającym się z czterech płytek, różnice grubości poszczególnych płytek, wynoszące 0,12 lub 0,13 mm, z2-wiadają w przybliżeniu czwartej części skoku śruby mikrometrycznej, który jest równy 0,5 mm. Różnice te pozwalają zatem sprawdzić nierównoległość powierzchni mierniczych przy różnych położeniach kątowych wrzeciona.

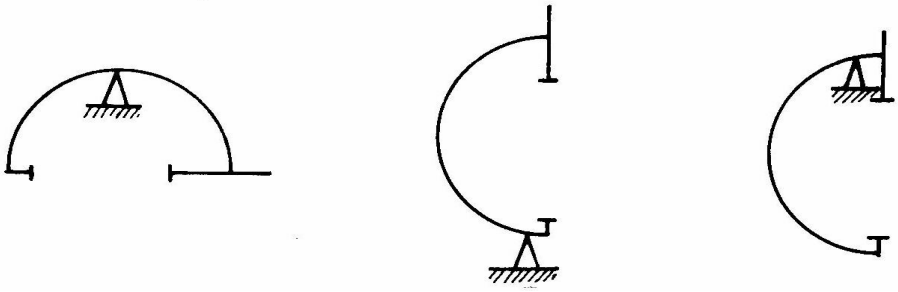
Granice dopuszczalnych błędów nierównoległości T_r mikrometru podane są w tabl. 6.1. Przez porównanie wartości zmierzonych z dopuszczalnymi należy stwierdzić, czy badany mikrometr spełnia stawiane wymagania.

6.8. Sprawdzanie wpływu sposobu pomiaru na jego dokładność

Sprawdzenie wpływu odkształceń kabłąka na błąd pomiaru odbywa się przez zmierzenie wzorca nastawczego do mikrometru:

- mikrometrem leżącym na stole,
- mikrometrem ustawionym kolejno, jak na rys. 6.6.

Należy określić wartości błędów i przeanalizować ich przyczyny.

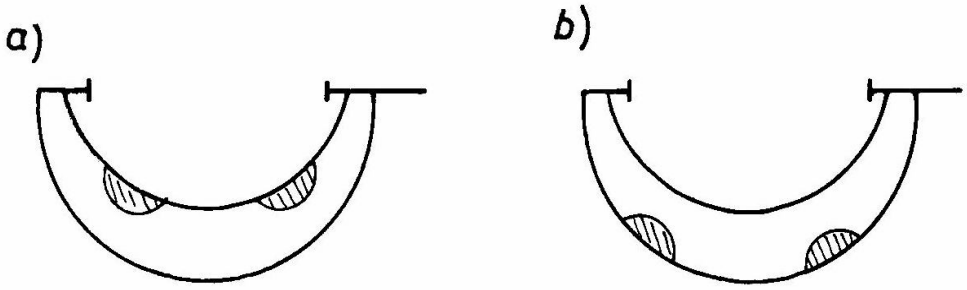


Rys. 6.6. Schemat podparcia mikrometru przy sprawdzaniu wpływu odkształceń kabłąka na dokładność pomiaru

6.9. Sprawdzanie wpływu odkształceń cieplnych na dokładność pomiaru

Należy:
- zmierzyć wzorzec nastawczy do mikrometru,
- przez dwie minuty trzymać w dłoniach kabłąk mikrometru od strony wewnętrznej (rys. 6.7a),
- powtórzyć pomiar wzorca i przeanalizować wynik,
- dokonywać pomiaru wzorca nastawczego co 1 min, aż do zaniknięcia odkształceń,
- przez dwie minuty trzymać kabłąk mikrometru od strony zewnętrznej (rys. 6.7b),
- ponownie zmierzyć wzorzec i powtarzać pomiar co 1 minutę aż do czasu zaniknięcia z2-ztałceń.

Przeanalizować wynik.



Rys. 6.7. Miejsca nagrzewania kabłąka mikrometru przy sprawdzaniu wpływu odkształceń cieplnych na dokładność pomiaru

Ćwiczenie 7

KONTROLA CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

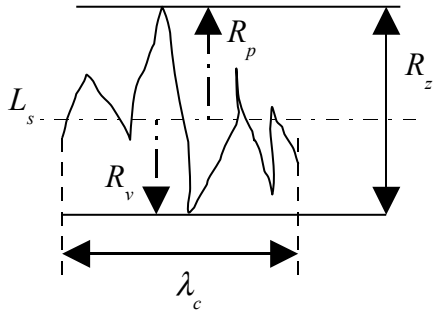
7.1. Klasyfikacja chropowatości powierzchni

Według normy PN-EN ISO 4287 chropowatość powierzchni to elementy struktury geometrycznej przedmiotu (nierówności), które powstały w procesie jego formowania. Nie zawierają one innych błędów, np. falistości i błędów kształtu. Nierówności te są przede wszystkim śladami współdziałania rozpatrywanej powierzchni z narzędziem - w procesie z2-bkowym, lub ze współdziałającym przedmiotem - w procesie eksploatacyjnym. Chropowatość powierzchni obrobionej zależy przede wszystkim od metody i schematu kinematycznego obróbki oraz od kształtu geometrycznego roboczej części narzędzia.

Od rozmiarów i kształtu chropowatości powierzchni zależą między innymi takie j własności eksploatacyjne powierzchni, jak jej przydatność do przenoszenia obciążeń stałych i zmiennych, odporność na ścieranie, na korozyjne działanie ośrodka, na współczynnik tarcia, na wytrzymałość zmęczeniową itp.

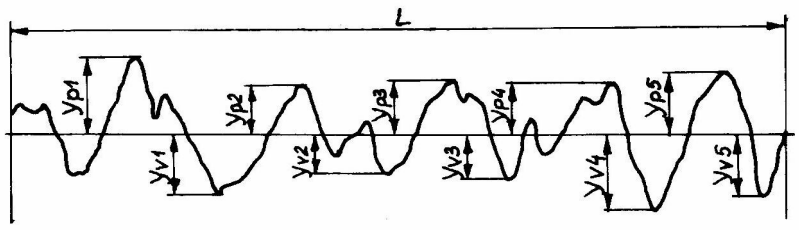
Popularnymi parametrami opisującymi chropowatość powierzchni są:

Największa wysokość profilu chropowatości R_z (rys.7.1) – jest to suma wysokości z2-szego wzniesienia profilu R_p i głębokości najniższego wgłębienia R_v określonych wewnątrz odcinka elementarnego λ_c (graniczna długość fali nierówności) względem linii średniej L_s (linia wyznaczona przez dopasowanie nominalnego kształtu do profilu pierwotnego metodą najmniejszych kwadratów)



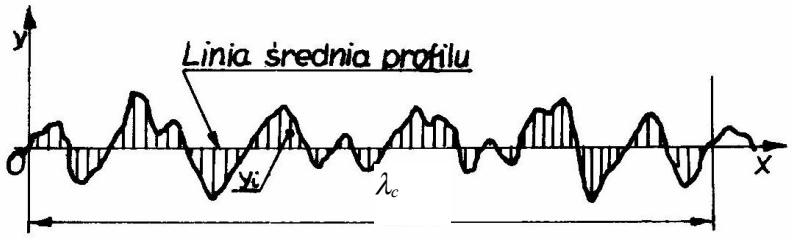
Rys. 7.1 Definicja parametru R_z

Specyfika pomiaru chropowatości na mikroskopie podwójnym, który jest wykorzystywany w tym ćwiczeniu sprawia, że umownie parametr R_z można określić, jako średnią arytmetyczną wartości odległości pięciu najwyższych wzniesień profilu chropowatości od pięciu najniższych wgłębień profilu chropowatości określanych w s2-ale odcinka pomiarowego L (rys. 7.2). Przyjmuje się bowiem, że znormalizowany odcinek pomiarowy L składa się z pięciu odcinków elementarnych λ_c.



Rys. 7.2. Schemat do wyznaczania R_Z za pomocą mikroskopu podwójnego

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} |y_{pi}| + \sum_{j=1}^{j=5} |y_{vj}|}{5}$$



Rys. 7.3. Schemat do wyznaczania R_a

Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości R_a - średnia arytmetyczna wartość bezwzględnych odchyleń profilu y od linii średniej L_s wewnątrz odcinka elementarnego $l_r = \lambda_c$ (rys. 7.3). Parametr R_a jest więc równy liczbowo polu prostokąta, który stanowią obszary profilu powierzchni wypełnione materiałem leżące powyżej linii średniej i obszary profilu bez materiału leżące poniżej tej linii.

$$R_a = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |y| dl$$

7.2. Ocena chropowatości powierzchni za pomocą wzorców

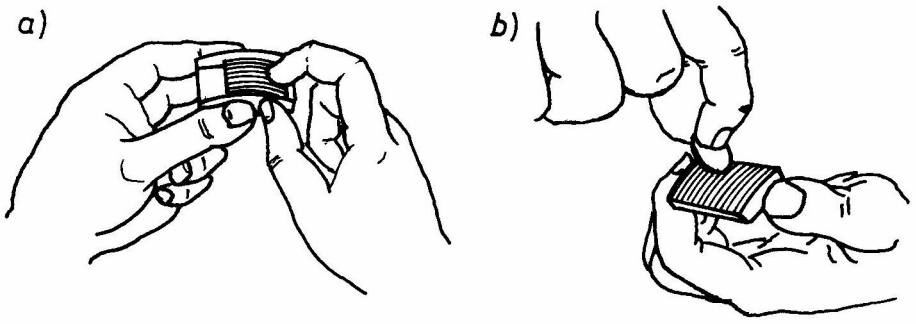
Wzorce chropowatości są przeznaczone do porównawczej oceny chropowatości sprawdzanych powierzchni.

Wzorcem może być każdy przedmiot, jeżeli jego powierzchnia odtwarza z wymaganą dokładnością wymiarową określoną chropowatość i typową strukturę geometryczną. Użycie wzorców zalecane jest w następujących przypadkach:

a) przeprowadzanie w sposób szybki i prosty selekcyjnej kontroli chropowatości dla wycofania na jej podstawie przedmiotów o chropowatości innej od wymaganej;

b) samokontroli na stanowiskach produkcyjnych, celem ułatwienia robotnikowi porównania powierzchni obrabianych przedmiotów z wymaganiami stawianymi w dokumentacji technicznej;

c) uzgadniania i określania w sposób jednoznaczny warunków odbioru między dostawcą a odbiorcą produkcji;



Rys. 7.4. Sprawdzanie chropowatości powierzchni przez porównanie z wzorcem metodą dotykową za pośrednictwem: a) paznokcia, b) metalowej blaszki

d) ustalanie warunków technicznych w pracach projektowych dla umożliwienia konstruktorowi doboru właściwej wartości chropowatości powierzchni;
e) szkolenia zawodowego w zakresie norm oraz stosowanych oznaczeń chropowatości na rysunkach i w dokumentacji technologicznej, jak też praktycznego szkolenia w wykonywaniu przedmiotów o żądanym stopniu wykończenia powierzchni.

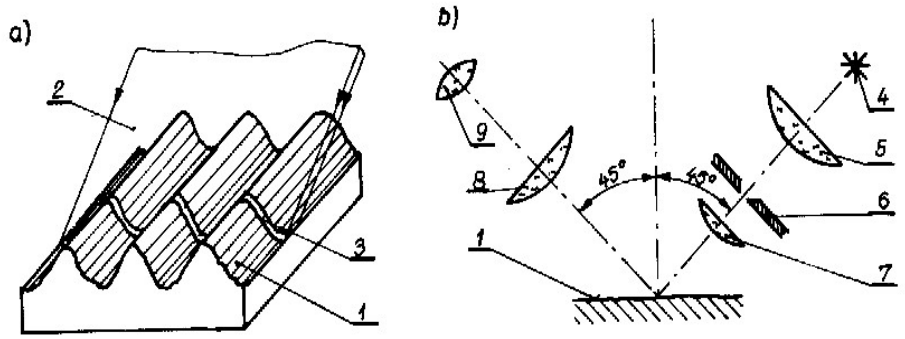
Wzorce powinny spełniać następujące warunki:
- wzorzec i porównywany z nim przedmiot powinny być wykonane z takiego samego lub podobnego materiału,
- kształt obu porównywanych powierzchni powinien być zbliżony,
- sposób obróbki obu porównywanych powierzchni powinien być taki sam, a wzajemne usytuowanie powierzchni wzorca i przedmiotu w trakcie ich porównywania takie, aby ślad obróbki był na obu powierzchniach zgodny co do kierunku,
- przed oceną należy starannie oczyścić i przemyć zarówno powierzchnię wzorca, jak i powierzchnię z nim porównywaną,
- porównanie należy przeprowadzić w stałych warunkach zewnętrznych, posługując się w sposób prawidłowy porównaniem wzrokowym (przy jednoczesnym obserwowaniu obu powierzchni), lub porównaniem dotykowym. W dotykowej ocenie chropowatości przyjęto posługiwać się paznokciem lub miękką blaszką o zaokrąglonych brzegach (rys. 7.4). Ma to na celu zmniejszenie wpływu tarcia, które obniża dokładność obserwacji.

7.3. Kontrola chropowatości powierzchni za pomocą podwójnego mikroskopu

Podwójny mikroskop jest przeznaczony do odtworzenia w powiększeniu zarysu mierzonej powierzchni metodą przekrojów świetlnych oraz pomiaru wysokości nierówności.

7.3.1. Zasada pomiaru

Zasada odtworzenia profilu powierzchni przez płaską wiązkę światła, padającą na powierzchnię pod pewnym kątem, przedstawiona została na rys. 7.5a. Rys. 7.5b przedstawia schemat optyczny podwójnego mikroskopu. Źródło światła 4 wysyła przez kondensor 5 i płaską szczelinę 6 wiązką świetlną 2, która po przejściu przez obiektyw 7 pada na badaną powierzchnię 1 pod kątem 45°, dokonując „przekroju" 3 nierówności badanej powierzchni, po czym odbija się pod kątem 45°, trafia do obiektywu 8 i okularu 9 mikroskopu obserwacyjnego.



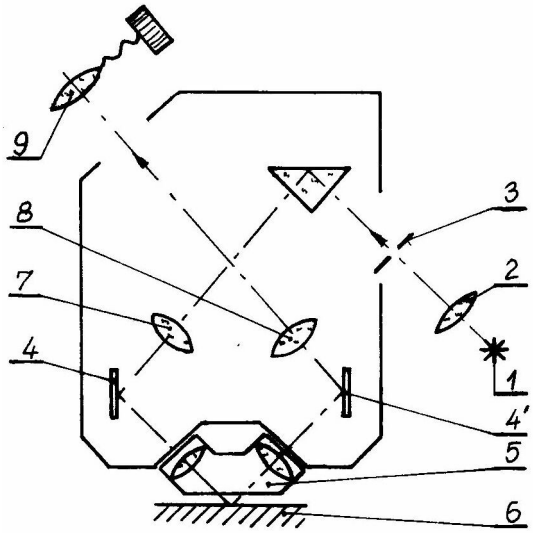
Rys. 7.5. Pomiar chropowatości powierzchni metodą przekroju świetlnego: a) zasada pomiaru, b) schemat optyczny

Pomiar wysokości chropowatości sprowadza się do odczytania w okularze pozornej wysokości chropowatości oraz przeliczenia jej na rzeczywistą wysokość chropowatości, z uwzględnieniem powiększenia optycznego mikroskopu V oraz pochylenia pod kątem 45° z2-serwowanego profilu.

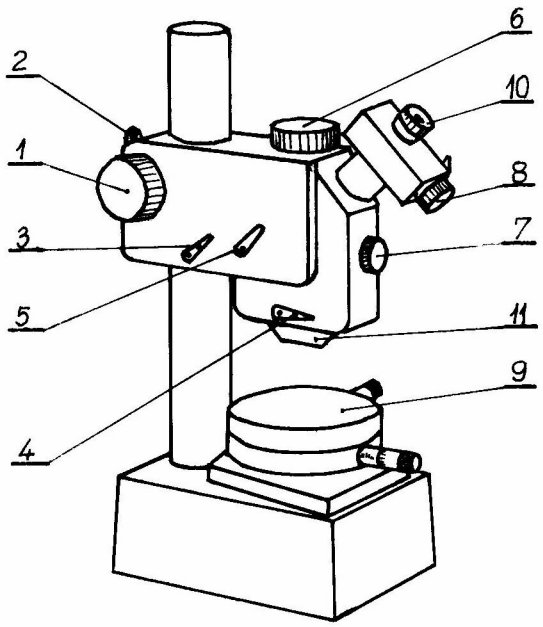
7.3.2. Budowa podwójnego mikroskopu

Na rys. 7.6 przedstawiono usytuowanie poszczególnych elementów mikroskopu w korpusie. Obiektywy układu oświetlającego i obserwacyjnego zostały zblokowane w jeden układ 5. Wiązka światła ze źródła 1 przechodzi przez kondensor 2, szczelinę 3, załamuje się w pryzmacie i przez soczewkę 7 pada na zwierciadło 4 odbija się od niego i przez obiektyw oświetlający trafia na powierzchnię badaną 6. Oświetla ją tworząc „przekrój świetlny", który jest obserwowany przez obiektyw 8 i okular 9.

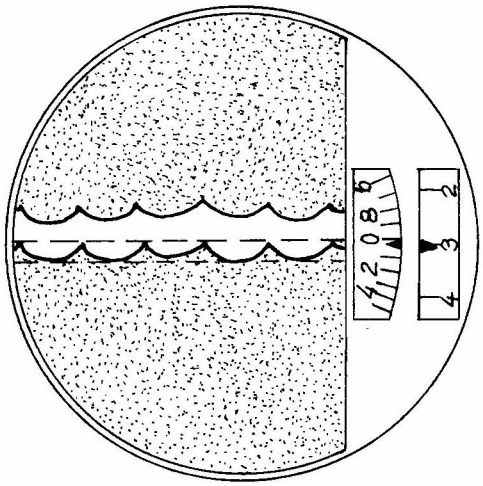
Wygląd zewnętrzny mikroskopu jest przedstawiony na rys. 7.7. Układ mikroskopowy z2-wany jest po kolumnie pokrętłem 1 i blokowany zaciskiem 2. Do ostatecznego ustawienia wysokości obiektywu nad stolikiem 9 służy pokrętło 6. Obiektywy 11 blokuje się dźwignią 4. Do dokładnej regulacji ostrości obrazu służą pokrętła 6 i 7. Obraz, oglądany przez okular 10, mierzony jest za pomocą skali, którą ustawia się pokrętłem 8. Dźwignia 5 służy do zmiany rodzaju obrazu.



Rys. 7.6. Schemat optyczny mikroskopu podwójnego



Rys. 7.7. Widok i punkty obsługi mikroskopu podwójnego



Rys. 7.8. Pole widzenia w okularze mikroskopu podwójnego

Dźwignia 3 umożliwia zdjęcie korpusu przyrządu z podstawy i wykorzystanie go jako z2-ądu przenośnego na warsztacie.

Pole widzenia w obiektywie mikroskopu przedstawiono na rys. 7.8.

7.3.3. Przebieg pomiaru

1) Określić wstępnie chropowatość badanej powierzchni za pomocą wzorców.
2) Dobrać obiektywy o odpowiednim powiększeniu (tabl. 7.1) i zamocować je przez z2-t dźwigni 4 (rys. 7.7).
3) Ustawić przedmiot mierzony na stoliku.
4) Przesuwem pionowym 1 po kolumnie doprowadzić ostrożnie obiektyw do styku z s2-otem (zacisk 2 powinien być odblokowany).
5) Ustalić dźwignię 5 w położeniu poziomym (pełny obraz).

6) Wolno podnosząc korpus po kolumnie ustalić ostro widziany pasek w środku pola widzenia.
7) Zablokować przesuw wzdłuż kolumny dźwignią 2.
8) Ustawić dźwignię 5 pod kątem 45° (obraz szczeliny). Zawęzić szczelinę i poprawić ostrość pokrętłami 6 i 7
9) Ustalić wskazanie mikrometru okularowego 8 odpowiadające:
- wierzchołkom,
- wgłębieniom nierówności (rys. 7.8).
10) Obliczyć wysokość nierówności ze wzoru

$$R = (k_2 - k_1)p$$

gdzie: k_1 *i* k_2 - wskazania mikrometru,
p - wartość działki elementarnej mikrometru podwójnego dla wybranego powiększenia (tabl. 7.1).

W przypadku zróżnicowanych wysokości nierówności zarysu powtórzyć pomiar dla pięciu nierówności i obliczyć

$$R_Z = \frac{R}{5}$$

Tablica 7.1

Zalecane obiektywy w zależności od wysokości nierówności i odpowiadające im wartości działki elementarnej mikrometru podwójnego

Wysokość nierówności w μm	Obiektyw	Wartość działki elementarnej w μm
0,5 - 1,5	60x	0,21
1,5 – 5	30x	0,41
5 - 15	14x	0,90
15 - 50	7x	1,79

Błąd pomiaru przy prawidłowym jego przeprowadzeniu, według danych wytwórcy, nie powinien przekroczyć wartości obliczonych ze wzoru:

$$\Delta_p = \pm(0{,}07 + 0{,}03R_{\max})\mu m$$

gdzie: R_{max} - największa zmierzona wartość nierówności w μm.

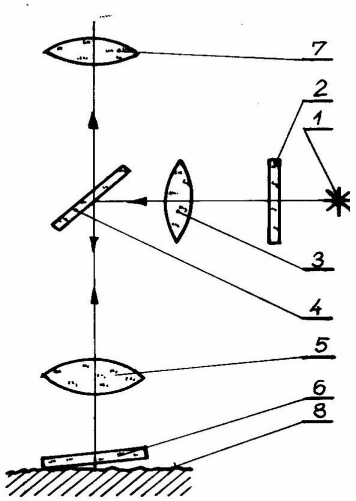
7.4. Kontrola chropowatości powierzchni za pomocą mikrointerferometru

Mikrointerferometru Gł-2 przeznaczony jest do warsztatowej kontroli chropowatości metodą interferencji dwupromieniowej w zakresie $R_z = 0{,}05 \div 2\ \mu m$.

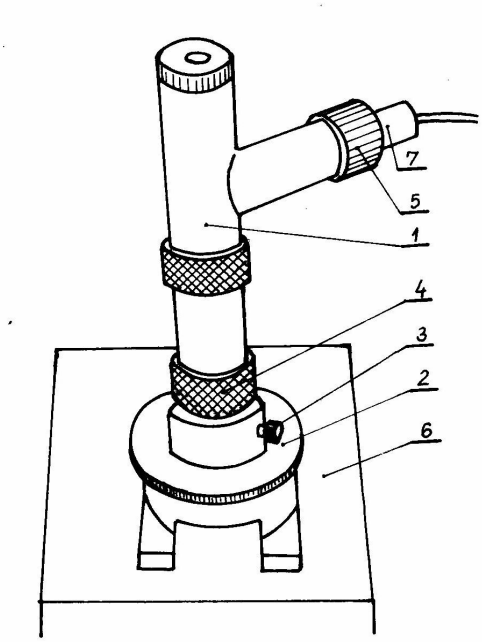
7.4.1. Zasada działania mikrointerferometru Gł-2

Zasada powstawania prążków interferencyjnych, na której oparte jest działanie tego z2-ądu, opisana jest w ćwiczeniu 9 w punkcie 9.5.

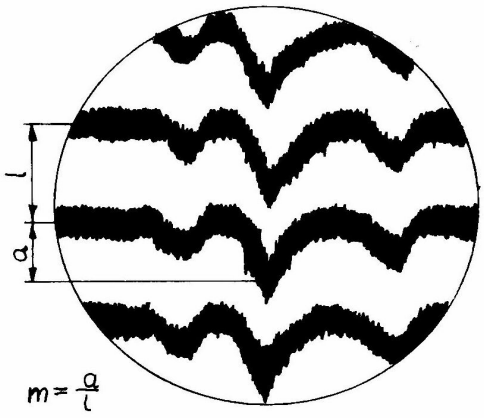
Uproszczony schemat optyczny warsztatowego mikrointerferometru Gł-2, produkcji PZO, jest przedstawiony na rys. 7.9. Źródłem światła jest żarówka 1, której promienie przechodzą przez filtr interferencyjny 2 i skupiający układ soczewek 3. Następnie wiązka światła ulega odbiciu od półprzeźroczystego zwierciadła 4, skąd przez obiektyw 5 i płytkę interferencyjną 6 pada na badaną powierzchnię 8. Obraz interferencyjny obserwuje się przez okular 7.



Rys. 7.9. Schemat optyczny mikrointerferometru



Rys. 7.10. Mikrointerferometr Gł-2



Rys. 7.11. Ocena nierówności na podstawie obrazu interferencyjnego

Wygląd interferometru przedstawiony jest na rys. 7.10. Korpus 1 mikrointerferometru umocowany jest na podstawie 2 i blokowany za pomocą śruby 3. Mikrometryczny przesuw korpusu względem podstawy realizuje się przez obrót pokrętła 4. Statyw oparty jest na s2-ocie badanym 6. Oświetlacz 7 połączony jest z korpusem za pośrednictwem nakrętki 5.

7.4.2. Przebieg pomiaru

1) Zamocować korpus mikrointerferometru w statywie i podłączyć go do sieci elektrycznej.
2) Ustawić statyw na badanym przedmiocie.
3) Ustawić ostrość obrazu interferencyjnego przez obrót pokrętła 4.
4) Przez zmianę nachylenia interferometru ustawić możliwie najwyraźniejszy obraz, obejmujący kilka do kilkunastu prążków.
5) Ocenić wartość parametru m, czyli stosunek wartości zaburzenia prążka a do odległości między prążkami l (rys. 7.11).
6) Obliczyć wysokość chropowatości R_z w μm

$$R_z = \frac{\lambda}{2} m$$

gdzie: λ - długość fali światła (w przypadku światła białego obserwuje się prążek czerwony dla którego $\lambda = 0{,}6$ μm).

7.5. Pomiar chropowatości powierzchni przyrządem HOMMEL TESTER T1000

7.5.1 Charakterystyka przyrządu

Przyrząd do pomiaru chropowatości **HOMMEL TESTER T1000** jest poręcznym, z2-śnym i niezależnym od zasilania sieciowego przyrządem pomiarowym.

Przyrząd podstawowy HOMMEL TESTER T1000 jest fabrycznie wyposażony w:

1. Przyrząd posuwowy (patrz rys.7.14) napędzany silnikiem i indukcyjny układ z2-orowujący 4, jak również w pryzmę dla pomiarów w małych otworach i przy najmniejszej będącej do dyspozycji powierzchni podparcia.

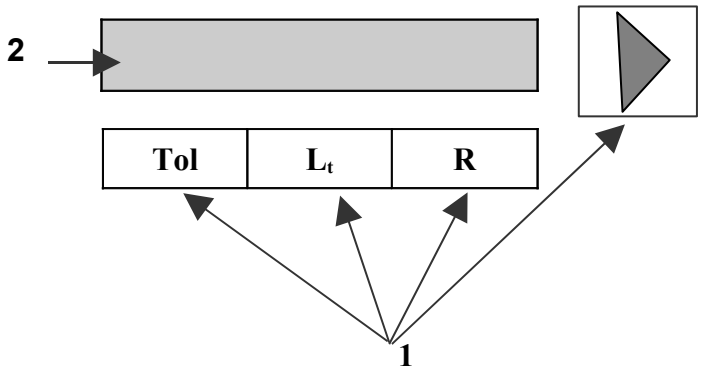
2. Akumulatory NiCd (przy codziennym ładowaniu akumulatora można wykonać ok. 100 niezależnych od zasilania sieciowego pomiarów bez konieczności ładowania akumulatora).

3. Zasilacz sieciowy.

4. Opcjonalnie z lewej strony przyrządu podstawowego może być podłączona 16-to miejscowa drukarka punktowa z taśmą kolorową.

Przyrząd umożliwia pomiar wielu parametrów chropowatości, z których w tym ćwiczeniu mierzone będą parametry R_a oraz R_z I . Parametry te są podawane na podstawie analizy profilu badanej powierzchni wykonanej automatycznie przez przyrząd. Profil ten uzyskuje się w wyniku przesuwania się diamentowej końcówki mierniczej po wybranym z2-nku badanej powierzchni – w kierunku prostopadłym do śladów obróbki.

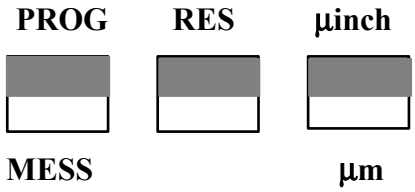
Na płycie czołowej przyrządu (rys.7.12) znajdują się cztery foliowane przyciski 1 oraz wyświetlacz ciekłokrystaliczny 2.:



Rys.7.12. Przyciski na płycie czołowej przyrządu

Przycisk ze strzałką służy do uruchomienia przyrządu i rozpoczęcia pomiaru pozostałe przyciski do wybrania warunków i wyników pomiaru.

Na tylnej ściance przyrządu umieszczone są trzy przełączniki (rys.7.13):



Rys.7.13. Przełączniki znajdujące się na tylnej ściance przyrządu

Prawy przełącznik pozwala wybrać jednostkę i powinien być nastawiony na **µm.** Środkowy jest wyłącznikiem i służy również do resetowania przyrządu. Lewy przełącznik z2-as wprowadzania warunków pomiaru musi być w położeniu **PROG** zaś w czasie pomiaru chropowatości w położeniu **MESS.**

7.5.2 Przygotowanie pomiaru

Celem ćwiczenia jest zmierzenie wartości R_a i R_zI powierzchni wskazanego s2-otu. W celu przygotowania pomiaru należy:

1) lewy przełącznik na tylnej ściance przyrządu (rys. 7.13) ustawić w położeniu **PROG** (napis ten pojawi się na wyświetlaczu),

2) naciskać przycisk **R** (rys.7.12) tyle razy, aż pojawi się symbol R_a a następnie z2-ierdzić to dużym przyciskiem ze strzałką (przy symbolu chropowatości pojawia się gwiazdka ∗),

2) powtórzyć czynność 2 w celu uzyskania i zatwierdzenia parametru R_zI ,

3) wybrać długość **odcinka pomiarowego L_t ;** można wybrać jeden z trzech odcinków w zależności od przewidywanej wartości parametru R_a (należy to oszacować na z2-awie wzorców dotykowych). Orientacyjnie można przyjąć następujące kryteria doboru odcinka pomiarowego:

$R_a < 0.4$ µm – L_t **= 1.5mm,**

0.4 µm $\le R_a \le 5$ µm – L_t**=4.8 mm,**

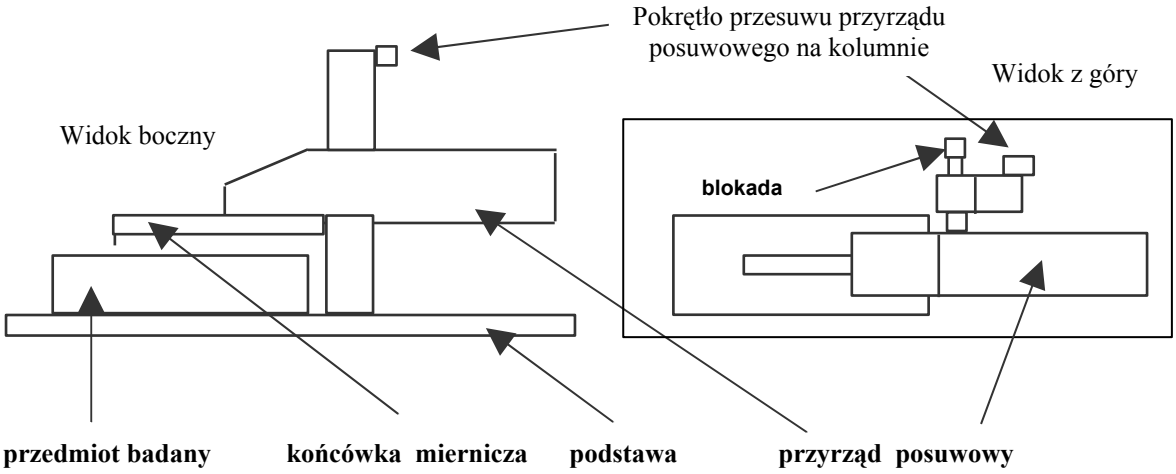
$R_a > 5$ µm – L_t**=15 mm**.

W celu ustalenia wartości odcinka pomiarowego przyciskiem L_t (rys.7.12) należy wybrać odpowiednią wartość i zatwierdzić ją przyciskiem ze strzałką (pojawia się gwiazdka *).

Przyrząd jest przygotowany do pomiaru – należy ustawić lewy przełącznik (rys.7.13) w położenie **MESS.**

7.5.3 Wykonanie pomiaru

1) Przedmiot mierzony należy ustawić na metalowej płycie pod końcówką pomiarową (dla odpowiedniego usytuowania przedmiotów walcowych w płycie wykonany jest rowek o przekroju trójkątnym) – rys.7.14.



Rys.7.14. Stanowisko pomiarowe z przyrządem HOMMEL TESTER T1000

2) Pokrętłem przesuwu przyrządu posuwowego na kolumnie (po odblokowaniu) **ostrożnie** opuścić czujnik tak, by końcówka miernicza delikatnie dotknęła przedmiotu badanego.

3) Ustawić końcówkę do pomiaru - w tym celu należy jednocześnie nacisnąć z2-ski **Tol** i ⊳ – na wyświetlaczu pojawi się **POS** oraz wartość liczbowa, którą poprzez obrót pokrętłem przesuwu czujnika na kolumnie należy ustalić w granicach **± 5µm** (możliwie jak najbliżej zera) po czym zablokować przesuw.

4) Nacisnąć przycisk ⊳ (na przyrządzie lub czujniku) – postęp pomiaru pokazywany jest na wyświetlaczu; po zakończeniu pomiaru końcówka miernicza wraca w swoje położenie wyjściowe a na wyświetlaczu pojawia się wartość chropowatości badanej powierzchni R_a; po ponownym naciśnięciu przycisku **R** pojawia się wartość parametru R_z *I* oraz ewentualnie inne ustawione w ramach procesu przygotowania pomiaru (p.2) parametry.

Ćwiczenie 8

KONTROLA ODCHYŁEK KIERUNKU, POŁOŻENIA I BICIA

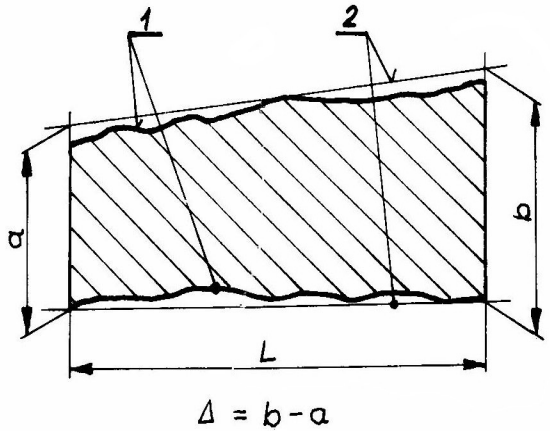
8.1. Pojęcie podstawowe

Kształt geometryczny części maszyn jest zwykle złożony. Przykładowo wałek wielostopniowy czy tuleja to kilka powierzchni walcowych, korpus, w którym montowana jest z2-adnia mechaniczna jest bryłą składająca się z szeregu płaszczyzn, w których wykonano szereg otworów itp. Stąd też, oprócz zapewnienia odpowiednich wymiarów i kształtu poszczególnych elementów konieczne jest zapewnienie ich odpowiedniego kierunku, położenia i bicia, które stanowi. Powierzchnie walcowe w wałku wielostopniowym powinny być walcami posiadającymi tę samą oś, osie otworów wykonanych w skrzyni przekładniowej powinny być do siebie równoległe a płaszczyzna czołowa wału umieszczonego w korpusie powinna być prostopadła do podstawy tego korpusu. Dlatego też w praktyce konieczne jest ustalenie dopuszczalnych granic dla wzajemnego kierunku i położenia elementów ustalając odpowiednie tolerancje kierunku, położenia i bicia.

Tolerancje kierunku, położenia i bicia wymagają w większości przypadków ustalenia bazy, względem której są określane i dlatego kwalifikowane są jako tolerancje geometryczne z elementem odniesienia w odróżnieniu od tolerancji kształtu nazywanych tolerancjami geometrycznymi prostymi [10]. Wg normy PN-EN ISO 1101:2006 tolerancja geometryczna to strefa, w której powinna zawierać się powierzchnia lub linia elementu rzeczywistego. Dla tolerancji kierunku, położenia i bicia lokalizację strefy tolerancji określają przyjęte bazy.

Do zasadniczych **odchyłek kierunku** zalicza się **odchyłki równoległości, prostopadłości i nachylenia**.

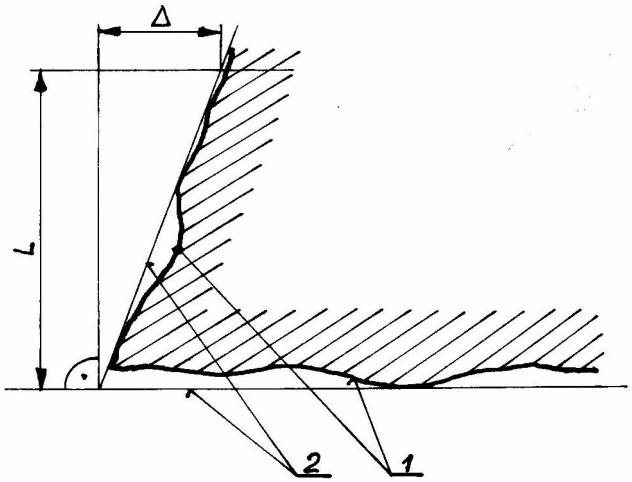
W dużym uproszczeniu, pomijając szereg szczegółowych przypadków można przyjąć, że **odchyłka równoległości** jest to różnica największej i najmniejszej odległości między danym elementem (osią, płaszczyzną) a przyjętą bazą (również osią lub płaszczyzną), rozpatrywana na określonej odległości *L* (rys. 8.1).



Rys. 8.1. Odchyłka równoległości; 1 — element badany, 2 — baza

Z kolei **odchyłkę prostopadłości**, również w dużym uproszczeniu można zdefiniować, jako różnicę między największą i najmniejszą odległością danego elementu (prostej, płaszczyzny) od prostopadłej do przyjętej bazy, rozpatrywaną na określonej odległości *L* (rys. 8.2).

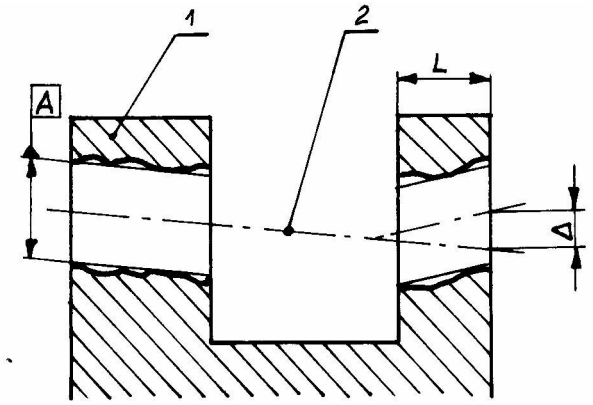
Odchyłkę nachylenia określa się, w zbliżony, co do zasady, sposób jak odchyłkę prostopadłości, z tym, że chodzi tu o ustalenie odchyleń od kąta innego niż 90^0.



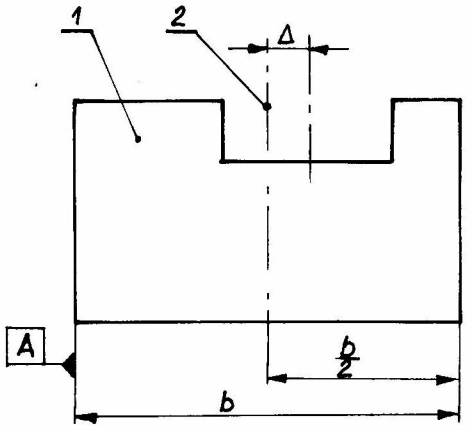
Rys. 8.2 Odchyłka prostopadłości; 1 – element badany, 2 — baza

Do najważniejszych **odchyłek położenia** zalicza się **odchyłkę współosiowości, współśrodkowości, symetrii** oraz **pozycji**.

Odchyłkę współosiowości i **symetrii,** w pewnym uproszczeniu, pominąwszy szereg szczegółowych przypadków, można określić jako największą odległość Δ między osią obrotu lub symetrii rozpatrywanego elementu a osią elementu przyjętego za bazowy (wskazanej na rysunku za pomocą zaczernionego trójkąta - rys. 8.3 i 8.4). W podobny sposób określa się **z2-yłkę współśrodkowości**, jednak w tym przypadku rozpatruje się odległość punktu (np. środka okręgu) od punktu elementu bazowego (np. środka innego okręgu).



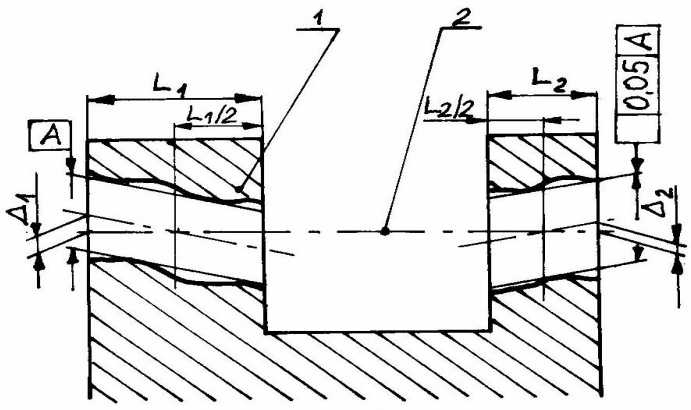
Rys. 8.3. Odchyłka współosiowości; 1 - przedmiot mierzony, 2 - oś bazowa



Rys. 8.4. Odchyłka symetrii; 1 - przedmiot mierzony, 2 - oś bazowa

Jeżeli na rysunku nie jest wskazana baza, odchyłkę współosiowości, współśrodkowości czy asymetrii określa się od osi wspólnej rozpatrywanej powierzchni.

W przypadku dwóch powierzchni oś wspólną stanowi prosta, przecinająca osie rozpatrywanych powierzchni w punktach odpowiadającym środkom długości tych powierzchni (rys. 8.5).



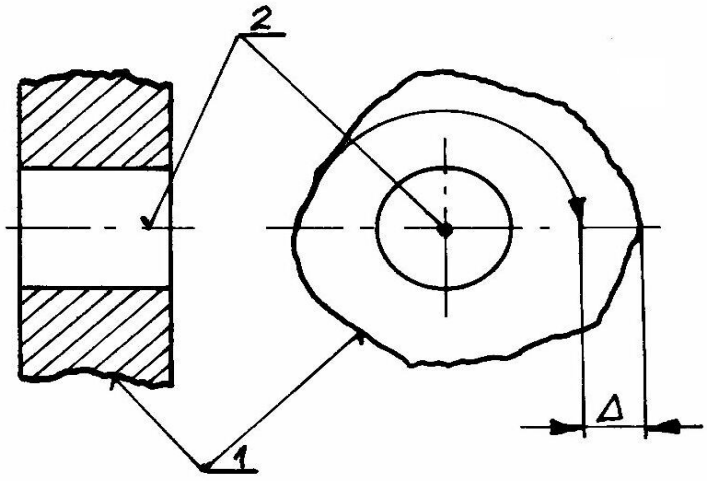
Rys. 8.5. Określenie odchyłki współosiowości od osi wspólnej; 1 - przedmiot mierzony, 2 - oś wspólna

Tolerowanie pozycji jest uznawane za najbardziej uniwersalną metodę tolerowania geometrycznego. **Odchyłka pozycji** to największa odległość pozycji rozpatrywanego elementu (punktu, prostej lub płaszczyzny) od pozycji elementu (-ów) bazowego. Na podstawie tej definicji można więc zauważyć, że pozostałe wymienione wcześniej odchyłki położenia są szczególnymi przypadkami odchyłek pozycji.

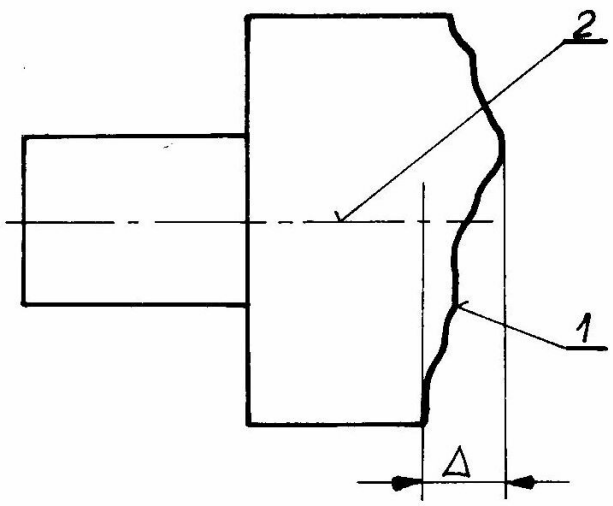
Odchyłki bicia stanowią pewnego rodzaju złożenie stanowiące wypadkową łącznego występowania **odchyłek kierunku, położenia i kształtu** zarysu względem wyznaczonych elementów bazowych.

Odchyłka bicia promieniowego jest to różnica Δ największej i najmniejszej odległości punktów zarysu rzeczywistego powierzchni obrotowej od osi bazowej w każdej płaszczyźnie prostopadłej do tej osi (rys. 8.6).

Odchyłka bicia osiowego to różnica Δ największej i najmniejszej odległości punktów z2-su rzeczywistego powierzchni czołowej, rozpatrywanego na powierzchni walca o wyznaczonej średnicy, od płaszczyzny prostopadłej do osi bazowej (rys. 8.7).



Rys. 8.6. Odchyłka bicia promieniowego; 1 - powierzchnia mierzona, 2 - oś obrotu (bazowa)



Rys. 8.7. Odchyłka bicia osiowego; 1 - powierzchnia mierzona, 2 - oś obrotu (bazowa)

W przypadku analizy zespołów lub mechanizmów, w których rozpatrywana powierzchnia ma możliwość obrotu, oś bazowa dla bicia pokrywa się z osią obrotu.

Na wartość obu tych odchyłek wpływają odchyłki kształtu, kierunku i położenia wielu części, tworzących zespół lub mechanizm. Wartość bicia jest więc kompleksowym wskaźnikiem dokładności wykonania części i poprawności ich montażu.

Tolerancje bicia promieniowego i osiowego stanowią w praktyce najczęściej z2-kane przypadki tolerowania bicia. Jednakże kierunek pomiaru odchyłki bicia może przyjmować dowolną wartość z zakresu $<0^o;90^o>$ - przykładowo bicie powierzchni stożkowych. W takim przypadku określa się tzw. **odchyłkę bicia w określonym kierunku**.

8.2. Kontrola odchyłek kierunku i położenia elementów korpusu

Podstawowymi elementami korpusów są zazwyczaj dokładnie obrobione otwory oraz płaszczyzny. Kontrola wzajemnego położenia tych powierzchni sprowadza się w zasadzie do określenia:

- odchyłki równoległości (np. dwu otworów lub podstaw),
- odległości poszczególnych elementów,
- odchyłki prostopadłości (np. czoła piasty do osi otworu),
- kąta (np. między dwiema płaszczyznami),
- odchyłki współosiowości (np. dwu otworów),
- odchyłki przecinania się osi (np. osi otworów przekładni stożkowej).

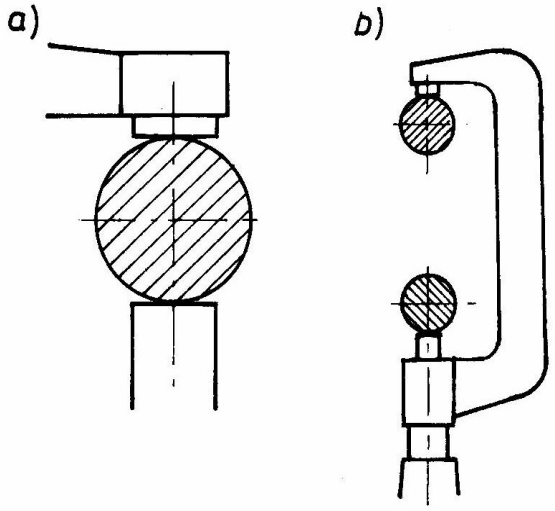
Typowe sposoby pomiaru tych błędów podano w tabl. 8.1.

Jako środki kontrolne najczęściej stosuje się: suwmiarki, wysokościomierze suwmiarkowe, wysokościomierze elektroniczne, mikrometry, płytki wzorcowe, szczelinomierze, czujniki zegarowe, poziomnice, płyty miernicze itp.

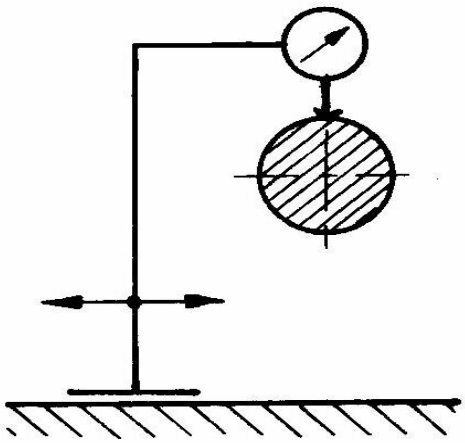
Przy pomiarach wysokościomierzem suwmiarkowym śrubę przesuwu poprzeczki wysokościomierza należy pokręcać delikatnie, aby uchwycić moment zetknięcia się poprzeczki z przedmiotem. Dalsze pokręcanie śruby powoduje powstanie luzu między podstawą wysokościomierza a płytą.

Przy pomiarze przedmiotów walcowych mikrometr powinien stykać się z przeciwległymi tworzącymi (na średnicy), a przy pomiarze odległości przedmiotów walcowych - z najbardziej oddalonymi tworzącymi (rys. 8.9). Bęben mikrometru należy pokręcać wyłącznie za pośrednictwem sprzęgła.

Przy pomiarze położenia przedmiotów walcowych czujnikiem (rys. 8.10) należy z2-wać go prostopadle do osi przedmiotu i odczytywać największe wskazania (położenie zwrotne wskazówki). Wtedy pod końcówką znajduje się najwyższa tworząca.



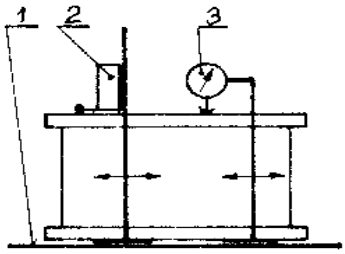
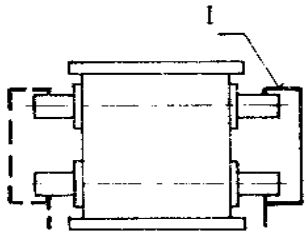
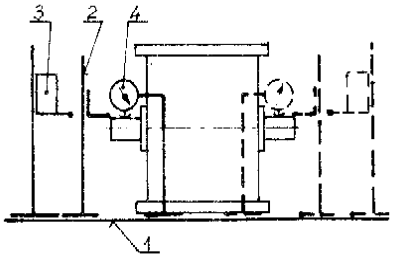
Rys. 8.9. Schemat pomiaru przedmiotów walcowych mikrometrem: a) średnicy, b) odległości



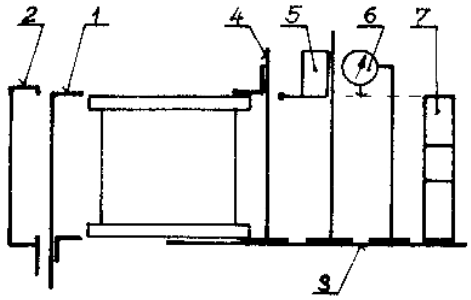
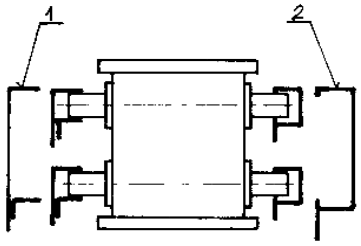
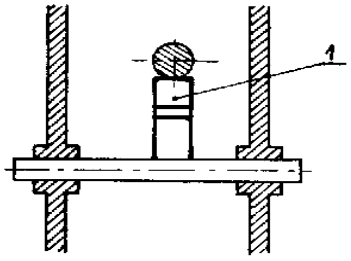
Rys. 8.10. Schemat pomiaru położenia za pomocą czujnika

Tablica 8.1

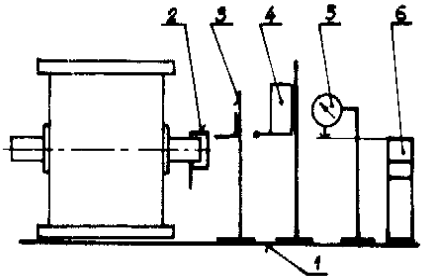
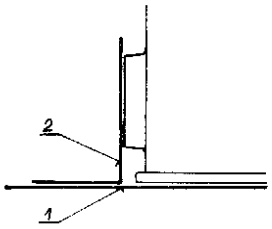
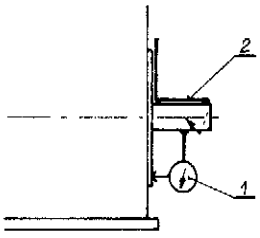
Sposoby kontroli najczęstszych odchyłek kierunku i położenia

Odchyłka	**Schemat pomiaru**	**Środki kontrolne**	**Błąd pomiaru Δ_p mm**
Równoległości	dwóch płaszczyzn 	1 - płyta miernicza 2 - wysokościomierz elektroniczny lub 3 - czujnik na z2-awie	**0,003** **0,01**
	dwóch osi 	1 - mikrometr	**0,01**
	osi i płaszczyzny 	1 — płyta miernicza 2 — wysokościomierz suwmiarkowy lub 3 — wysokościomierz elektroniczny 4 — czujnik na z2-awie	**0,15** **0,003** **0,01.**

Cd. tablicy 8.1

Odchyłka	Schemat pomiaru	Środki kontrolne	Błąd pomiaru Δ_p mm
Odległości	płaszczyzn równoległych 	1 - suwmiarka 2 - mikrometr 3 - płyta miernicza 4 - wysokościomierz suwmiarkowy lub 5 - wysokościomierz elektroniczny lub 6 - czujnik na z2-awie 7 - płytki wzorcowe	**0,15** **0,01** **0,15** **0,003** **0,01**
	osi równoległych 	1 - suwmiarka 2 - mikrometr	**0,15** **0,01**
	osi wichrowatych 	1 - płytki wzorcowe	**0,01**

Cd. tablicy 8.1

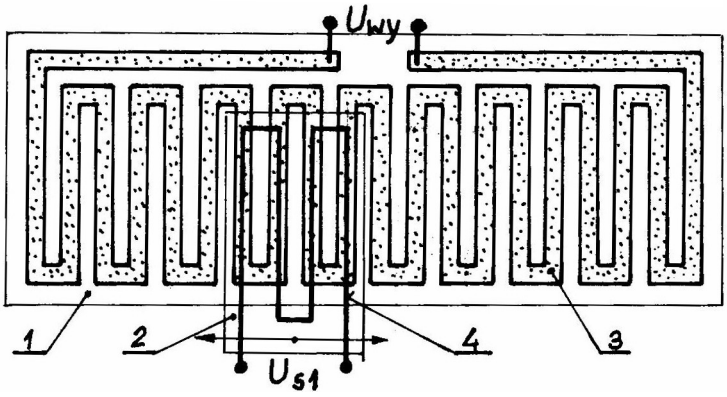
Odchyłka	Schemat pomiaru	Środki kontrolne	Błąd pomiaru Δ_p mm
Odległości	osi i płaszczyzny 	1 — płyta miernicza 2 - mikrometr 3 - wysokościomierz suwmiarkowy lub 4 - wysokościomierz elektroniczny lub 5 - czujnik na z2-awie 6 - płytki wzorcowe	**0,15** **0,01** **0,01**
Prostopadłości	dwóch płaszczyzn 	1 - płyta miernicza 2 - kątownik	**0,01**
	osi i płaszczyzny 	1 - czujnik w oprawce lub 2 - kątownik	**0,01** **0,01**

8.3. Wysokościomierz elektroniczny

Wysokościomierz elektroniczny jest przeznaczony do pomiaru współrzędnej pionowej punktów stanowiących elementy płaszczyzn, średnic zewnętrznych i wewnętrznych. Układy przetwarzania, w jakie jest wyposażony, pozwalają na bezpośrednie określenie średnic z2-ętrznych i wewnętrznych, ich środków, odległości między osiami i powierzchniami. Pozwalają także na znalezienie i zapamiętanie najniższego i najwyższego punktu powierzchni. Te cechy pozwalają na szybki i dokładny pomiar wzajemnego położenia elementów geometrycznych badanych części maszyn.

8.3.1. Zasada działania

W wysokościomierzu elektronicznym elementem pomiarowym jest induktosyn liniowy. Jego zasada działania jest przedstawiona na rys. 8.11.



Rys. 8.11. Zasada działania induktosynu liniowego

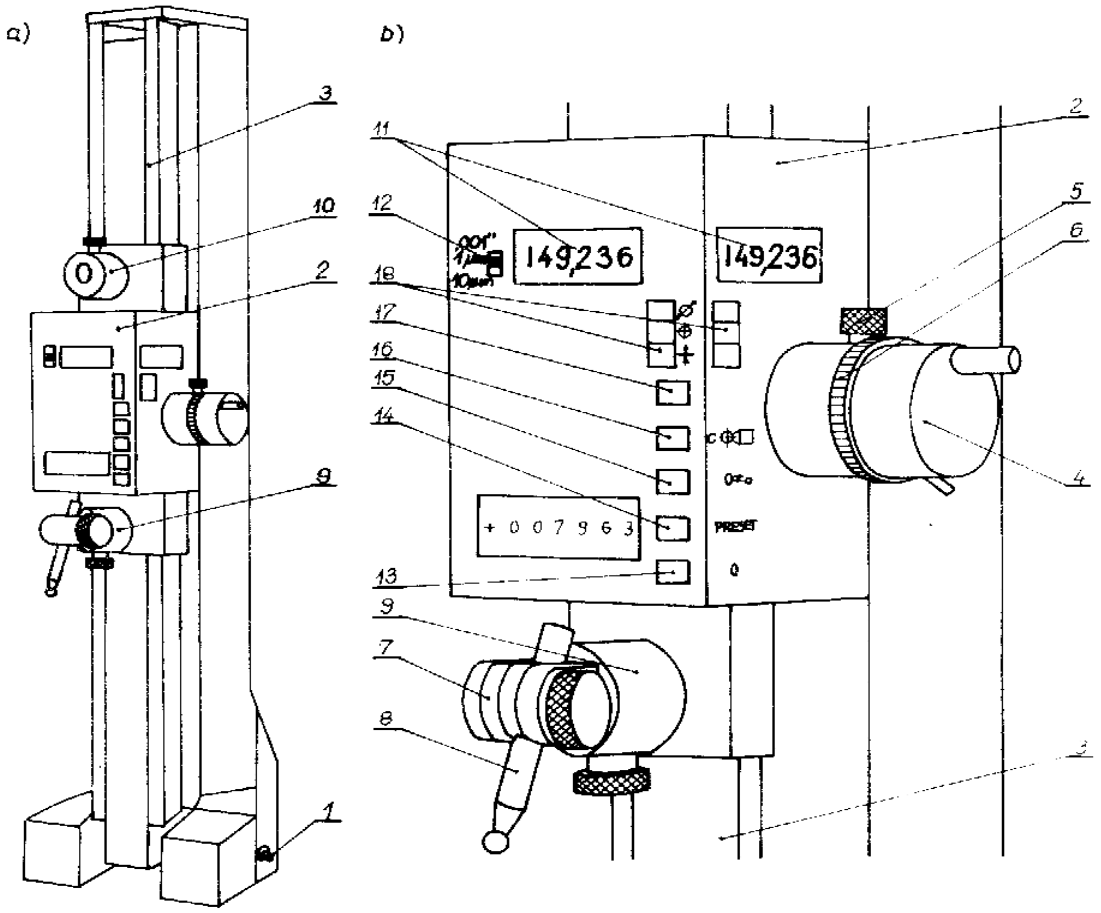
W podstawowych elementach induktosynu: liniale 1 i suwaku 2 zostały umieszczone uzwojenia 3 i 4 o kształcie pokazanym na rysunku. Liniał jest elementem nieruchomym, związanym z korpusem przyrządu, zaś suwak przesuwa się wzdłuż liniału. Uzwojenia suwaka i liniału mają tę samą podziałkę, najczęściej wynoszącą 2 mm. Uzwojenie suwaka zasilane jest napięciem zmiennym o częstotliwości rzędu 10 kHz. W uzwojeniach liniału indukuje się sygnał o podobnej częstotliwości, którego amplituda zmienia się sinusoidalnie, zależnie od wzajemnego położenia uzwojeń liniały suwaka. Jeżeli uzwojenia zachodzą na siebie (jak na rysunku) występuje maksimum sygnału. Przy przesuwie suwaka sygnał maleje, a gdy uzwojenia suwaka znajdują się w środku między uzwojeniami liniału - sygnał maleje do zera. Przy dalszym przesuwie zmienia kierunek, aby znowu przez maksimum dojść do zera. Właśnie amplituda i faza sygnału jest miarą przesunięcia suwaka. Stosowane układy elektroniczne pozwalają to przesunięcie określić z dokładnością 1 - 2 μm.

8.3.2. Budowa wysokościomierza

Na rys. 8.12 przedstawiono widok wysokościomierza elektronicznego firmy TRIMOS.

Przyrząd włączany jest za pomocą włącznika 1 (rys. 8.12a). Suwak 2 przemieszcza się po pionowych prowadnicach kolumny 3. Przesuw ten jest realizowany za pomocą pokrętła 4 (z2-w zgrubny) oraz 5 (przesuw dokładny). Nacisk mierniczy uzyskuje się za pomocą pierścienia 6. Oprawkę 7 z końcówką mierniczą 8 umieszcza się w gnieździe dolnym 9 lub górnym 10. Wynik pomiaru wyświetlany jest w oknie 11. Po lewej stronie wyświetlacza znajduje się z2-cznik wartości działki elementarnej 12. Wzdłuż prawej pionowej krawędzi suwaka znajdują się przyciski sterujące. Dolny przycisk 13 służy do zerowania wskazania, następne dwa: 14 i 15 - do wprowadzenia wartości wskazań do pamięci, zaś czwarty 16 wprowadza do układu

liczącego średnicę końcówki mierniczej (w czasie pomiaru nie powinien być używany). z2-żej położony przycisk 17 służy do przełączania realizowanej funkcji (pomiar położenia powierzchni płaskiej, pomiar położenia osi otworu, pomiar średnicy otworu). Realizowana funkcja jest wyświetlana na wyświetlaczu 18.

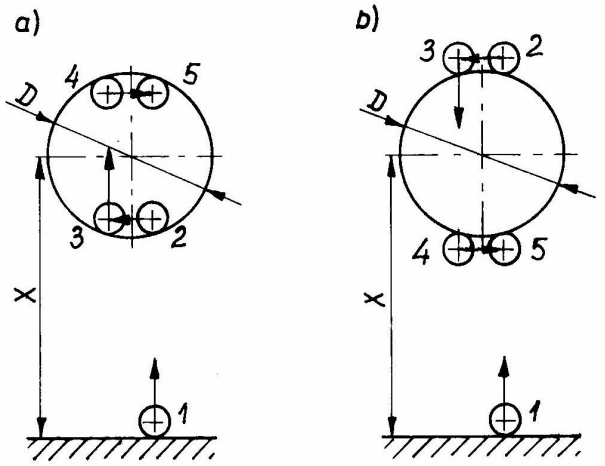


Rys. 8.12. Wysokościomierz elektroniczny TRIMOS: a) widok, b) elementy obsługi

8.3.3. Przebieg pomiaru

1) Zerowanie wskazania. W tym celu należy:
- doprowadzić końcówkę mierniczą do styku z powierzchnią bazową,
- włączyć nacisk mierniczy za pomocą pierścienia 6, a następnie nacisnąć przycisk z2-wania.
2) Pomiar odległości płaszczyzn:
- ustawić wskazanie zerowe na powierzchni bazowej,
- doprowadzić końcówkę mierniczą do styku z powierzchnią badaną,
- włączyć nacisk i odczytać wskazanie przyrządu.
3) Pomiar średnicy otworu i odległości osi:
- ustawić wskazanie zerowe na powierzchni bazowej,
- przestawić funkcję (przycisk 17) na pomiar średnicy,
- doprowadzić końcówkę mierniczą do styku z dolną tworzącą przedmiotu i włączyć z2-sk,

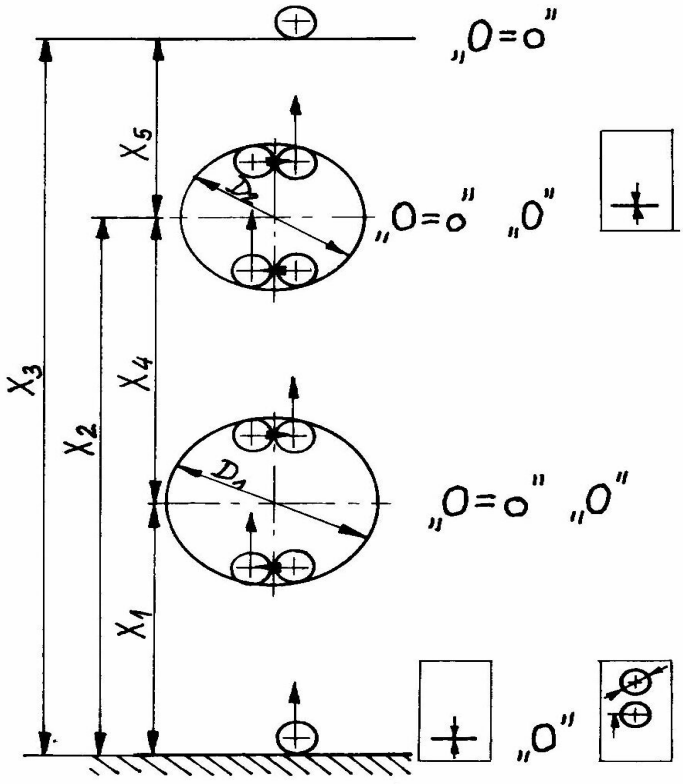
- przesunąć przedmiot po płycie tak, aby końcówka przeszła przez punkt ekstremalny (rys. 8.13),
- zmienić kierunek nacisku i doprowadzić do styku końcówki z górną tworzącą s2-otu,
- ponownie przesunąć przedmiot tak, aby końcówka przeszła przez punkt ekstremalny,



Rys. 8.13. Pomiar średnicy i odległości osi: a) otworu, b) wałka

- odczytać wskazanie, które podaje wartość mierzonej średnicy,
- zdjąć nacisk i odczytać kolejne wskazanie, które podaje wartość odległości osi od przyjętej bazy.

Za pomocą wysokościomierza można mierzyć odległości kilku osi, zarówno od wspólnej bazy, jak też i od siebie (rys. 8.14).



Rys. 8.14. Pomiar średnic i położenia kilku otworów i płaszczyzn

W tym celu należy:

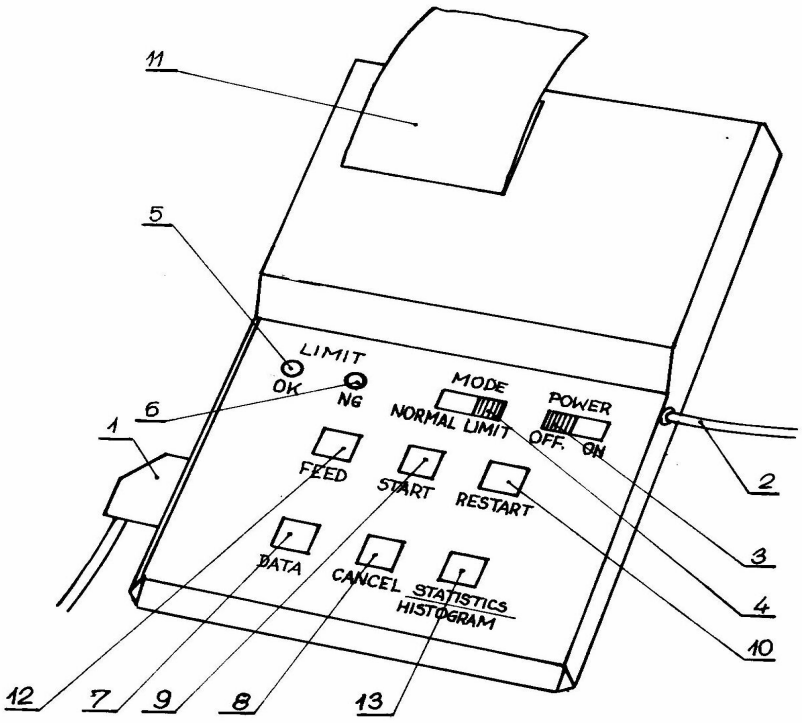
- uzyskane wskazanie wprowadzić do pamięci przyciskiem przyciskiem 0 = o i wyzerować wyświetlacz

- powtórzyć opisane czynności dla następnej średnicy. Wskazanie przyrządu po pomiarze średnicy i zdjęciu nacisku mierniczego odpowiada odległości od poprzedniej osi. Odległość od bazy otrzyma się po dodaniu wartości pamięci, przez naciśnięcie przycisku 0 = o. Gdy trzeba, zmierzyć odległość do następnej osi; należy wprowadzić otrzymany wynik do pamięci przyciskiem 0 = o i powtórzyć opisane czynności.

8.3.4. Wykorzystanie drukarki

Wysokościomierz TRIMOS może współpracować z drukarką (rys. 8.15), z którą jest połączony za pomocą przewodu i wtyczki 1. Drukarka zasilana jest prądem za pomocą z2-du 2. Włączenie zasilania następuje za pomocą włącznika 3. Przełącznik 4 służy do wyboru trybu pracy: położenie prawe odpowiada pracy z założonymi granicami tolerancji, zaś lewe - bez określenia tolerancji. W przypadku pracy z założonymi granicami tolerancji rozbłyśnięcie lampki 5 sygnalizuje wymiar w granicach tolerancji, zaś lampki 6 - wymiar nie mieszczący się w założonej tolerancji.

Do wprowadzania danych i ich druku służy przycisk 7 (DATA). Pomyłkowo wprowadzoną wartość można skasować przyciskiem 8 (CANCEL). Przycisk 9 (START) służy do skasowania całej zawartości pamięci, łącznie z wprowadzonymi granicami tolerancji, zaś z2-sk 10 (RESTART) kasuje tylko wyniki pomiarów, pozostawiając w pamięci granice tolerancji.



Rys. 8.15. Drukarka wysokościomierza elektronicznego

Wyniki rejestrowane są na taśmie 11, którą można przesuwać za pomocą przycisku 12 (FEED). Zastosowanie drukarki pozwala nie tylko na utrwalenie poszczególnych wyników pomiaru, lecz także na obróbkę statystyczną wyników pomiaru serii przedmiotów. Można określić

- liczność próbki n,
- wartość maksymalną MAX,
- wartość minimalną MIN,
- rozstęp R,

- wartość średnią $\bar{x}$,
- odchylenie standardowe σ,
- estymator odchylenia standardowego s.

Wartości te drukowane są po naciśnięciu przycisku 13 (STATISTICS).

Jeżeli drukarka pracuje w trybie z określonymi granicami tolerancji (LIMIT) dodatkowo drukowane są:

- wartość odpowiadająca wartości średniej pomniejszonej o 3σ
- wartość odpowiadająca wartości średniej powiększonej o 3σ,
- granice tolerancji: dolną i górną,
- liczba wymiarów mniejszych od dolnej granicy tolerancji,
- liczba wymiarów większych od górnej granicy tolerancji,
- procent braków,
- wskaźnik zdolności jakościowej procesu.

Przy tym trybie pracy (LIMIT) po powtórnym naciśnięciu przycisku 13 uzyskuje się na taśmie histogram serii wyników pomiaru w postaci wydruku liczności w dziesięciu s2-ałach, na które zostaje podzielona tolerancja oraz wykres słupkowy.

Granice tolerancji wprowadza się po ustawieniu przełącznika 4 (LIMIT) w prawym położeniu oraz oczyszczeniu pamięci przez naciśnięcie przycisku 9 (START). Wartości górnej i dolnej granicy tolerancji nastawia się na wyświetlaczu wysokościomierza przez ręczny z2-w suwaka i wprowadza się je do pamięci drukarki przyciskiem 7 (DATA). Zamiast przycisku 7 (DATA) można używać przycisku nożnego (pedał).

Ćwiczenie 9

POMIARY ODCHYŁEK PROSTOLINIOWOŚCI I PŁASKOŚCI

9.1. Odchyłki kształtu

Odchyłka kształtu (tj. odchyłka prostoliniowości, płaskości, okrągłości i walcowości) **jest miarą maksymalnego odchylenia rzeczywistego zarysu przedmiotu od jego kształtu nominalnego (projektowego), przy czym kształt nominalny jest zdefiniowany jako idealny geometrycznie** (odpowiednio - prosta, płaszczyzna, okrąg, walec) [10].

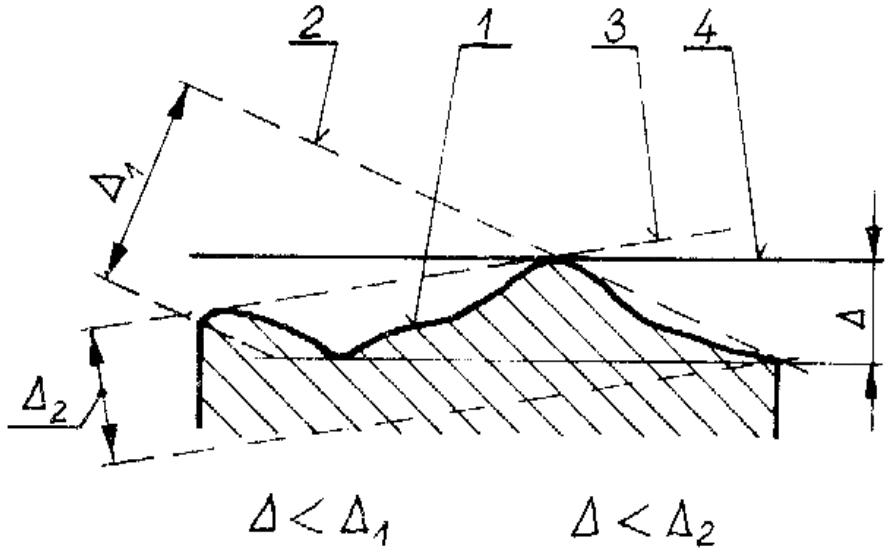
Ocena wartości odchyłki kształtu powinna być dokonywana tzw. **metodą minimalnej strefy**. Wg tej metody **zarys rzeczywisty przedmiotu powinien być zawarty pomiędzy dwoma elementami nominalnymi** (tzn. równoległymi liniami prostymi – w przypadku prostoliniowości, równoległymi płaszczyznami – w przypadku płaskości, współśrodkowymi okręgami – w przypadku okrągłości lub współosiowymi walcami) **znajdującymi się w z2-iejszej możliwej odległości od siebie, nie przekraczającej zadanej wartości tolerancji kształtu**.

W praktyce pomiarowej odchyłki kształtu wyznaczać można w odniesieniu do tzw. **elementów przylegających**. W przypadku **odchyłki prostoliniowości elementem z2-gającym jest prosta** 4 (rys. 9.1), która jest usytuowana względem zarysu rzeczywistego tak, że **maksymalna odchyłka między zarysem rzeczywistym** 1 a prostą przylegającą 4 **jest z2-iejsza ze wszystkich możliwych** (proste 2 oraz 3 są styczne, ale dają większe odchyłki).

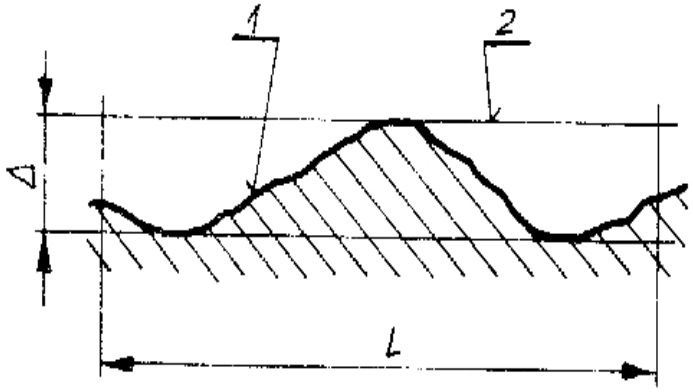
W podobny do sposób określa się **odchyłkę płaskości**, z tym, że elementem z2-gającym jest oczywiście płaszczyzna.

Określenie wartości odchyłki prostoliniowości dowolnego zarysu l (rys. 9.2) możliwe jest więc przez:

a) odtworzenie zarysu przedmiotu,
b) narysowanie go w powiększeniu,
c) dopasowanie prostej przylegającej,
d) odczytanie z rysunku odchyłki i obliczenie jej wartości.



Rys. 9.1. Określenie prostej przylegającej



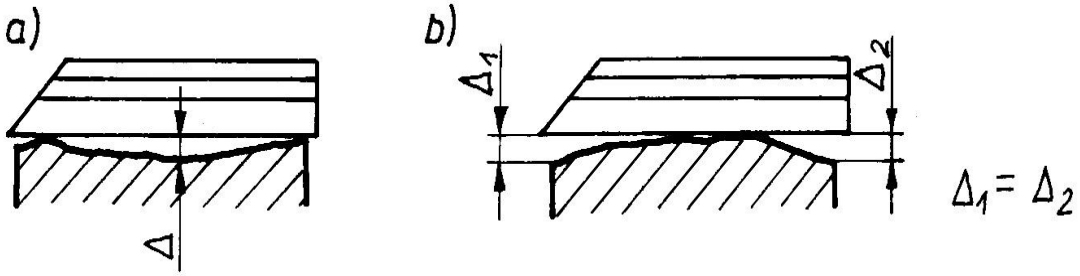
Rys. 9.2. Odchyłka prostoliniowości; 1 - zarys rzeczywisty, 2 - prosta odniesienia; *Δ* - wartość odchyłki prostoliniowości; *L* - długość rozpatrywanego zarysu.

9.2. Kontrola odchyłki prostoliniowości z zastosowaniem liniału krawędziowego

Metodę tę stosuje się do kontroli odchyłki prostoliniowości tworzących wałków oraz powierzchni płaskich małej i średniej wielkości.

9.2.1. Zasada kontroli

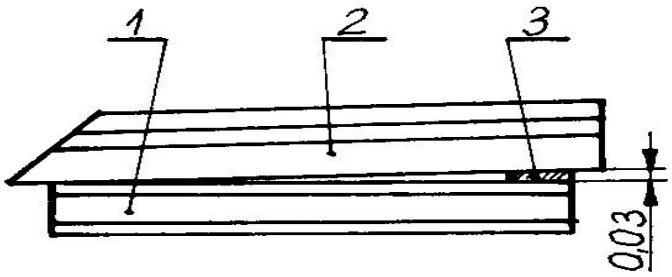
Z uwagi na dokładność wykonania liniał krawędziowy może być uważany za wzorzec linii prostej. Praktycznie zaś, przyłożony do kontrolowanej powierzchni (tworzącej) materializuje prostą odniesienia. Kontrola polega na określeniu odchyłek w poszczególnych punktach po przyłożeniu liniału do rozpatrywanej tworzącej tak, aby w przypadku wklęsłości (rys. 9.3a) stykał się z nią w dwu punktach, a w przypadku wypukłości tak, by na końcach tworzącej były równe odchyłki (rys. 9.3b).



Rys. 9.3. Schemat kontroli odchyłki prostoliniowości za pomocą liniału krawędziowego: a) w przypadku zarysu wklęsłego, b) w przypadku zarysu wypukłego

Pomiaru wielkości szczeliny świetlnej, która jest równa odchyłce prostoliniowości, dokonać można za pomocą szczelinomierza, bądź też można ocenić ją wzrokowo, przez porównanie występujących odchyłek ze szczelinami świetlnymi o znanej wielkości. Druga metoda jest wprawdzie bardziej subiektywna, ale przy pewnej wprawie błąd oceny dla małych szczelin nie powinien przekraczać 1 μm. Szczelinę „wzorcową" o znanej wartości najprościej utworzyć można, posługując się płytką szczelinomierza 3 o najmniejszej grubości, tzn. 0,03 mm. Kładzie się ją na płaskiej powierzchni, np. wkładki płasko-równoległej 1 i opiera na niej liniał krawędziowy 2 (rys. 9.4). W ten sposób powstaje szczelina klinowa, zmieniająca

szerokość od 0 do 0,03 mm, proporcjonalnie do długości podstawy, np. w środku wartość jej wynosi 0,015 mm.



Rys. 9.4. Sposób otrzymania szczeliny wzorcowej

Tak utworzona szczelina może służyć do porównawczej oceny wartości odchyłki prostoliniowości przedmiotu mierzonego. Należy tu dodać, że szczelina wzorcowa powinna być dużej długości, gdyż wtedy wyraźniej występują różnice jej szerokości.

9.2.2. Przebieg pomiaru

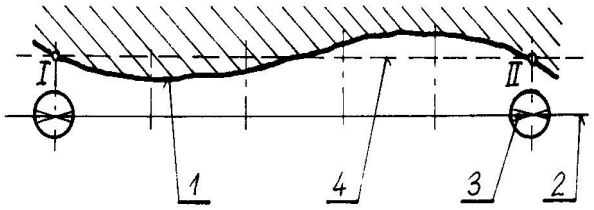
1) Utworzyć szczelinę wzorcową za pomocą dokładnie oczyszczonej wkładki płaskorównoległej, liniału krawędziowego i płytki szczelinomierza. Dla wygody obserwacji szczelinę wzorcową umieszcza się na podświetlonej matówce.
2) Drugi liniał przyłożyć do mierzonej tworzącej przedmiotu (także na matówce).
3) Narysować kształt zarysu przedmiotu (w przesadzie) i określić wartość największego błędu.

9.3. Pomiar odchyłki prostoliniowości z zastosowaniem liniału strunowego

Napiętą strunę i mikroskop stosuje się do pomiaru odchyłek prostoliniowości długich elementów, jak prowadnice, krawędzie itp. oraz odchyłek prostoliniowości ruchu elementów, np. suportu obrabiarek.

9.3.1. Zasada pomiaru

Pomiar odchyłki prostoliniowości z zastosowaniem napiętej struny polega na mierzeniu odległości poszczególnych punktów zarysu od struny, która stanowi wzorzec linii prostej. z2-głość zarysu od struny mierzy się za pomocą mikroskopu przesuwanego po zarysie mierzonym 1 (np. prowadnicy obrabiarki). Prosta kontrolna, którą materializuje struna 2 (rys. 9.5), powinna przechodzić lub być równoległa do linii 4 łączącej skrajne punkty zarysu I i II. W punktach tych obraz struny powinien pokrywać się z kreską 3 w mikroskopie. Po takim ustawieniu, przesuwając mikroskop wzdłuż zarysu mierzonego, można zmierzyć zmianę jego odległości od prostej kontrolnej i narysować wykres kształtu. Wykres ten służy do określenia odchyłki prostoliniowości zarysu metodą graficzną. Należy mianowicie do narysowanego kształtu dobrać położenie prostej przylegającej i znaleźć największą odległość zarysu od tej prostej, czyli odchyłkę prostoliniowości.

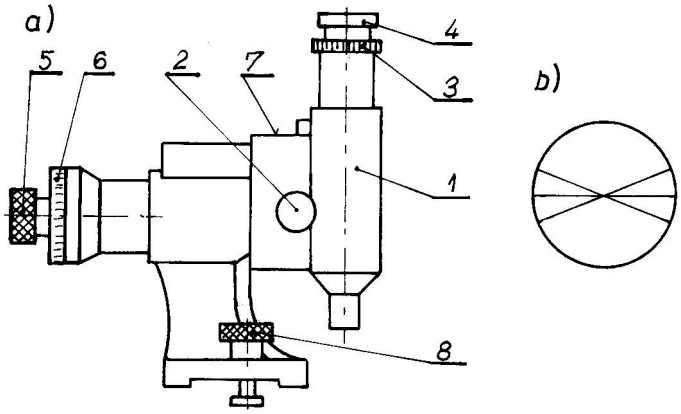


Rys. 9.5. Schemat kontroli odchyłki prostoliniowości z zastosowaniem liniału strunowego

9.3.2. Budowa układu

Mikroskop (rys. 9.6a) ma tubus 1 przesuwany pokrętłem 2. Pierścień 3 pozwala na obrót płytki z kreskami (rys. 9.6b), jej ostrość widzenia reguluje pierścień 4. Śruba 5 przesuwa mikroskop, a wartość przesuwu mierzyć można na dwu skalach: wzdłużnej - 7, o działce 1 mm, i obwodowej - 6, o działce 0,01 mm. Śruby 8 służą do mocowania mikroskopu.

Strunę stanowi drut stalowy, napięty ciężarkami z dwu stron. Ciężar obciążnika dobiera się w zależności od grubości i rodzaju drutu.



Rys. 9.6. Mikroskop pomiarowy: a) widok ogólny, b) pole widzenia

9.3.3. Przebieg pomiaru odchyłki prostoliniowości ruchu suportu tokarki

Przed przystąpieniem do pomiaru oznaczyć na prowadnicach punkty pomiarowe w z2-głości 50 mm.

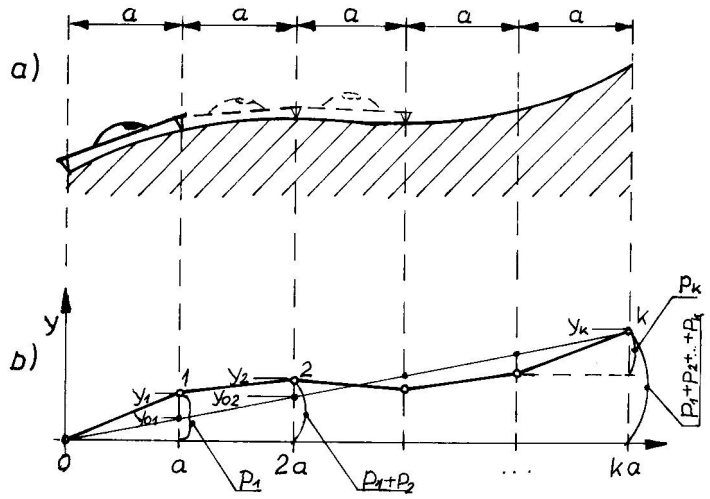
1) Ustawić ostrość widzenia kresek mikroskopu i struny.
2) W punkcie pomiarowym I przy wrzecionie tokarki - rys. 9.5 - zgrać obraz kreski środkowej mikroskopu z krawędzią struny, przesuwając mikroskop za pomocą śruby mikrometrycznej i obracając płytkę z kreskami.
3) Przesunąć mikroskop do punktu II i ponownie zgrać obraz, przesuwając strunę.
4) Ponieważ przesunięcie struny w jednym końcu łoża powoduje zmianę jej położenia także w drugim końcu, należy powtarzać czynności wymienione w punktach 2 i 3 aż do uzyskania poprawnych wyników na obu końcach.
5) Przesuwać suport tokarki z mikroskopem w kolejne punkty pomiarowe. Poprzecznym przesuwem naprowadzać obraz kresek na strunę i odczytywać przesunięcia zwracając uwagę na ich kierunek.
6) Narysować kształt prowadnicy.
7) Znaleźć wartość odchyłki prostoliniowości ruchu suportu.

Na wielkość błędu wpływa: sztywność układu pomiarowego, równomierność docisku z2-awy mikroskopu, napięcie struny (nie może być zgięta lub załamana) oraz długość mierzonej prowadnicy. Starannie przeprowadzony pomiar gwarantuje błąd nie większy od 0,01 mm.

9.4. Pomiar odchyłki prostoliniowości metodami opartymi na pomiarze kątów

9.4.1. Zasada pomiaru

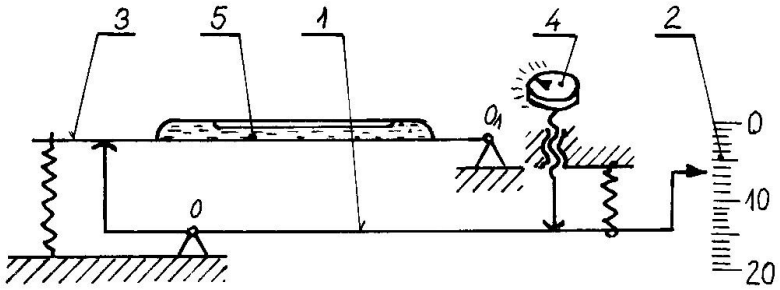
Do tego rodzaju pomiarów stosowane są przyrządy przeznaczone do pomiaru małych kątów, najczęściej poziomnica. Przyrząd ustawia się na mierzonym zarysie na podstawce, z2-wniającej styk z zarysem tylko na końcach odcinka mierniczego (rys. 9.7a). Pomiar polega na odczytaniu kąta pochylenia kolejnych odcinków mierniczych względem prostej kontrolnej i odtworzeniu zarysu mierzonego w postaci wykresu. Prostą kontrolną przy stosowaniu poziomnicy stanowi prosta pozioma, przechodząca przez początkowy punkt zarysu.



Rys. 9.7. Schemat pomiaru odchyłki prostoliniowości za pomocą poziomnicy: a) ustawienie poziomnicy na z2-sie, b) wykres wyników pomiaru

9.4.2. Budowa poziomnicy

Poziomnica koincydencyjna służy do mierzenia odchyleń od położenia poziomego części maszyn oraz do mierzenia małych kątów.



Rys. 9.8. Schemat poziomnicy koincydencyjnej

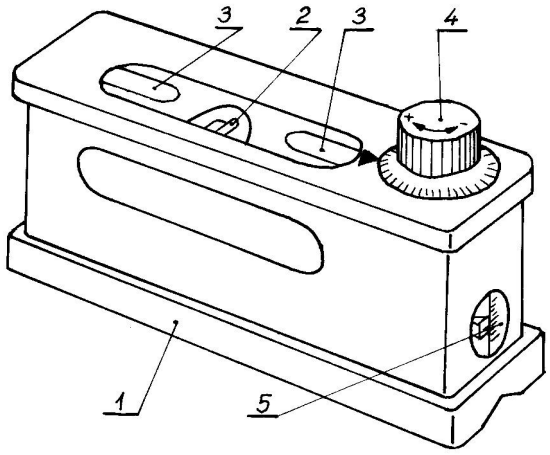
Schemat jej przedstawiony jest na rys. 9.8. Parametry konstrukcyjne poziomnicy są dobrane w ten sposób, że przy ustawieniu jej podstawy poziomo i dźwigni 1 równolegle do niej koniec dźwigni powinien być w środku zakresu skali 2; belka 3 z naczyniem 5, z2-erającym pęcherzyk, jest również pozioma, dzięki czemu końce pęcherzyka są równo z2-lone od środka naczynia. Jeżeli zaś podstawa poziomnicy jest nachylona do poziomu pod kątem, to pęcherzyk powietrza przesuwa się ku wyższemu końcowi naczynia. Aby ustawić go symetrycznie względem środka naczynia, belka, na której ono spoczywa, musi być pozioma. Uzyskuje się to, pokręcając śrubą 4, która naciska na jedno ramię dźwigni 1, ta zaś, obracając się wokół punktu 0 powoduje wychylenie belki 3 (obrót wokół 0_1). Przy cofaniu trzpienia belka i dźwignia ściągane są odpowiednimi sprężynami.

Belkę należy obrócić wokół O_1 o taki kąt, o jaki podstawa jest nachylona do poziomu. Miarą tego kąta jest również kąt obrotu dźwigni 1 wokół punktu 0, a więc także liniowe z2-nięcie trzpienia 4. Wygląd zewnętrzny poziomnicy przedstawia rys. 9.9. Jeżeli podstawa jest pochylona, pęcherzyk poziomnicy (którego końce widać w wycięciach 3) jest przesunięty i we wzierniku 2 wygląda, jak na rys. 9.10 b. Obrót pokrętła 4 powoduje przemieszczenie pęcherzyka aż do jego zgrania (koincydencji), jak na rys. 9.10 a. W takim położeniu można odczytać wartość kąta pochylenia podstawy poziomnicy wyrażoną w mm/m ze skali zgrubnej 5, umieszczonej w bocznej ściance, zaś w 0,01 mm/m ze skali na bębnie 4. Należy przy tym zwrócić uwagę, że środek skali głównej, odpowiadający położeniu poziomemu, opisany jest wartością 10 mm/m, należy więc ją odejmować od kolejnych wskazań

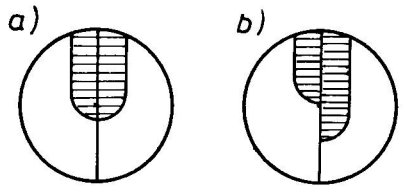
$$\alpha = \text{odczyt} - 10 \text{ mm/m}$$

Np. przy odczycie 9,73 mm/m pochylenie a wyniesie :

$$\alpha = 9{,}73 - 10 = -0{,}27 \text{ mm/m}$$



Rys. 9.9. Widok poziomnicy koincydencyjnej



Rys. 9.10. Obraz pęcherzyka we wzierniku poziomnicy koincydencyjnej: a) zgrany (w koincydencji), b) z2-nięty

9.4.3. Przebieg pomiaru

1) Na elemencie mierzonym oznaczyć (np. ołówkiem) długości odcinka mierniczego, równe długości podstawy poziomnicy.
2) Ustawić poziomnicę na pierwszym odcinku i zmierzyć jego pochylenie α. Powtórzyć pomiar dla wszystkich odcinków, stawiając przyrząd tak, by koniec jednego odcinka mierniczego był jednocześnie początkiem następnego, dla zachowania ciągłości pomiaru.
3) Obliczyć wznios p końca każdego odcinka mierniczego względem jego początku (rys. 9.7b).

$$p_i = \frac{\alpha\, a}{1000}$$

gdzie: α- pochylenie odcinka w mm/m,
a - długość odcinka mierniczego (długość poziomnicy) w mm.

4) Obliczyć wysokość końców odcinków zarysu względem początku pierwszego odcinka (rys. 9.7b)

$$y_n = \sum_{i=1}^{n} p_i$$

Wysokość ostatniego odcinka oznacza się y_k. Określa on współrzędną prostej kontrolnej, łączącej skrajne punkty mierzonego zarysu. Wysokość, na której prosta kontrolna przecina rzędne końców odcinków mierniczych, czyli kolejne współrzędne tej prostej, oznacza się y i oblicza ze wzoru

$$y_{on} = \frac{y_k \cdot n}{k}$$

5) Obliczyć odległości końców odcinków mierniczych od prostej kontrolnej (rys. 9.7b)

$$h_n = y_n - y_{on}$$

6) Wartości odległości h_n nanieść na wykres w odpowiedniej skali.
7) Narysować prostą odniesienia i znaleźć odchyłkę prostoliniowości mierzonego zarysu.

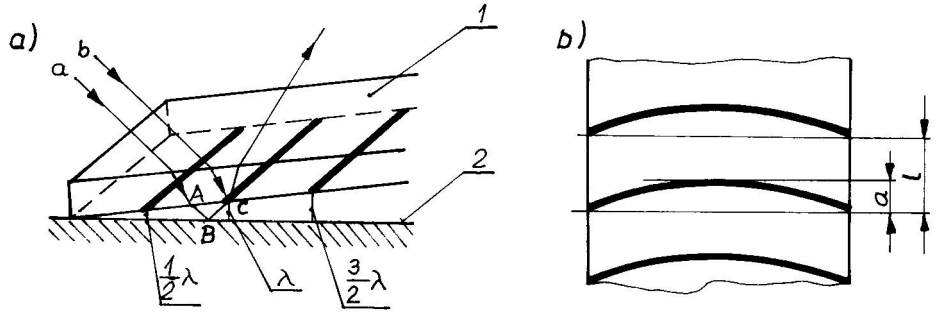
9.5. Kontrola odchyłki płaskości metodą interferencyjną

Metodę tę stosuje się do kontroli powierzchni o małych odchyłkach płaskości (do 2 μm), małej chropowatości oraz dużej odblaskowości.

9.5.1. Zasada pomiaru

Jeżeli płytkę interferencyjną 1 ustawić względem powierzchni mierzonej 2 pod bardzo małym kątem (rys. 9.1 la), to dzięki zjawisku nakładania się fal na powierzchni mierzonej z2-rwować można szereg prążków jasnych i ciemnych (w przypadku zastosowania światła monochromatycznego) lub barwnych (w przypadku światła białego)

Śledząc bieg promieni świetlnych, np. a i b, można stwierdzić, że punkt C leżący na dolnej powierzchni płytki interferencyjnej, jest oświetlony:



Rys. 9.11. Schemat pomiaru odchyłki płaskości metodą interferencyjną: a) zasada powstawania prążków interferencyjnych, b) obraz interferencyjny i ocena odchyłki płaskości

- promieniem b, przechodzącym przez górną powierzchnię płytki interferencyjnej i padającym na dolną powierzchnię w punkcie C, gdzie się odbija,
- promieniem a, który po przejściu przez płytkę interferencyjną odbił się w punkcie B od powierzchni badanej.

Różnica dróg obu promieni wynosi AB + BC. Jeżeli różnica ta równa jest parzystej liczbie połówek długości fali stosowanego światła, to w punkcie C następuje wzmocnienie światła (prążek jasny). Jeżeli różnica równa jest nieparzystej liczbie połówek długości fali światła, powstaje prążek ciemny. Następny prążek ciemny powstanie w takim punkcie, w którym wystąpi następna nieparzysta wielokrotność liczby połówek długości fali, czyli droga ta zwiększy się o długość fali. Jeżeli wiązka światła pada prawie prostopadle na powierzchnię płytki interferencyjnej, wydłużenie drogi o długości fali odpowiada zwiększeniu grubości klina powietrznego między płytką a badaną powierzchnią o pół długości fali. Powstały obraz prążków interferencyjnych jest więc poziomnicowym odtworzeniem grubości klina powietrznego.

Na powierzchni płaskiej prążki interferencyjne są proste, równoległe i znajdują się w równej od siebie odległości. Obraz ten zmienia się w zależności od kształtu powierzchni.

Wartość odchyłki płaskości ocenia się na podstawie stosunku m wartości odkształcenia prążka a (rys. 9.11b) do odległości między prążkami l.

$$m = \frac{a}{l}$$

Wartość tego stosunku określa się „na oko", przykładowo na rys. 9.11b wartość $m = 1/3$.

Ponieważ odległości między prążkami odpowiada zmiana odległości od powierzchni o wartość $\frac{\lambda}{2}$ można napisać, że odchyłka płaskości.

$$\Delta_p = \frac{a}{l}\frac{\lambda}{2} = m\frac{\lambda}{2}$$

9.5.2. Przebieg pomiaru

1) Dokładnie oczyszczone powierzchnie elementu badanego i płytki interferencyjnej ustawić pod możliwie małym kątem (uwaga: obserwacja jest wygodna, gdy ilość prążków jest mała).
2) Określić stosunek ugięcia prążka do odległości między prążkami, np. dla prążka czerwonego, dla którego $\lambda = 0{,}6$ μm.
3) Obliczyć wartość odchyłki płaskości Δ_p.
4) Narysować obserwowany układ prążków.

Ćwiczenie 10

KONTROLA KĄTÓW

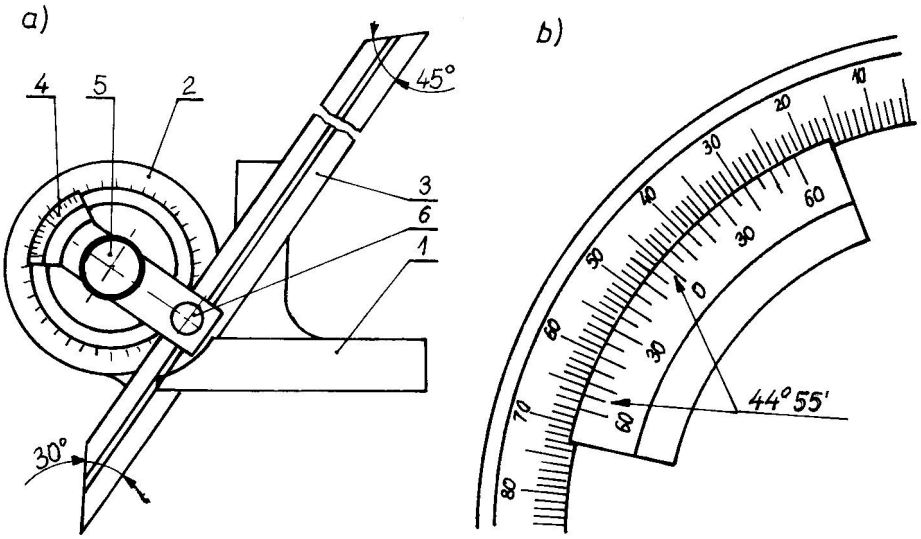
10.1. Pomiar za pomocą kątomierzy

Kątomierze służą do bezpośredniego pomiaru wymiarów kątowych w zakresie 0 - 360°.

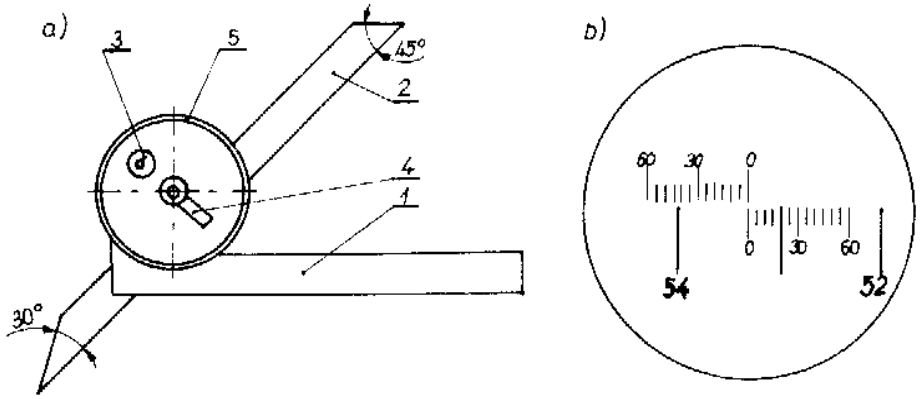
10.1.1. Zasada działania i budowa kątomierzy

Przedmiot mierzony umieszcza się między ramionami kątomierza, które są ruchome względem siebie. Ramiona ustawia się tak, by przylegały dokładnie do przedmiotu. Ramię stałe połączone jest trwale ze skalą kątową, ruchome zaś - ze skalą noniusza. Wzajemne położenie tych skal określa mierzony kąt.

Rys. 10.la przedstawia widok kątomierza uniwersalnego. Jego stałe ramię 1 ukształtowane jest jako kątownik i połączone ze skalą umieszczoną na obwodzie tarczy 2. Skala kątowa ma obszar mierniczy 4 x 90 = 360°. Ruchome ramię 3 może obracać się razem ze skalą noniusza 4 (zwiększającego dokładność odczytu), oraz przesuwać w prowadnicach. Obrót i przesuw ramienia można blokować w dowolnym położeniu śrubami 5 i 6.



Rys. 10.1. Kątomierz uniwersalny: a) widok ogólny, b) odczyt wskazania kątomierza



Rys. 10.2. Kątomierz optyczny: a) widok ogólny, b) pole widzenia

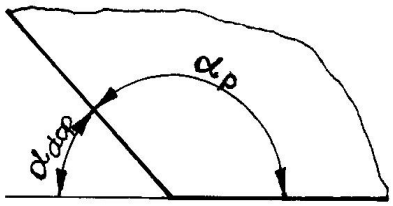
Ponieważ skala główna jest dwukierunkowa, także noniusz kątomierza jest dwukierunkowy. Przy odczycie należy posługiwać się tą częścią noniusza, której skala ma kierunek zgodny ze skalą główną (rys. 10.1b).

Stałe ramię 1 kątomierza optycznego (rys. 10.2a) w formie kątownika, połączone jest na stałe z bębnem, wewnątrz którego na płytce szklanej nacięta jest skala stopniowa 4 x 90°. Ramię ruchome połączone jest z płytką, na której znajduje się noniusz. Po ustawieniu ruchomego ramienia 2 dokonuje się odczytu wskazania, patrząc pod światło we wziernik 3. Unieruchomienie przesuwu ramienia 2 następuje za pomocą dźwigni 4, natomiast jego obrotu - przez pokręcenie pierścienia 5.

Przy pomiarze kątomierzami pamiętać należy, że jeżeli mierzy się kąt rozwarty α_p (rys. 10.3), na skali odczytuje się kąt dopełniający do 180° (α_{dop}), a szukaną wartość kąta oblicza się ze wzoru

$$\alpha_p = 180 - \alpha_{dop}$$

Wynika to z dwukierunkowego opisania skali głównej.



Rys. 10.3. Schemat pomiaru kąta rozwartego a

10.1.2. Przebieg pomiaru

Przebieg pomiaru jest podobny dla każdej konstrukcji kątomierza:

1) Odkręcić śruby blokujące ruchome ramię kątomierza i ustawić ramiona tak, aby kąt między nimi w przybliżeniu odpowiadał kątowi mierzonemu.
2) Zablokować przesuw ramienia ruchomego.
3) Przyłożyć kątomierz do przedmiotu i sprawdzić ustawienie ramion. Odwzorowanie kąta jest prawidłowe, jeżeli pod światło nie widać szczeliny między narzędziem a s2-otem.
4) Zablokować obrót ramienia ruchomego i sprawdzić przyleganie ramion do przedmiotu.
5) Odczytać na skali wartość kąta, ew. obliczyć kąt przedmiotu, jeżeli mierzony był kąt dopełniający.

Błąd pomiaru zależy od konstrukcji kątomierza i wynosi przeciętnie:

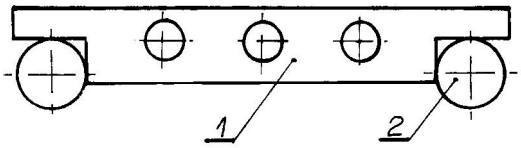
- dla kątomierza optycznego ± 3',
- dla kątomierza uniwersalnego ± 5'.

10.2. Pomiar kątów z zastosowaniem liniału sinusowego

Liniał sinusowy służy do pośredniego pomiaru wymiarów kątowych w zakresie 0÷90°, przy czym dokładny pomiar jest możliwy w zakresie 0 ÷45°.

10.2.1. Budowa liniału sinusowego

Liniał sinusowy (rys.10.4) składa się z korpusu *1* wykonanego ze stali narzędziowej i z2-cowanych do niego trwale dwu wałków *2* o dokładnie jednakowej średnicy (błąd ±lμm).



Rys. 10.4. Liniał sinusowy

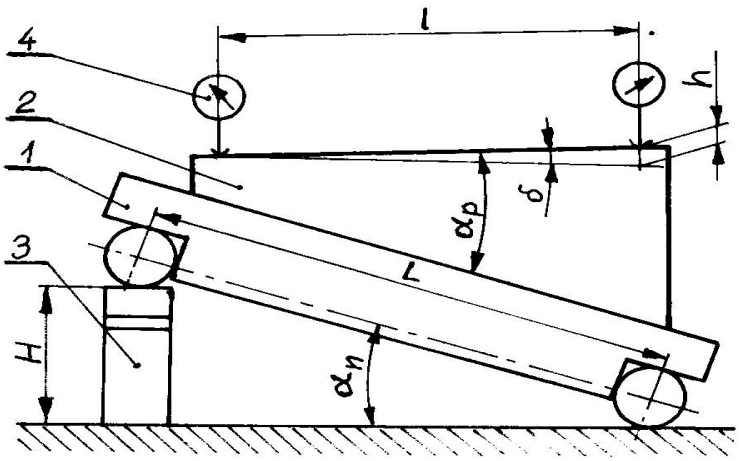
Wałki są ustawione tak, że odległość między ich osiami wynosi 100 ± 0,002 mm lub 200 ± 0,005 mm. Błąd nierównoległości wałków względem siebie i względem górnej płaszczyzny roboczej nie przekracza ± 1 μm. Otwory w korpusie liniału służą do mocowania liniału.

10.2.2. Zasada pomiaru

Jeżeli liniał sinusowy 1 ustawić tak (rys. 10.5), aby jego górna powierzchnia tworzyła z podstawą kąt α_n równy w przybliżeniu kątowi α_p przedmiotu 2, to górna powierzchnia ustawionego na nim przedmiotu będzie w przybliżeniu równoległa do podstawy. Osiągnąć to można, dobierając wysokość *H* stosu płytek 3 ze wzoru

$$H \approx L \sin \alpha_p$$

Kąt przedmiotu α_p należy przyjąć albo jako nominalny z rysunku wykonawczego, albo określić przez pomiar, np. kątomierzem.



Rys. 10.5. Schemat pomiaru kąta z zastosowaniem liniału sinusowego

Nierównoległość powierzchni przedmiotu 2 do podstawy sprawdza się czujnikiem 4 (rys. 10.5) i z różnicy jego wskazań *h* na odległości *l* oblicza się poprawkę:

$$\sin \delta = \frac{h}{l}$$

Kąt przedmiotu α_p wynosi więc:

$$\alpha_p = \alpha_n \pm \delta$$

Znak + należy przyjąć, gdy wskazanie czujnika nad stosem płytek jest mniejsze niż w drugim punkcie; znak -, gdy zachodzi sytuacja odwrotna. Kąt α_n oblicza się dla przyjętego H ze wzoru:

$$\sin\alpha_n = \frac{H}{L}$$

10.2.3. Przebieg pomiaru

1) Na powierzchni mierzonego przedmiotu oznaczyć (za pomocą suwmiarki lub z2-aru i ołówka) odległość pomiarową l.
2) Zamocować przedmiot na liniale sinusowym.
3) Określić przybliżoną wartość α_n mierzonego kąta (odczytać z rysunku lub zmierzyć kątomierzem).
4) Obliczyć wysokość stosu płytek H. Złożyć stos na płycie i ustawić na nim liniał z s2-otem.
5) Umocować czujnik w podstawie.
6) Ustawić czujnik w pierwszym punkcie pomiarowym, zaobserwować wskazanie. z2-nąć do drugiego punktu pomiarowego, obliczyć różnicę wskazań.
7) Obliczyć poprawkowy kąt δ i kąt przedmiotu α_p , wstawiając za α_n kąt obliczony według wzoru

$$\sin\alpha_n = \frac{H}{L}$$

dla przyjętego H.
8) Rozmontować układ pomiarowy.

Uwaga: przy mocowaniu przedmiotu na liniale należy zwracać uwagę na możliwie symetryczne ustawienie przedmiotu względem bocznych powierzchni liniału sinusowego.

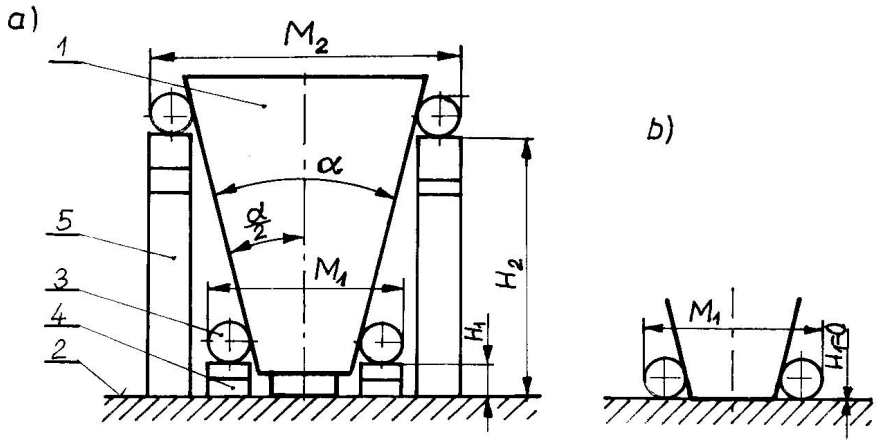
Pomiar kątów z zastosowaniem liniału sinusowego należy do pomiarów pośrednich. Błąd pomiaru można oszacować metodą różniczki zupełnej, przyjmując wskazane przez prowadzącego wartości błędów składowych.

10.3. Pomiar zbieżności kąta z zastosowaniem wałeczków

Metoda ta jest przeznaczona do kontroli zbieżności i kąta rozwarcia stożka, mającego powierzchnię czołową, umożliwiającą jego stabilne ustawienie.

10.3.1. Zasada pomiaru

Zasadę pomiaru ilustruje rys. 10.6. Stożek 1 ustawiony jest na płycie mierniczej 2. Wałeczki 3, o jednakowej średnicy, ustawia się na dwu jednakowych, o małej wysokości, stosach płytek wzorcowych 4 lub bezpośrednio na płycie i mierzony wymiar M_1 (rys. 10.6b). Następnie ustawia się te same wałeczki na jednakowych zestawach 5 płytek o wysokości H_2 i mierzy wymiar M_2. Do pomiaru wielkości M_1 i M_2 najczęściej stosuje się mikrometry.



Rys. 10.6. Schemat pomiaru kąta stożka z zastosowaniem wałeczków: a) schemat pomiaru, b) ustawienie wałeczków, jeżeli $H_1 = 0$

Zbieżność stożka można obliczyć ze wzoru

$$C = 2tg\frac{\alpha}{2} = \frac{M_2 - M_1}{H_2 - H_1}$$

zaś kąt stożka ze wzoru

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{M_2 - M_1}{2(H_2 - H_1)}$$

Pomiar zbieżności kątów z zastosowaniem wałeczków jest pomiarem pośrednim. Błąd pomiaru można oszacować metodą różniczki zupełnej, przyjmując wskazane przez prowadzącego wartości błędów składowych.

Ćwiczenie 11

POMIAR ZARYSÓW ZA POMOCĄ OPTYCZNEJ GŁOWICY PODZIAŁOWEJ

11.1. Przeznaczenie optycznej głowicy podziałowej

Głowica podziałowa służy do pomiaru dowolnego kąta obrotu, podziału obwodu koła na dowolną ilość części oraz, przy zastosowaniu specjalnego oprzyrządowania, do pomiarów we współrzędnych biegunowych.

11.2. Zasada działania i budowa głowicy

Na wrzecionie 1 głowicy (rys. 11.1), w osi przedmiotu 2, umieszczona jest tarcza szklana 3 za skalą kątową w stopniach. Tarcza jest prześwietlona strumieniem światła z oświetlacza 6, dzięki czemu skalę wraz z płytką z noniuszem 4 obserwuje się w okularze 5.

Widok głowicy podziałowej przedstawia rys. 11.2a. Przedmiot mocuje się w kłach 1 głowicy i konika, a jego obrót wspólnie z wrzecionem uzyskuje się za pośrednictwem zabieraka. Pole widzenia okularu przedstawione jest na rys. 11.2b. W lewej części obrazu obserwuje się skalę główną z podziałką w stopniach. Środkowa skala z podziałką minutową jest przesuwna razem z podwójną czarną kreską, natomiast widoczny z prawej strony noniusz z przeciwwskaźnikiem jest nieruchomy. Skalę środkową przesuwa się przy pomocy pokrętła 8 tak, aż podwójna czarna kreska obejmie symetrycznie kreskę skali głównej. Wtedy dokonuje się z2-ytania.

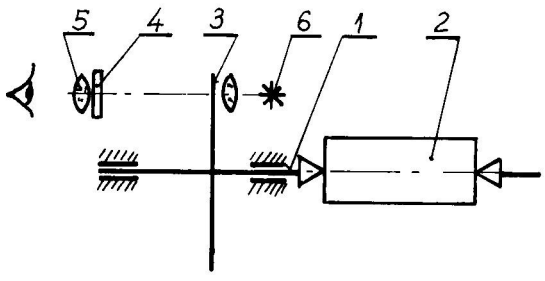
Liczbę stopni określa numer kreski skali głównej, objętej podwójną czarną kreską. Minuty odczytuje się ze skali środkowej ma wysokości przeciwwskaźnika uwzględniając, że działka elementarna tej skali ma wartość 2'. Odczytu sekund dokonuje się przy pomocy prawego noniusza, posługując się zasadą, że odczyt

$$x = n \cdot \Delta$$

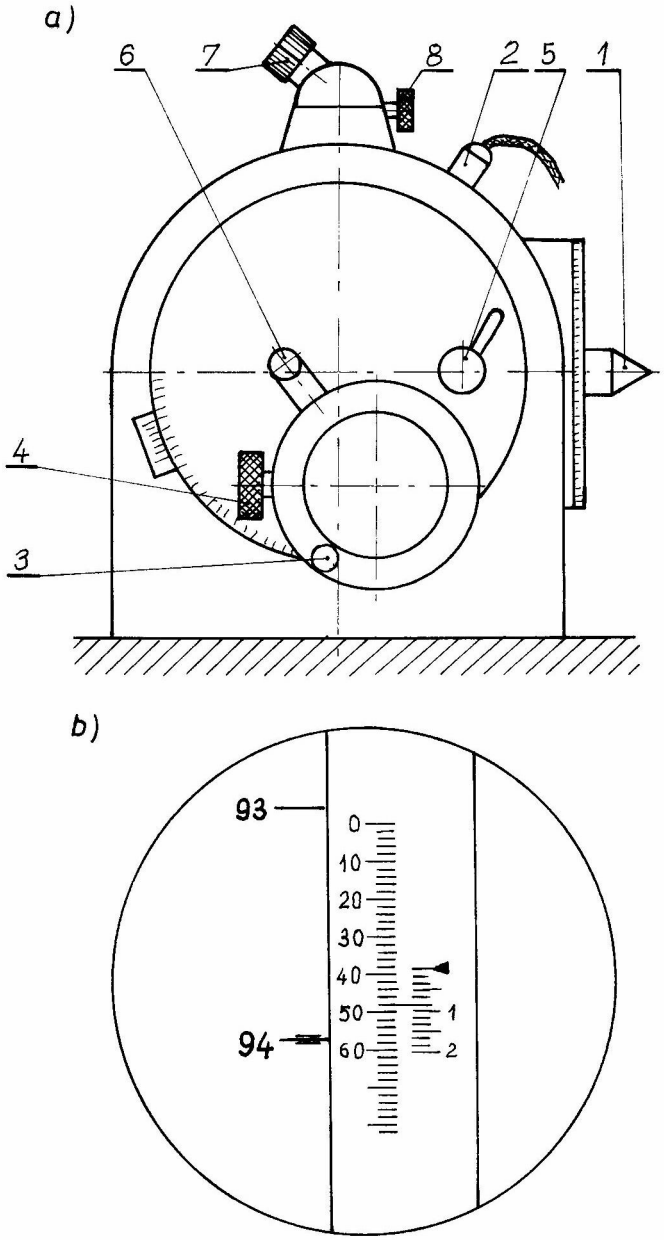
gdzie: n - numer kreski noniusza, pokrywającej się z kreską skali minutowej,
Δ - dokładność odczytu, wynosząca 10".

W przykładzie na rys. 11.2b odczyt wynosi $94^{\circ}38' + x$, zaś $x = 10'' \cdot 5 = 50''$, czyli wartość kąta wynosi 94°38'50". Konstrukcja urządzenia odczytowego ułatwia określenie numeru kreski n, gdyż między pokrywającymi się kreskami noniusza i skali minutowej pojawia się łącząca je kreska świetlna.

Dla orientacyjnego określenia kąta obrotu wrzeciona służy skala umieszczona na obudowie wrzeciona. Przed pomiarem można ją ustawić na wskazanie zerowe, ponieważ obraca się ona swobodnie.



Rys. 11.1. Zasada działania optycznej głowicy podziałowej

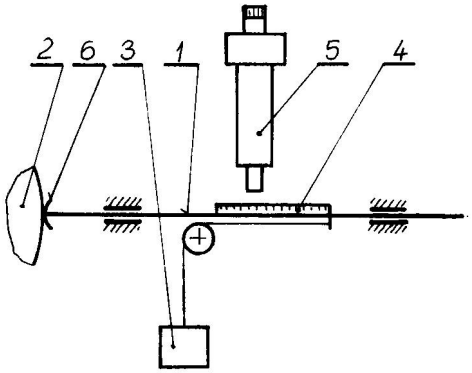


Rys. 11.2. Optyczna głowica podziałowa: a) widok ogólny, b) pole widzenia w okularze głowicy; 1 - kieł umieszczony we wrzecionie głowicy, 2 — oświetlacz, 3 — pokrętło obrotu szybkiego, 4 — pokrętło obrotu dokładnego, 5 — dźwignia blokująca obrót wrzeciona, 6 — wyłączenie napędu, 7 — okular, 8 — pokrętło z2-wu noniusza

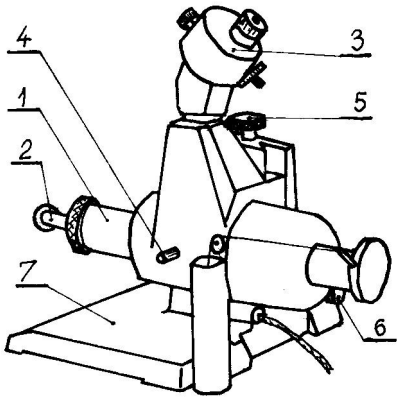
11.3. Przyrząd do pomiaru krzywek

11.3.1. Zasada działania i budowa

Do pomiaru zarysu krzywoliniowego we współrzędnych biegunowych stosuje się przyrząd, który umożliwia pomiar zmiany promienia zarysu. Zasadę działania wyjaśnia rys. 11.3. Trzpień 1 z wymienną końcówką 6 dociskany jest do zarysu mierzonego 2 za pomocą ciężarka 3. Wzdłuż osi trzpienia umieszczona jest skala 4, obserwowana przez mikroskop z2-ytowy 5 ze spiralą Archimedesa. Budowę tego mikroskopu oraz sposób odczytania wskazań omówiono w ćwiczeniu 5.



Rys. 11.3. Zasada działania przyrządu do pomiaru krzywek



Rys. 11.4. Przyrząd do pomiaru krzywek

Budowę przyrządu do pomiaru krzywek przedstawia rys.11.4. W trzpieniu 1 zamocowana jest końcówka miernicza 2. Trzpień można, za pomocą śruby 4 zablokować w dowolnym położeniu wzdłuż jego osi, zaś w kierunku prostopadłym przesuwa się podstawę czujnika 7 i blokuje śrubą 6. Natomiast wysokość końcówki mierniczej reguluje się śrubą 5. Wskazanie przyrządu odczytać można w okularze głowicy odczytowej 3.

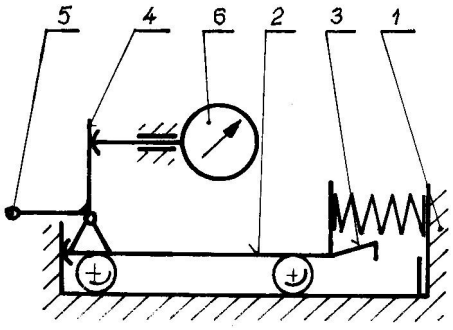
11.3.2. Przebieg pomiaru krzywki

1) Przed rozpoczęciem pomiaru krzywki należy ustawić układ w położeniu wyjściowym. W tym celu należy przesunąć korpus 7 czujnika (rys.11.4) tak, aby jego końcówka 2 dotykała kołka, umieszczonego w bocznej powierzchni krzywki.
2) Zacisk 4 należy zwolnić, zapewniając docisk końcówki czujnika do przedmiotu.
3) Obrotem krzywki, przez obrót wrzeciona głowicy, znaleźć położenie, odpowiadające maksymalnemu wskazaniu czujnika, które obserwuje się w okularze. Położenie to z2-wiada punktowi początkowemu pomiaru.
4) W tym położeniu kątowym krzywki przesunąć czujnik na powierzchnię krzywki, z2-okować śrubę 6 i odczytać początkowe wartości kąta i promienia.
5) Następnie obrócić wrzeciono głowicy o zadany kąt i odczytać z głowicy 3 wartość promienia.
6) Powtórzyć te czynności dla wszystkich kątów podanych na rysunku krzywki i ocenić ją.

11.4. Zderzak czujnikowy do pomiaru równomierności kąta podziału

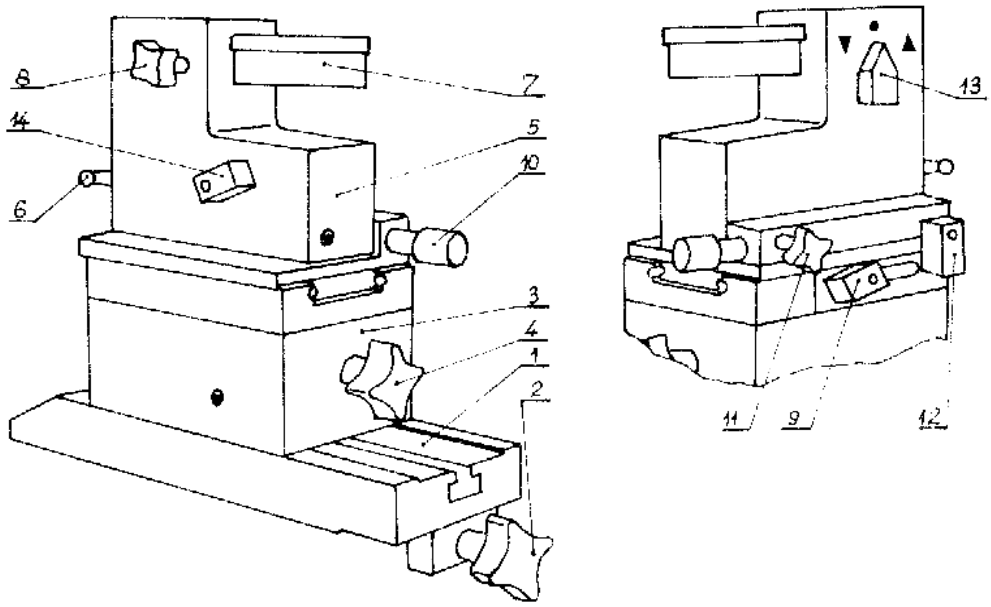
11.4.1. Zasada działania i budowy

Zasada działania zderzaka czujnikowego przedstawiona jest na rys. 11.5. W korpusie 1 umieszczony jest suport 2, który może zajmować dwa położenia. W położeniu przednim (roboczym), jak na rysunku, suport dociskany jest do oporu za pomocą sprężyny. W tym położeniu końcówka 5 powinna dotykać badanej powierzchni, a jej położenie mierzy czujnik 6. Wycofanie suportu, aż do zadziałania zaczepu 3 utrzymującego go w tylnym położeniu, umożliwia swobodny obrót przedmiotu.



Rys. 11.5. Zasada działania zderzaka czujnikowego

Budowę zderzaka przedstawiono na rys. 11.6. Podstawa 1 mocowana jest na łożu głowicy przy pomocy śruby 2. Korpus 3 można ustawić w dowolnym miejscu podstawy i zablokować śrubą 4.



Rys. 11.6. Zderzak czujnikowy

W suporcie 5 umieszczona jest końcówka miernicza 6, która dotyka mierzonego przedmiotu. Kierunek nacisku końcówki (w górę lub w dół) ustawia się za pomocą pokrętła 13. Końcówkę można też unieruchomić za pomocą dźwigni 14. Położenie końcówki wskazuje czujnik 7, mocowany w obudowie śrubą 8.

Suport zderzaka można wycofać o skok, którego wartość nastawia się na trzpieniu 10 i blokuje śrubą 11. Położenie tego skoku wzdłuż prowadnic suportu ustawia się pokrętłem 9.

Do wycofania suportu używa się dźwigni 12, która służy też do jego zwolnienia w celu doprowadzenia do styku końcówki z przedmiotem.

11.4.2. Przebieg pomiaru tarczy podziałowej

1) Zwolnić (dźwignią 12) suport zderzaka i przesunąć korpus 3 tak, aby końcówkę można było wprowadzić w wycięcie tarczy podziałowej (nie dotykać dna wycięcia).
2) Ustalić skok suportu śrubą 11 na trzpieniu 10. Skok musi umożliwić wycofanie końcówki z wycięcia tarczy w celu jej obracania.
3) Wybrać kierunek nacisku końcówki dźwignią 12 i obrócić tarczę z wrzecionem głowicy podziałowej tak, aby uzyskać naciąg wstępny czujnika równy kilkunastu działkom.
4) Wyzerować czujnik, obracając jego tarczę oraz odczytać wskazanie głowicy podziałowej. Wycofać suport z końcówką za pomocą dźwigni 12.
5) Obrócić tarczę do następnego wycięcia, wprowadzić końcówkę i doprowadzić do z2-wego wskazania czujnika. Odczytać kolejne wskazanie głowicy. Różnica wskazań stanowi wynik pomiaru kąta między wycięciami. Powtórzyć pomiar dla wszystkich wycięć tarczy.
6) Ocenić badaną tarczę.

Ćwiczenie 12

KONTROLA ZARYSÓW ZŁOŻONYCH ZA POMOCĄ PROJEKTORA MIERNICZEGO

12.1. Przeznaczenie projektora mierniczego

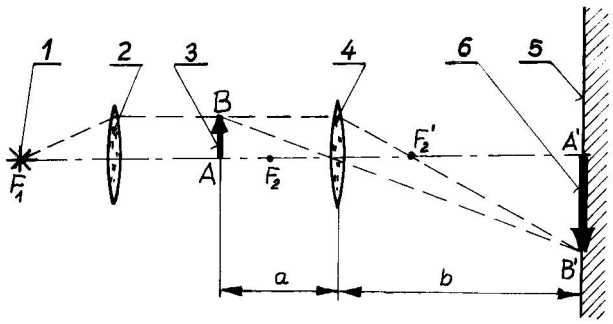
Projektor jest to przyrząd optyczny pozwalający otrzymać na ekranie odpowiednio powiększony obraz zarysu przedmiotu mierzonego.

Przeznaczony jest on do pomiaru wielkości liniowych i kątowych przedmiotów kształtowych, jak sprawdziany, krzywki, noże kształtowe, koła zębate itp. oraz do porównania z2-sów przedmiotów z rysunkiem wykonanym w odpowiednim powiększeniu, umieszczonym na ekranie.

12.2. Zasada działania projektora mierniczego

Źródło światła 1 (rys. 12.1) umieszczone jest w ognisku kondensora 2, przez co uzyskuje się za kondensorem równoległą wiązkę promieni, oświetlającą przedmiot mierzony 3. s2-ot ten znajduje się przed ogniskiem obiektywu 4. Obiektyw rzuca na ekran 5 wiązkę światła tworzącą rzeczywisty, odwrócony i powiększony obraz 6 przedmiotu. Powiększenie to można obliczyć ze wzoru

$$V = \frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}$$



Rys. 12.1. Zasada działania projektora mierniczego

Rys. 12.2. Ekrany stosowane w projektorach: a) półprzeźroczysty, b) odbijający

Przedstawiony powyżej uproszczony układ ma poważne wady, od usunięcia których z2-ży dokładność przyrządu. Są to przede wszystkim błędy układu optycznego, szczególnie wady soczewek. Zniekształcenie obrazu powodują: dystorsja, aberrację sferyczna i

chromatyczna. Wpływ tych wad rośnie ze zwiększeniem powiększenia. Dlatego też, zamiast pojedynczych soczewek stosuje się ich układy, częściowo eliminujące zniekształcenie obrazu.

W projektorach stosowane są ekrany dwóch typów: półprzeźroczyste i odbijające (rys. 12.2). Ekrany półprzeźroczyste dają obraz w prześwietleniu (rys. 12.2a). Wykonane są z2-żnie z matowej płyty szklanej. W wyniku rozproszenia światła krawędzie obrazu są mniej ostre. Przy tym rodzaju ekranu obserwacja powinna odbywać się na przedłużeniu osi optycznej projekcji.

Ekran odbijający (rys. 12.2b) wykonany jest z tworzywa nieprzezroczystego, zwykle białego. Otrzymany w tych warunkach obraz jest ostrzejszy i można go oglądać pod dowolnym kątem.

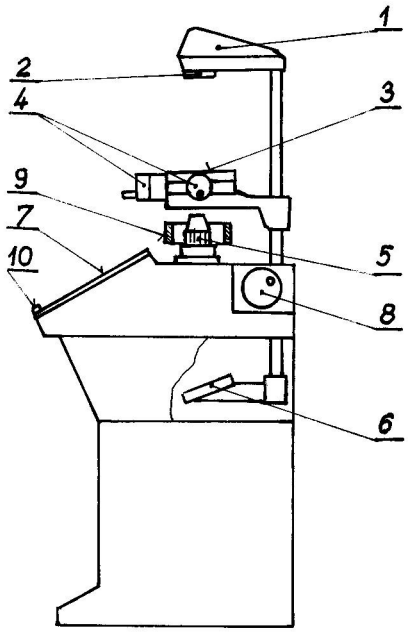
12.3. Budowa projektora „Profil 2"

Wygląd projektora „Profil 2" z uwidocznionymi najważniejszymi elementami jego budowy przedstawiony jest na rys. 12.3. Żarówka znajdująca się w oświetlaczu 1 przez układ kondensorowy 2 oświetla przedmiot umieszczony na stoliku przedmiotowym 3. Stolik ten ma możność przesuwu w dwu prostopadłych kierunkach za pomocą głowic mikrometrycznych 4. Następnie wiązka światła przechodzi przez obiektyw 5 i po odbiciu od zwierciadła 6 tworzy obraz badanego przedmiotu na półprzeźroczystym ekranie 7.

Ostrość obrazu nastawia się przez przesuw stolika względem obiektywu, realizowany przez obrót pokrętła 8.

Zmiany powiększenia dokonuje się przez wymianę obiektywu. Omawiany przyrząd wyposażony jest w obiektywy, pozwalające na uzyskanie powiększeń 10x; 20x; 50x; 100x.;

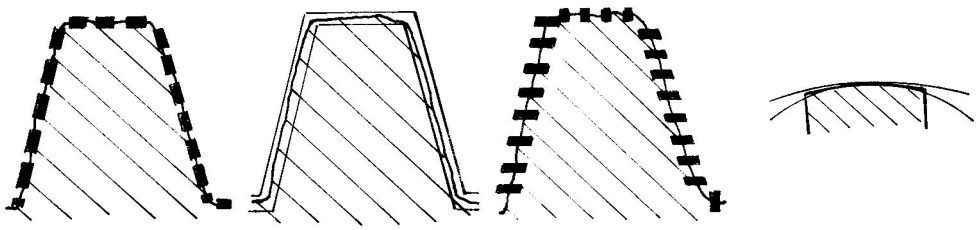
W projektorze „Profil 2" istnieje także możliwość oglądania obrazu w świetle odbitym od badanej powierzchni (np. elementów grawerowanych) dzięki istnieniu oświetlacza 9, oświetlającego przedmiot mierzony od dołu. Włączenie wybranego rodzaju oświetlenia z2-ępuje przez wciśnięcie odpowiedniego włącznika 10.



Rys.12.3. Projektor „Profil 2"

12.4. Porównanie przedmiotu sprawdzanego z rysunkiem

1) W zależności od kształtu przedmiotu wybrać odpowiedni schemat pracy projektora.
2) Przygotować projektor do wybranego schematu pracy.
3) Ustalić powiększenie, w którym wykonany jest rysunek.
4) Założyć rysunek z zaznaczonym polem tolerancji (rys. 12.4) na ekran projektora.
5) Zamocować przedmiot sprawdzany na stole przedmiotowym.
6) Wprowadzić przedmiot w pole widzenia.
7) Ustawić ostrość obrazu.
8) Nasunąć rysunek na obraz przedmiotu.



Rys. 12.4. Sposoby zaznaczania pola tolerancji na rysunkach kontrolnych

9) Zmierzyć odchyłki od wymiaru nominalnego (przymiarem na ekranie lub za pomocą głowic mikrometrycznych).
10) Ocenić przedmiot sprawdzany. Podczas przeprowadzania pomiaru przedmioty płaskie powinny być zamocowane za pomocą docisków, przedmioty obrotowe z nakiełkami - w kłach, przedmioty obrotowe bez nakiełków - na pryzmach.

Przeciętny błąd pomiaru nie przekracza wartości obliczonych z następujących wzorów:

- dla przedmiotu położonego na stoliku

$$\Delta L_1 = \pm\left(5 + \frac{L_1}{28} + \frac{HL_1}{3000}\right)$$

$$\Delta L_2 = \pm\left(5 + \frac{L_2}{14} + \frac{HL_2}{3000}\right)$$

- dla przedmiotów w kłach

$$\Delta L_1 = \pm\left(5 + \frac{L_1}{10}\right)$$

$$\Delta L_2 = \pm\left(5 + \frac{HL_2}{5}\right)$$

- pomiar cienia dokładnym przymiarem

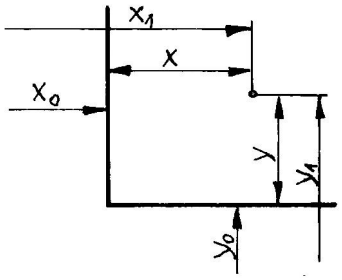
$$\Delta L = \pm\left(3 + \frac{150}{V} + \frac{L}{2}\right)$$

gdzie: ΔL_1 - błąd przesuwu wzdłużnego [μm],
ΔL_2 - błąd przesuwu poprzecznego [μm],
L_1 - wartość przesuwu wzdłużnego [mm],
L_2 wartość przesuwu poprzecznego [mm],
H - grubość (wysokość) przedmiotu [mm],
V - powiększenie projektora.

12.5. Kontrola współrzędnych punktu

Określenie współrzędnych punktu wymaga przyjęcia odpowiedniego układu odniesienia, który mogą stanowić prostopadłe krawędzie, osie itp. Poniżej podany jest przebieg określania współrzędnych punktu względem dwu prostopadłych krawędzi (rys. 5.12).

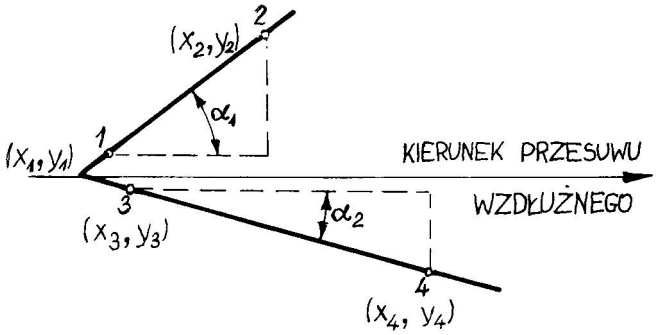
1) Zamocować przedmiot na stole przyrządu.
2) Przesuwami mikrometrycznymi stołu wprowadzić jedną z krawędzi odniesienia w pole widzenia.
3) Ustawić ostrość widzenia przedmiotu.
4) Obracając przedmiot, ustawić jedną z jego krawędzi odniesienia równolegle do linii krzyża.
5) Dokładnie nasunąć kreskę poziomą na krawędź odniesienia i odczytać wskazania y_0 głowicy mikrometrycznej przesuwu poprzecznego.
6) Dokładnie nasunąć kreskę pionową na drugą krawędź odniesienia i odczytać wskazanie x_0 głowicy
przesuwu wzdłużnego. Wskazania X_0 oraz Y_0 określają współrzędne punktu przecięcia krawędzi, stanowiącego początek układu odniesienia (rys. 12.5).
7) Nasunąć środek krzyża na rozpatrywany punkt i odczytać wskazania X_1 oraz Y_2 głowic mikrometrycznych.
8) Obliczyć współrzędne rozpatrywanego punktu w przyjętym układzie odniesienia.



Rys. 12.5. Schemat pomiaru współrzędnych punktu

12.6. Pomiar kątów metodą współrzędnych

1) Zamocować przedmiot.
2) Wprowadzić rozpatrywany element w pole widzenia przyrządu i ustawić ostrość.
3) Nasunąć środek krzyża kolejno na dwa, możliwie daleko od siebie położone punkty jednego ramienia kąta i odczytać ich współrzędne x_1, y_1 oraz x_2, y_2 (rys. 12.6).
4) Obliczyć kąt, jaki tworzy pierwsze ramię kąta z kierunkiem przesuwu wzdłużnego



Rys. 12.6. Schemat pomiaru kąta przez pomiar współrzędnych

$$tg\alpha_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

5) Nasunąć środek krzyża kolejno na dwa, możliwie odległe punkty drugiego ramienia kąta i odczytać ich współrzędne x_3, y_3 oraz x_4, y_4.
6) Obliczyć kąt, jaki tworzy drugie ramię kąta z kierunkiem przesuwu wzdłużnego

$$tg\alpha_2 = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3}$$

7) Obliczyć kąt między ramionami ze wzoru

$$\alpha = \alpha_2 + \alpha_1$$

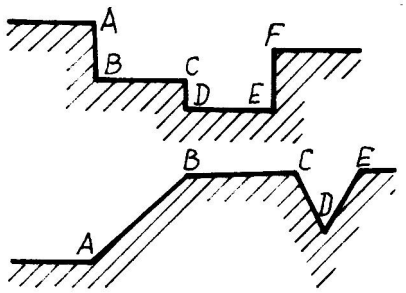
8) Obliczyć dokładność pomiaru ze wzoru

$$\Delta_{pom} = \pm\left(3 + \frac{3}{k}\right)[\text{min.}]$$

gdzie: k - długość ramienia kąta.

12.7. Kontrola zarysów łamanych

Kontroli zarysów łamanych (rys. 12.7) dokonuje się w zasadzie przez wyznaczenie punktów przecięcia *A, B, C* ... poszczególnych krawędzi. Ustalenie tych współrzędnych utrudnione jest ze względu na istniejące, nieuniknione przejściowe zaokrąglenie krawędzi. Pomiar z2-ega jak pomiar współrzędnych, opisany w punkcie 12.6.

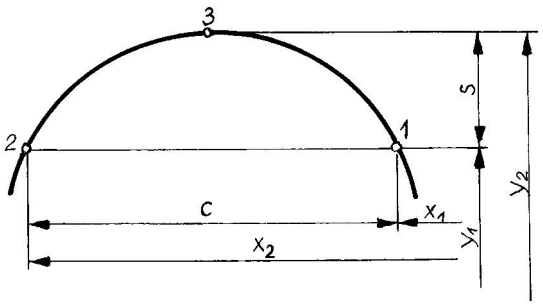


Rys. 12.7. Przykłady zarysów łamanych

12.8. Kontrola promieni łuków kołowych

Przy pomiarze łuków kołowych wykorzystuje się zasadę, że przez trzy punkty można poprowadzić tylko jeden okrąg. Pomiar sprowadza się do ustalenia wzajemnego położenia trzech punktów kontrolowanego łuku, czyli określenia strzałki i cięciwy.

1) Zamocować przedmiot.
2) Wprowadzić kontrolowany element w pole widzenia i nastawić ostrość widzenia.



Rys. 12.8. Schemat pomiaru promienia luku kołowego

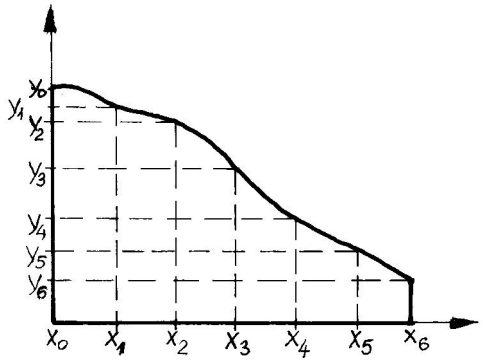
3) Nasunąć środek krzyża na punkt 1 (rys. 12.8) i odczytać wskazania x_1 oraz y_1 głowic mikrometrycznych (współrzędne punktu).
4) Przesuwem wzdłużnym nasunąć środek krzyża na punkt 2 i odczytać wskazanie x_2 głowicy przesuwu wzdłużnego.
5) Przesuwem wzdłużnym przesunąć przedmiot w przybliżeniu na połowę odległości między punktami 1 oraz 2.
6) Przesuwem poprzecznym doprowadzić kreskę poziomą do styczności z łukiem i z2-ytać wskazanie głowicy przesuwu poprzecznego.
7) Obliczyć promień łuku ze wzoru:

$$r = \frac{c^2}{8s} + \frac{s}{2}$$

gdzie: $s = y_2 - y_1$, $c = x_2 - x_1$
8) Ocenić jakość kontrolowanego przedmiotu.

12.9. Kontrola zarysów krzywoliniowych

Kontrola zarysów krzywoliniowych polega na pomiarze współrzędnych wielu punktów rozpatrywanego zarysu. Przebieg pomiaru jest więc podobny do pomiaru współrzędnych punktu. Kontrolę taką prowadzi się zazwyczaj w ten sposób, że narzucona jest jedna współrzędna każdego punktu kontrolowanego, a druga podlega mierzeniu. Np. dla zarysu s2-awionego na rys. 12.9 współrzędne poziom $x_1 - x_n$ ustawia się śrubą przesuwu poprzecznego, przyjmując wartości równe np. 1, 2, 3 ... mm; drugą współrzędną y_1 - y_n mierzy się przez z2-nięcie śrubą przesuwu poprzecznego środka krzyża na zarys i odczytanie wskazania.



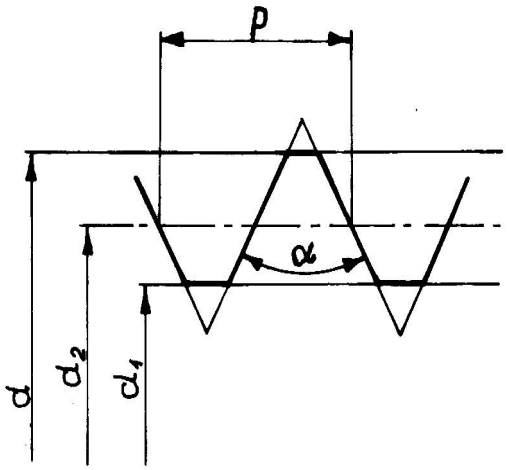
Rys. 12.9. Schemat pomiaru współrzędnych zarysu krzywoliniowego

ĆWICZENIE 13

KONTROLA ZARYSÓW ZŁOŻONYCH

13.1. Przedmiot pomiaru

Podstawowymi elementami wymiarowymi gwintów zewnętrznych są (rys. 13.1): d_2 - średnica podziałowa śruby, P - podziałka gwintu, α - kąt zarysu, d - średnica zewnętrzna, d_1 - średnica rdzenia śruby.



Rys. 13.1. Podstawowe elementy wymiarowe gwintów zewnętrznych

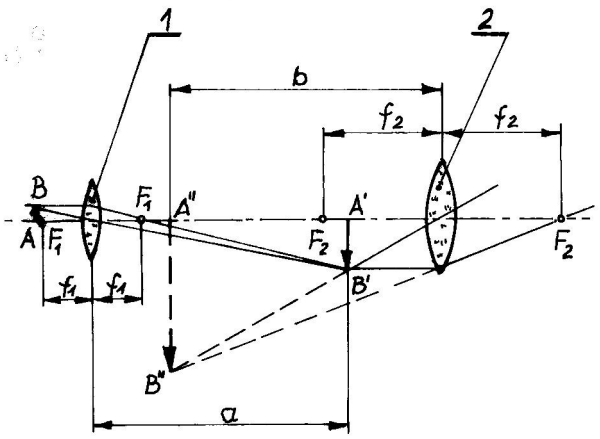
13.2. Przeznaczenie i zasada działania mikroskopu warsztatowego

Mikroskop warsztatowy jest przeznaczony do bezstykowego pomiaru i sprawdzania s2-otów kształtowych, jak sprawdziany kształtu, wzorniki, krzywki, sprawdziany do gwintu itp.

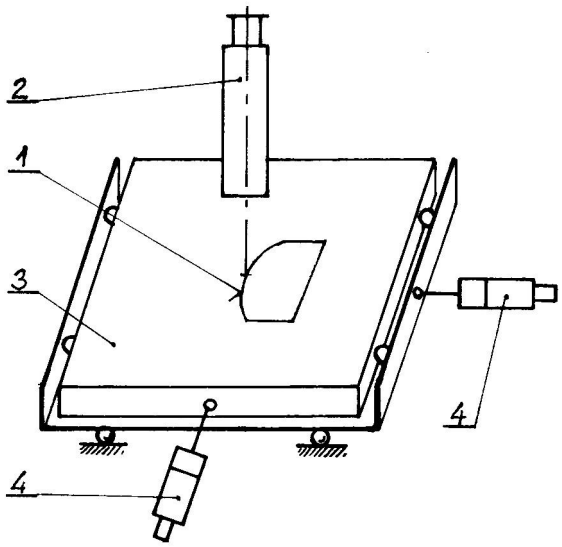
Układ optyczny mikroskopu składa się z dwu zespołów soczewek: obiektywu 1 i okularu 2(rys. 13.2). Oglądany obraz A"B" przedmiotu AB jest obrazem pozornym, powiększonym i odwróconym. Powiększenie mikroskopu równe jest iloczynowi powiększeń obiektywu 1 oraz okularu 2 i wynosi

$$V = V_1 \cdot V_2 = \frac{A"B"}{AB} = \frac{a \cdot b}{f_1 \cdot f_2}$$

Mikroskopy miernicze pozwalają na pomiarów dwu współrzędnych x i y (rys. 13.3). Poszczególne punkty obrazu badanego przedmiotu 1 podsuwane są pod oś mikroskopu 2 (środek krzyża głowicy okularowej) przez przesuw przedmiotu umieszczonego na z2-wiednim stoliku 3. Przesuw w dwu prostopadłych kierunkach jest realizowany za pomocą głowic mikrometrycznych 4. Wskazania głowic określają współrzędne mierzonego punktu.



Rys. 13.2. Schemat optyczny mikroskopu



Rys. 13.3. Zasada pomiaru współrzędnych za pomocą mikroskopu warsztatowego

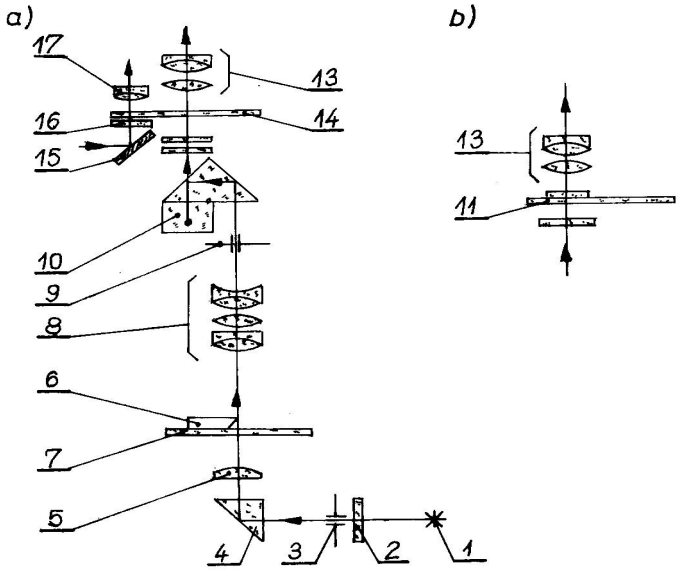
13.3. Budowa mikroskopu

Układ optyczny dużego mikroskopu warsztatowego przedstawia rys. 13.4, zaś widok ogólny - rys. 13.5.

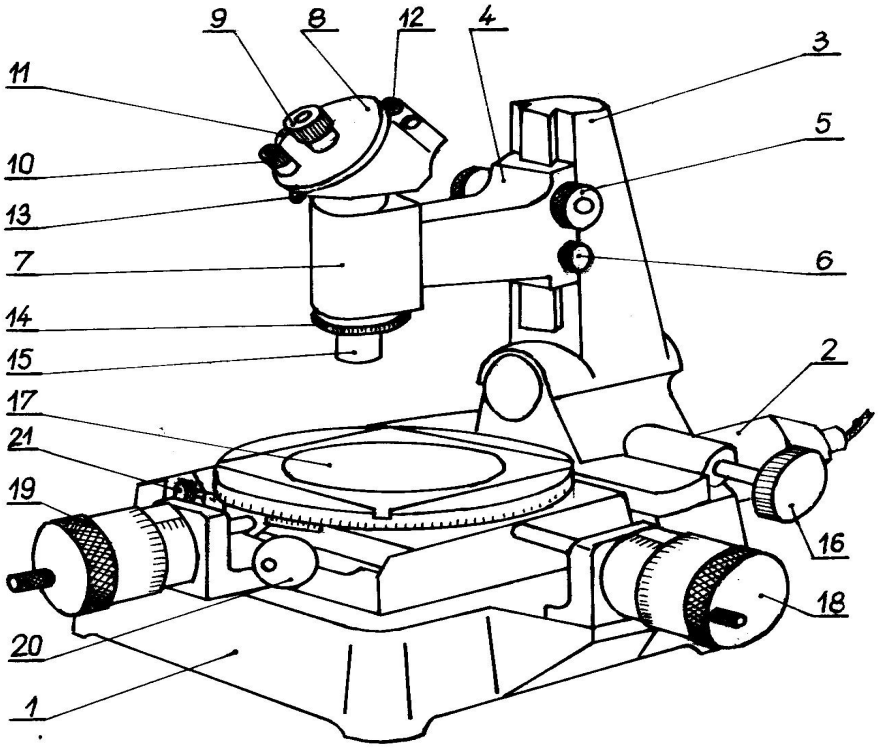
Wiązka światła ze źródła 1 (rys. 13.4) przechodzi przez filtr zielony 2, przesłonę nastawną 3, zmienia kierunek o 90° w pryzmacie 4, przechodzi przez kondensor 5 i jako wiązka równoległa oświetla przedmiot 6, umieszczony na stoliku przedmiotowym 7. Następnie przechodzi przez obiektyw 8, przesłonę stałą 9 i pryzmaty 10 odwracające obraz. Dzięki umieszczeniu tych pryzmatów w układzie optycznym mikroskopu obraz widziany przez obserwatora jest prosty (nie odwrócony), co znacznie ułatwia pomiary.

Po przejściu przez pryzmaty wiązka światła wpada do głowicy okularowej, w której tworzy obraz przedmiotu na płytce z krzyżem 14 (w przypadku głowicy goniometrycznej): lub na płytce z zarysami wzorcowymi 11 (w przypadku głowicy rewolwerowej). Obraz ten oglądany jest przez okular 13. Patrząc przez okular głowicy goniometrycznej ogląda się obraz przedmiotu mierzonego powstający na płytce z kreskami 14. Płytka ma dwie kreski ciągłe i sześć przerywanych (rys. 13.6a).

Na obwodzie płytki z kreskami 14 znajduje się skala kątowa. Położenie kątowe płytki z2-ytuje się w okularze odczytowym 17.



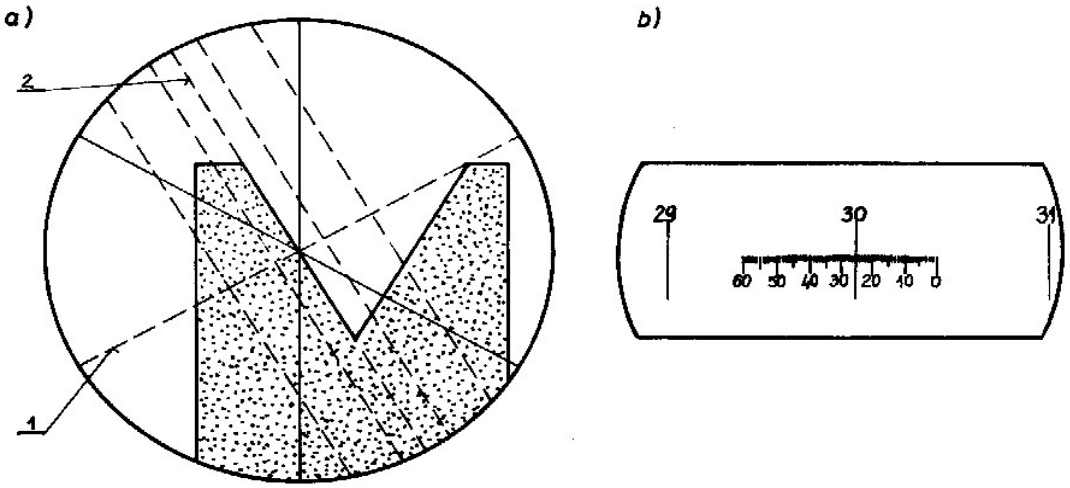
Rys. 13.4. Układ optyczny dużego mikroskopu warsztatowego: a) z głowicą goniometryczną, b) z głowicą rewolwerową



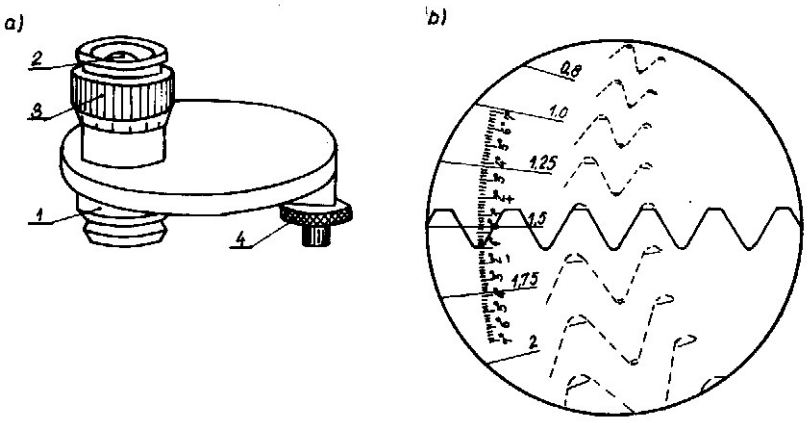
Rys. 13.5. Widok ogólny mikroskopu warsztatowego; 1 - podstawa mikroskopu, 2 - oświetlacz, 3 - kolumna z2-ylna, 4 — ramię, 5 — pokrętło przesuwu ramienia, 6 — śruba zacisku ramienia, 7 — tubus mikroskopu, 8 — głowica goniometryczna, 9 — okular obserwacyjny z regulacją ostrości widzenia krzyża goniometrycznego, 10 — okular odczytowy z regulacją ostrości widzenia skali kątowej, 11 — pokrętło obrotu krzyża goniometrycznego, 12 — obejma do mocowania urządzenia projekcyjnego, 13 — zwierciadło oświetlające skalę kątową, 14 — pierścień mikroprzesuwu tubusa, 15 — obiektyw wymienny, 16 — pokrętło do pochylania kolumny, 17 — stół przedmiotowy, 18 - śruba mikrometryczna przesuwu wzdłużnego, 19 - śruba mikrometryczna przesuwu poprzecznego, 20 — pokrętło obrotu stołu przedmiotowego, 21 — zacisk obrotu stołu

Dokładność odczytu zwiększa noniusz 16. Skalę oświetla się za pomocą odpowiedniego ustawienia lusterka 15. Pole widzenia w okularze odczytowym jest przedstawione na rys. 13.6b.

Zamiast głowicy goniometrycznej można stosować głowice rewolwerowe. W głowicach tych na płytce 11 - rys. 13.7b, na której powstaje obraz mierzonego przedmiotu, znajduje się szereg zarysów wzorcowych. W zależności od rodzaju głowicy są to zarysy gwintów, łuków, zębów itp. Sprawdzenia dokonuje się przez porównanie obrazu przedmiotu badanego zarysem wzorcowym i pomiar ewentualnych odchyleń. Przy stosowaniu głowic rewolwerowych z2-ży stosować obiektyw o powiększeniu 1 x.



Rys. 13.6. Pola widzenia w okularach głowicy goniometrycznej: a) obserwacyjnym, b) odczytowym; 1 — kreska pozioma, 2 — kreska pionowa

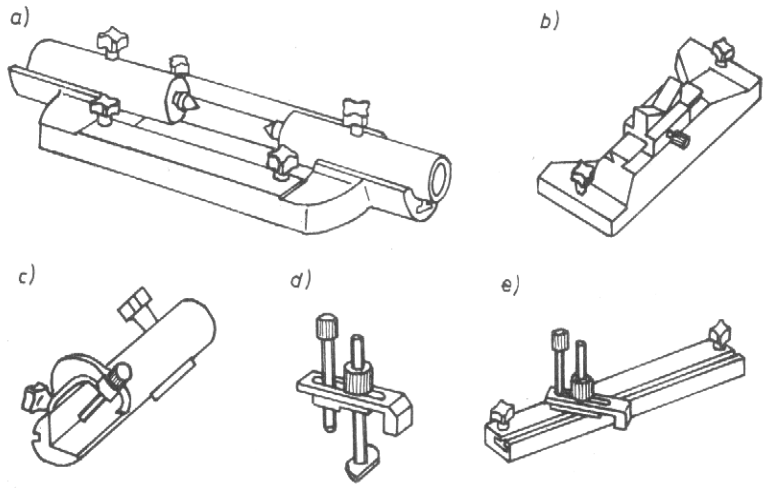


Rys. 13.7. Głowica rewolwerowa: a) widok ogólny, b) pole widzenia głowicy z zarysami gwintów 1 - powierzchnia ustalająca, 2 — okular obserwacyjny, 3 — pokrętło do nastawiania ostrości widzenia zarysów wzorcowych, 4 - pokrętło do obrotu płytki z zarysami

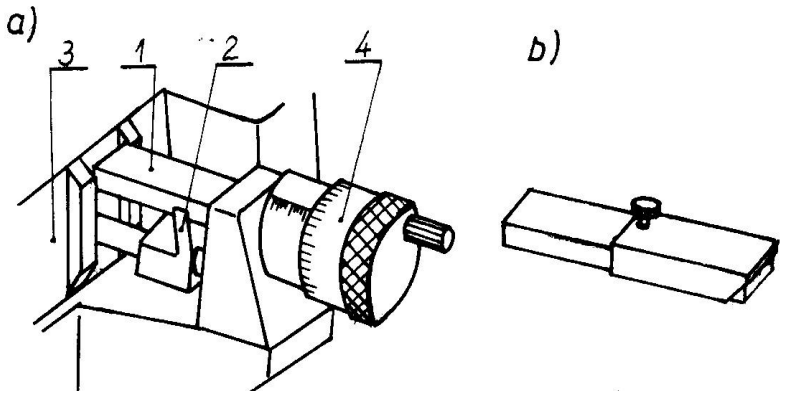
Mikroskop warsztatowy ma specjalne wyposażenie do mocowania przedmiotów, s2-awione na rys. 13.8, a mianowicie:

a) kły z podstawą, mocowaną w rowkach stołu - do mocowania przedmiotów obrotowych, zaopatrzonych w nakiełki,

b) pryzmy, mocowane w rowkach stołu - do mocowania ciężkich przedmiotów obrotowych bez nakiełków,



Rys. 13.8. Wyposażenie mikroskopu do mocowania przedmiotów: a) podstawa z kłami, b) podstawka pryzmowa, c) pryzma do mocowania w podstawie kłowej, d) docisk, e) listwa z dociskiem



Rys. 13.9. Urządzenie dodatkowe umożliwiające rozszerzenie zakresu mierniczego głowic mikrometrycznych za pomocą płytek wzorcowych: a) widok ogólny, b) uchwyt do zestawów płytek wzorcowych o wymiarach ponad 75 mm

c) pryzmę, osadzoną w otworze do kłów, przewidzianą do mocowania lżejszych s2-otów obrotowych nie mających nakiełków,

d) dociski ze śrubami, dostosowanymi do rowków stołu.

Zakres mierniczy śrub mikrometrycznych przesuwu wzdłużnego i poprzecznego, wynoszący 25 mm, można powiększyć za pomocą płytek wzorcowych. Płytki te, o wymiarach 25, 50 i 75 mm należą do wyposażenia mikroskopu. Płytkę 1, lub zestaw płytek w specjalnym uchwycie (rys. 13.9), należy położyć na odpowiednio wysunięte widełki z2-erające 2, między sanie 3 stołu a końcówkę trzpienia głowicy mikrometrycznej 4.

13.4. Obsługa mikroskopu

Nastawienie ostrości obrazu przedmiotu i płytki goniometrycznej należy przeprowadzić w następującej kolejności:

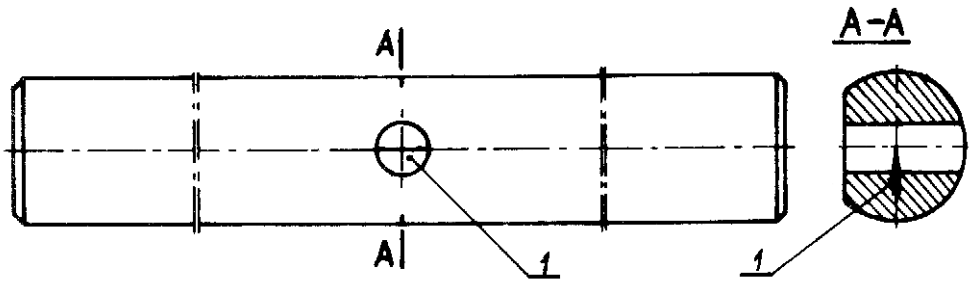
1) Nastawić ostrość płytki goniometrycznej z kreskami, przez obrót okularu obserwacyjnego (rys. 13.5).
2) Nastawić ostrość obrazu przedmiotu:
- regulacją zgrubną, przez przesuw ramienia z tubusem wzdłuż; kolumny przechylnej,
- regulację dokładną przez przesuw tubusa pokrętłem pod obiektywem.
3) Nastawić odpowiednią średnicę przesłony tak, aby uzyskać obraz o maksymalnej ostrości i dostatecznej jasności.

W przypadku przedmiotów obrotowych mocowanych w kłach nastawienie ostrości wg tworzącej jest trudne. Ułatwia to wałek nastawczy (rys. 13.10).Wałek ten ma umieszczone w otworze ostrze 1, którego krawędź pokrywa się z osią wałka. Jeżeli tubus* przyrządu ustawi się tak, że ostrze to jest ostro widoczne, to równie ostro widoczne będą wszystkie elementy leżące w tej samej płaszczyźnie, a więc i tworzące A i B wałka, leżące w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny stołu.

Przy pomiarach: średnic, długości wałków, pochyleń stożków, gwintów itp. konieczne jest, aby pomiar długości wałka, dokonywany przy użyciu głowicy przesuwu wzdłużnego, był realizowany równolegle do osi wałka, a pomiar jego średnicy - prostopadle do osi.

W celu ustawienia osi kłów równolegle do kierunku przesuwu wzdłużnego należy wykonać następujące czynności (rys. 13.5):

1) Zamocować kły na stole mikroskopu.
2) Zamocować w kłach wałek nastawczy w takim położeniu, by wałek znajdował się w polu widzenia mikroskopu, w jak największym zakresie przesuwu wzdłużnego.
3) Nastawić ostrość obrazu krzyża głowicy goniometrycznej oraz tworzącej wałka.
4) Ustawić wskazanie głowicy goniometrycznej na 0°00'.



Rys. 13.10. Wałeczek nastawczy

5) Nasunąć kreskę poziomą głowicy na skrajną tworzącą wałka za pomocą głowic mikrometrycznych. Nieprawidłowość ustawienia kątowego korygować obrotem stołu.
6) Przesunąć ręką stół w kierunku wzdłużnym, w całym zakresie obserwując prawidłowość ustawienia - tworząca powinna stale pokrywać się z poziomą kreską głowicy. Niedokładność tego ustawienia korygować delikatnym obrotem stołu. Czynności te powtarzać tak długo, aż uzyska się pokrywanie kreski poziomej z tworzącą wałka w całym zakresie przesuwu stołu.
7) Zablokować obrót stołu.
8) Sprawdzić ponownie ustawienie wałka, jak uprzednio.
9) Zdjąć wałek nastawczy.

13.5. Czynności przygotowawcze przed przystąpieniem do pomiaru

1) Zamocować przyrząd kłowy na stole mikroskopu.
2) Zamocować w kłach wałek mikroskopu (nastawczy), nastawić ostrość i jasność. Ustawić równoległość osi kłów do kierunku przesuwu wzdłużnego.
3) Zamocować przedmiot mierzony.
4) Pochylić kolumnę o kąt wzniosu linii śrubowej mierzonego gwintu γ (tabl. 13.1) dla uzyskania równomiernego oświetlenia obu boków zarysu gwintu.

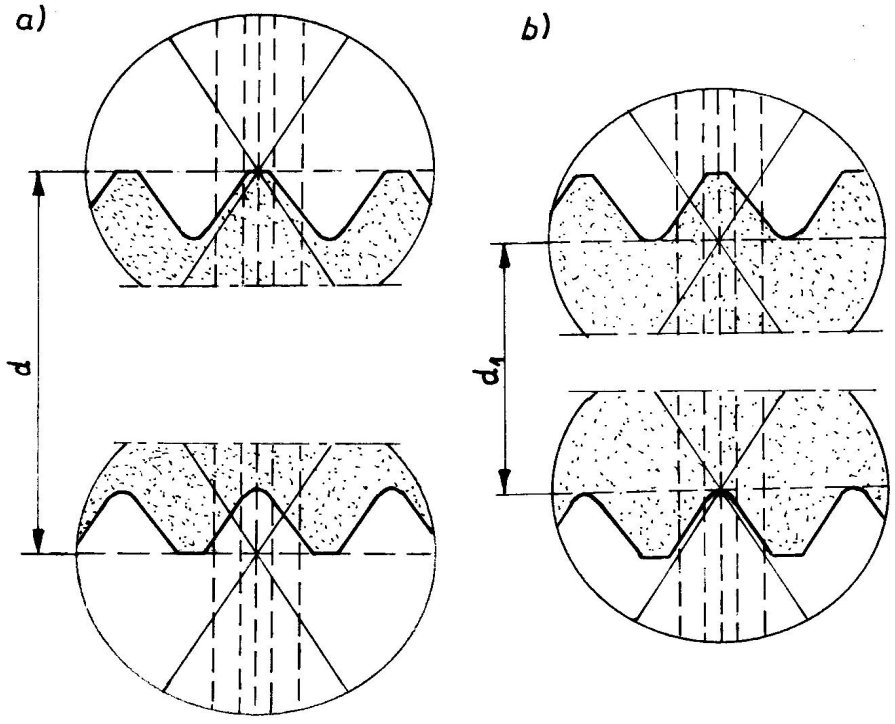
Tablica 13.1

Kąt wzniosu linii śrubowej gwintów zwykłych

d	P	γ	d	P	γ
8	1,25	3°12'	20	2,5	2°27'
10	1,5	3°01'	22	2,5	2°13'
12	1,75	2°56'	24	3,0	2°27'
14	2,0	2°52'	27	3,0	2°10'
16	2,0	2°29'	30	3,5	2°17'
18	2,5	2°47'	36	4,0	2°10'
d — średnica znamionowa gwintu P — podziałka gwintu zwykłego					

13.6. Pomiar średnicy zewnętrznej i wewnętrznej gwintu

W celu zmierzenia średnicy zewnętrznej gwintu należy poziomą kreskę krzyża nasunąć na linię wierzchołków gwintu po obu stronach zarysu (rys. 13.11 a) i odjąć otrzymane wskazania głowicy mikrometrycznej przesuwu poprzecznego. Przy pomiarze średnicy wewnętrznej (rys. 13.11 b) kreskę krzyża nastawia się na obraz dolin gwintu.



Rys. 13.11. Schemat pomiaru średnicy gwintu: a) zewnętrznej, b) wewnętrznej

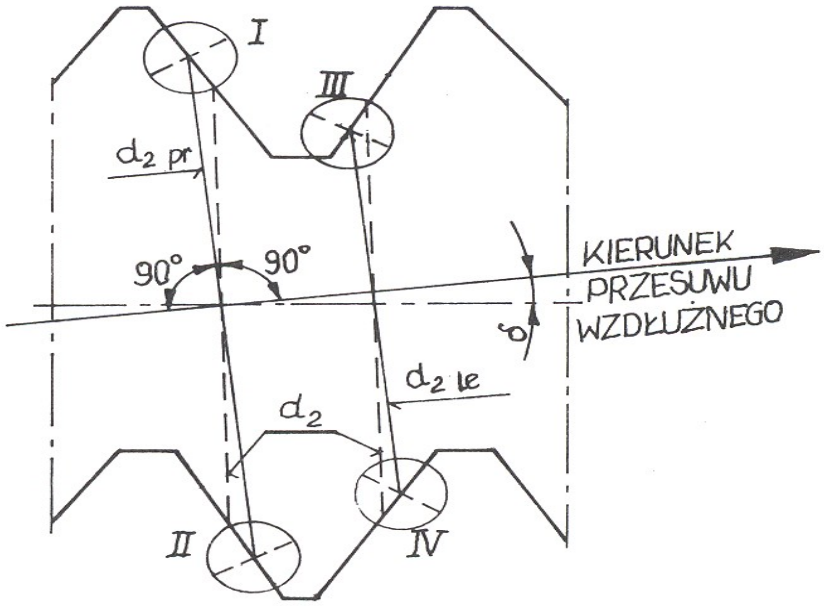
13.7. Pomiar średnicy podziałowej

Średnica podziałowa jest średnicą walca, którego powierzchnia przecina zwoje gwintu w takich punktach, w jakich szerokość grzbietu równa się szerokości bruzdy (rys. 13.12). Na dokładność pomiaru wpływa nieunikniony błąd δ ustawienia równoległości osi kłów do kierunku przesuwu wzdłużnego. Wpływ ten można zmniejszyć przez pomiar średnicy na obu powierzchniach nośnych gwintu ($d_{2\,pr}$ i $d_{2\,le}$), gdyż mierzona średnica po jednej stronie ulega zwiększeniu, zaś po drugiej - zmniejszeniu (rys. 13.12). Po dokonaniu pomiarów w punktach I, II, III, IV średnicę podziałową oblicza się ze wzoru.

$$d_{2\,pr} = y_I - y_{II}$$

$$d_{2\,le} = y_{III} - y_{IV}$$

$$d_2 = \frac{d_{2\,pr} + d_{2le}}{2}$$

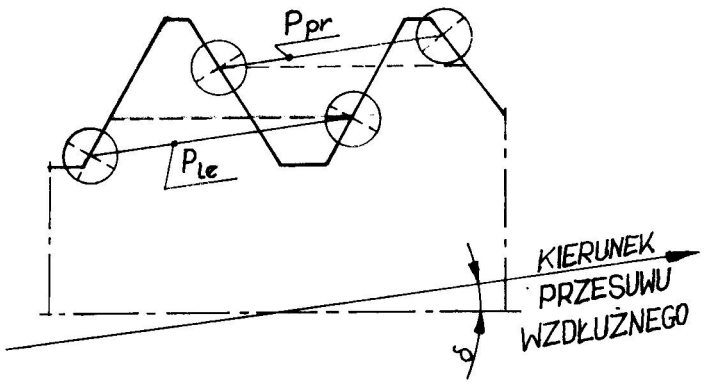


Rys. 13.12. Schemat pomiaru średnicy podziałowej: δ — błąd nierównoległości osi kłów do kierunku przesuwu wzdłużnego

13.8. Pomiar podziałki gwintu

Podziałką gwintu nazywa się odległość między równoległymi tworzącymi dwóch obok siebie leżących zwojów gwintu, mierzoną równolegle do osi gwintu. Podobnie jak przy pomiarze średnicy podziałowej, na dokładność pomiaru wpływa niedokładność ustawienia równoległości osi kłów do kierunku przesuwu wzdłużnego (rys. 13.13). Wpływ ten, jak i wpływ symetrii kąta zarysu gwintu, zmniejsza się przez pomiar podziałki dla prawej i lewej powierzchni nośnej gwintu. Prawidłowy wymiar podziałki będzie średnią arytmetyczną tych pomiarów:

$$P = \frac{P_{pr} + P_{le}}{2}$$



Rys. 13.13. Schemat pomiaru podziałki gwintu

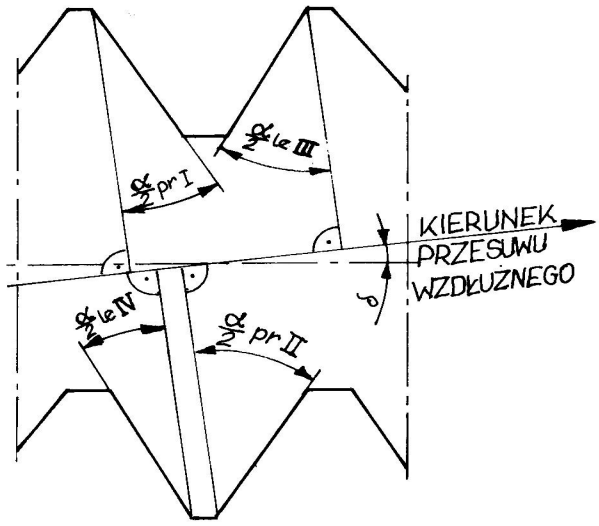
13.9. Pomiar połowy kąta zarysu gwintu

Kąt zarysu gwintu jest to kąt mierzony między bokami zarysu w płaszczyźnie przechodzącej przez oś gwintu. Jednakże dla współpracy śruby z nakrętką większe znaczenie ma symetria kąta, dlatego kontroluje się prawą i lewą połowę kąta zarysu.

Połowa kąta zarysu symetrycznego jest to kąt zawarty między jednym z boków zarysu a prostą prostopadłą do osi gwintu.

W praktyce należy mierzyć obie połowy kąta zarysu gwintu.

W celu zmniejszenia wpływu nierównoległości δ osi kłów do kierunku przesuwu wzdłużnego połowę kąta zarysu gwintu należy mierzyć na jednej powierzchni nośnej - po obu stronach gwintu (rys. 13.14).



Rys. 13.14. Schemat pomiaru połowy kąta zarysu gwintu

Za prawidłowe wartości przyjmuje się wartości średnich arytmetycznych tych dwóch z2-ytów

$$\frac{\alpha}{2} pr = \frac{\frac{\alpha}{2} prI + \frac{\alpha}{2} prII}{2}$$

$$\frac{\alpha}{2} lew = \frac{\frac{\alpha}{2} leIII + \frac{\alpha}{2} leIV}{2}$$

Uwaga: Pomiar połowy kąta zarysu dokonuje się za pomocą obrotu płytki goniometrycznej tak, aby jej kreska pionowa pokryła się z zarysem gwintu. Wartość kąta odczytuje się w okularze odczytowym.

Błędy pomiaru elementów gwintu podane są w tablicy 13.2.

Tablica 13.2

Przeciętne błędy pomiaru gwintów za pomocą mikroskopu warsztatowego

Mierzony parametr	**Błędy pomiarów wykonywanych głowicą:**	
	goniometryczną	**rewolwerową**
Średnica zewnętrzna	$\pm \left(8 + \frac{L}{9} \right) \mu m$	$\pm \left(9 + \frac{L}{9} \right) \mu m$
Średnica podziałowa gwintów metrycznych	$\pm \left(11 + \frac{L}{4} \right) \mu m$	$\pm \left(13 + \frac{L}{4} \right) \mu m$
Podziałka gwintu	$\pm \left(5{,}5 + \frac{L}{14} \right) \mu m$	$\pm \left(6{,}5 + \frac{L}{14} \right) \mu m$
Kąt zarysu	$\pm \left(2 + \frac{1{,}7}{K} \right) min$	$\pm \left(18 + \frac{1}{1K} \right) \mu m$
L — wielkość mierzona w mm K — długość tworzącej zarysu gwintu w mm		

Ćwiczenie 14

PROJEKTOWANIE I ANALIZA KARTY KONTROLNEJ DLA CECH MIERZALNYCH

14.1 Rodzaje kart kontrolnych

Karty kontrolne (nazywane też kartami statystycznego sterowania procesem lub kartami Shewharta) są uznane za najistotniejszą technikę wykorzystywaną w ramach statystycznego nadzorowania procesów produkcyjnych. Wynika to z faktu, że częstokroć korzysta się z nich, aby potwierdzić wiarygodność hipotez dotyczących stabilności badanego procesu stawianych na podstawie wykorzystania innych narzędzi (np. w przypadku badania zdolności jakościowej procesu) oraz pozyskuje się dane (parametry statystyczne) niezbędne dla dalszych analiz (np. na podstawie uzyskanych wyników określa się wartość odchylenia standardowego i wartości średniej w badanej populacji).

Zasadniczym celem wykorzystania kart kontrolnych jest **ocena stabilności procesu**. Zadanie to sprowadza się do ustalenia czy dany proces, którego wyniki podlegają analizie z2-ega wyłącznie pod wpływem czynników losowych (**proces stabilny**), których występowanie jest nieuniknione, ale których wpływ (zmienność losową) należy stopniowo ograniczać, czy też występują w nim dodatkowo, wymagające natychmiastowej reakcji tzw. wyznaczalne (istotne, nielosowe) przyczyny zmienności (**proces niestabilny**).

Najczęściej stosowane karty kontrolne podzielić można na trzy podstawowe rodzaje:

1) **dla cech mierzalnych** (liczbowa ocena właściwości) - karty $\bar{x}$-R (wartości średniej i rozstępu), $\bar{x}$-s (wartości średniej i odchylenia standardowego), Me-R (mediany i rozstępu), wartości indywidualnych X,

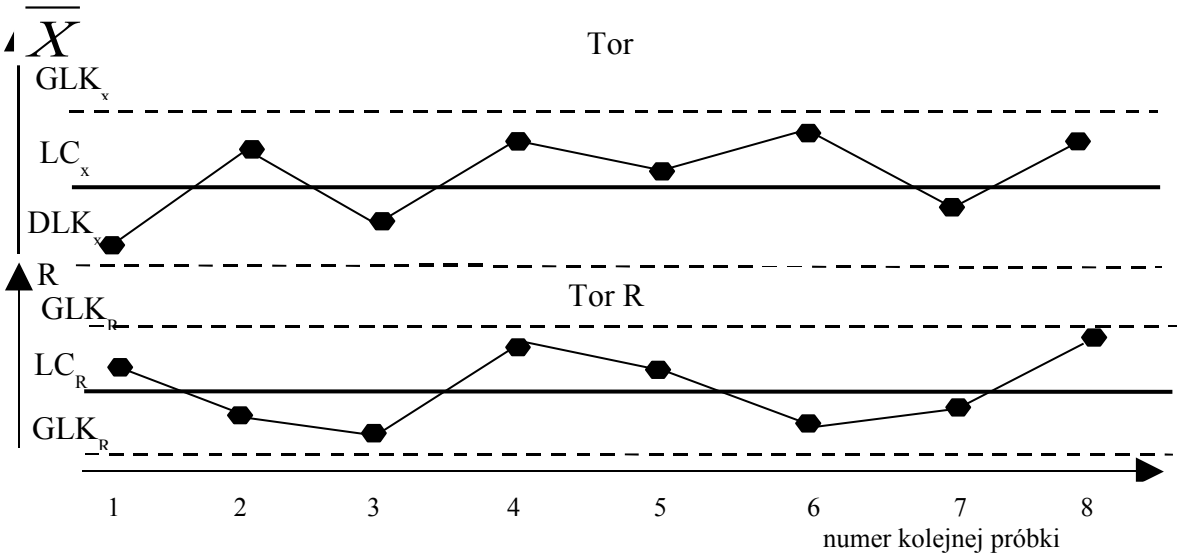
2) **dla cech ocenianych alternatywnie**, do których zaliczają się m.in. karty frakcji jednostek niezgodnych (wadliwości) p, liczby jednostek niezgodnych (np) - oparte na rozkładzie dwumianowym oraz karty c służące śledzeniu liczby wad (niezgodności) lub karty u liczby wad (niezgodności) przypadających na określoną jednostkę (np. m^2 powierzchni, sztukę wyrobu, metr bieżący) - oparte na rozkładzie Poissona,

3) **karty sum kumulacyjnych** dla cech mierzalnych i niemierzalnych.

Podstawowym dokumentem normatywnym opisującym zasady projektowania oraz wykorzystania kart wymienionych w p. 1 i 2 jest aktualnie norma PN-ISO 8258+AC1 „Karty kontrolne Shewharta".

14.2 Projektowanie i analiza karty $\bar{x}$-R

W zastosowaniach przemysłowych inżynierii jakości, największe znaczenie wśród kart cech mierzalnych, ma karta $\bar{x}$-R, umożliwiająca śledzenie średniej arytmetycznej $\bar{x}$ i rozstępu R (różnica największej i najmniejszej wartości) badanej cechy wyrobu kształtowanej w nadzorowanym procesie. Te dwa parametry statystyczne oblicza się w pobieranych z bieżącej produkcji, w określonych odstępach czasu n – sztukowych, losowych próbkach, na podstawie pomiaru wartości cechy w każdej z n sztuk wyrobu w próbce a następnie równolegle nanosi się je jako punkty na odpowiedni diagram - $\bar{x}$ oraz R (rys14.1). Obserwacja punktów na tych dwóch diagramach umożliwia ocenę stabilności badanego procesu (por. p.14.2.3).



Rys. 14.1 Fragment diagramów $\overline{x}$ i R na karcie kontrolnej

Ogólny tok postępowania przy projektowaniu i wykorzystaniu kart kontrolnych jest następujący.

14.2.1. Przygotowanie karty kontrolnej

Na etap ten składają się następujące działania:

a) przeprowadzenie analizy celowości stosowania kart,

b) wybór cechy mierzalnej wyrobu stanowiącej wynik procesu, wymagającego bieżącego nadzorowania,

c) ustalenie liczności próbki *n* i częstotliwości jej pobierania; należy w tym miejscu mieć na względzie następujące czynniki:

- liczność próbek powinna wynosić co najmniej 4 sztuki (zwykle nie więcej niż 7),
- przy wzroście liczności próbki, linie kontrolne zbliżają się do linii centralnej (wartości współczynników D_3, D_4, A_2 - tab.14.4 - wykorzystywanych do obliczeń linii kontrolnych są funkcją liczności próbki), co sprawia, że karty stają się bardziej czułe, ale jednocześnie wzrasta koszt badania.
- gdy dla celów badania konieczne jest przeprowadzenie prób niszczących, należy stosować możliwie najmniejszą liczność próbki,

d) zaprojektowanie formularza karty kontrolnej.

Tablica 14.1 przedstawia przykładowy ogólny wygląd formularza karty kontrolnej (w nawiasach podano, kto odpowiada za wypełnienie poszczególnych sekcji).

Tablica 14.1

Sekcje formularza karty kontrolnej dla karty $\overline{x}$-R

Sekcja informacyjna (Kierownictwo i Operator)	
Sekcja identyfikacyjna (Operator)	
Pomiary i obliczenia (Operator)	Wskazówki Interpretacyjne (Operator)
Diagram X i R (Operator)	Dokumentacja (Operator)

W **sekcji informacyjnej** podane są zwykle, w odpowiednich komórkach tabeli, z2-ępujące informacje:

- identyfikacja (symbol) badanego elementu / części / wyrobu,
- wykorzystywana maszyna/stanowisko,
- typ karty kontrolnej (np. $\bar{x}$-R),
- numer/symbol karty,
- analizowana cecha wyrobu (wymaganie podane w dokumentacji projektowej),
- wykorzystywany sprzęt pomiarowy,
- liczność próbki oraz częstotliwość jej pobierania,
- wartości odpowiadające obliczonym liniom kontrolnym (górnej - *GLK*, centralnej - *LC* i dolnej - *DLK*) na torach karty (np. na torach $\bar{x}$ i R).

Sekcja identyfikacyjna (tablica 14.2) zawiera informacje określające moment pobrania poszczególnych próbek oraz operatora.

Tablica 14.2

Przykład sekcji identyfikacyjnej na formularzu karty kontrolnej

Data pobrania próbki										
Godzina pobrania próbki										
Pracownik										

W sekcji tej powinno być przewidziane tyle kolumn ile próbek *n*-elementowych mieści dany arkusz karty (zwykle 25 próbek).

Sekcja pomiarów i obliczeń (tab. 14.3) wypełniana jest przez operatora i zawiera dane pomiarowe badanej cechy w poszczególnych próbkach oraz obliczone wartości parametrów statystycznych - wartości średniej $\bar{x}$ i rozstępu R .

Tablica 14.3

Przykład sekcji zawierającej wyniki pomiarów próbek (5-cio elementowych) i obliczeń parametrów statystycznych (dla karty $\bar{x}$-R)

Nr próbki									
Wyniki pomiarów w próbkach	**1**								
	2								
	3								
	4								
	5								
Średnia w próbce $\bar{x}$									
Rozstęp w próbce *R*									

Kolumny w tej sekcji odpowiadają kolumnom ustalonym w sekcji identyfikacyjnej dla poszczególnych próbek. W sytuacji, gdy w zaplanowanym harmonogramie pobierania próbek nastąpi przerwa (np. awaria maszyny) kolumnę, w której dane te powinny być naniesione, z2-ży zostawić pustą.

14.2.2. Zaprojektowanie parametrów (linii kontrolnych) na torach karty

Na etap ten składają się następujące działania:

a) wykonanie pomiarów rozpatrywanej cechy w pierwszych 20-30 *n*-sztukowych próbkach i zapis wyników,

b) obliczenie parametrów statystycznych ($\bar{x}$, R) dla każdej z tych próbek,

c) obliczenie średniego rozstępu $\bar{R}$ i średniej średnich $\bar{\bar{X}}$ z pobranych próbek,

d) naniesienie **linii centralnych** LC (tj. wartości $\bar{\bar{X}}$ dla toru średnich i wartości $\bar{R}$ dla toru rozstępów) a następnie obliczenie linii kontrolnych według wzorów:

- dla toru średnich $\bar{x}$:

a) **górna linia kontrolna**:

$$GLK = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

b) **dolna linia kontrolna**:

$$DLK = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

- dla toru rozstępów R:

a) **górna linia kontrolna**:

$$GLK = D_4 \bar{R}$$

b) **dolna linia kontrolna**:

$$DLK = D_3 \bar{R}$$

Rozkład prawdopodobieństwa rozstępów jest w przeciwieństwie do rozkładu wartości średnich asymetryczny, w związku z tym $D_3 \neq D_4$.

Tablica 14.4 przedstawia wybrane wartości współczynników D_3, D_4 i A_2 dla z2-ęściej stosowanych liczności próbek $\underline{n}$.

Tablica 14.4

Współczynniki potrzebne do zaprojektowania karty $\bar{x}$-R dla najczęściej stosowanych liczności próbek

n	A_2	D_3	D_4
2	1.880	0.000	3.267
3	1.023	0.000	2.574
4	0.729	0.000	2.282
5	0.577	0.000	2.115
6	0.483	0.000	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

Diagramy $\bar{x}$ i R sporządzane są na bieżąco przez operatora. Należy zwracać uwagę na nanoszenie a następnie łączenie odpowiednich punktów na obu torach, oraz by **punkty na tych torach miały taką samą rzędną**. W sytuacji braku danych o określonej harmonogramem pobierania próbek porze, punkty na obu torach odpowiadające próbkom pobranym bezpośrednio przed jak i po tym fakcie należy połączyć linią przerywaną. Punkty na diagramie należy nanosić natychmiast po ich obliczeniu (szybka informacja jest sprawą kluczową).

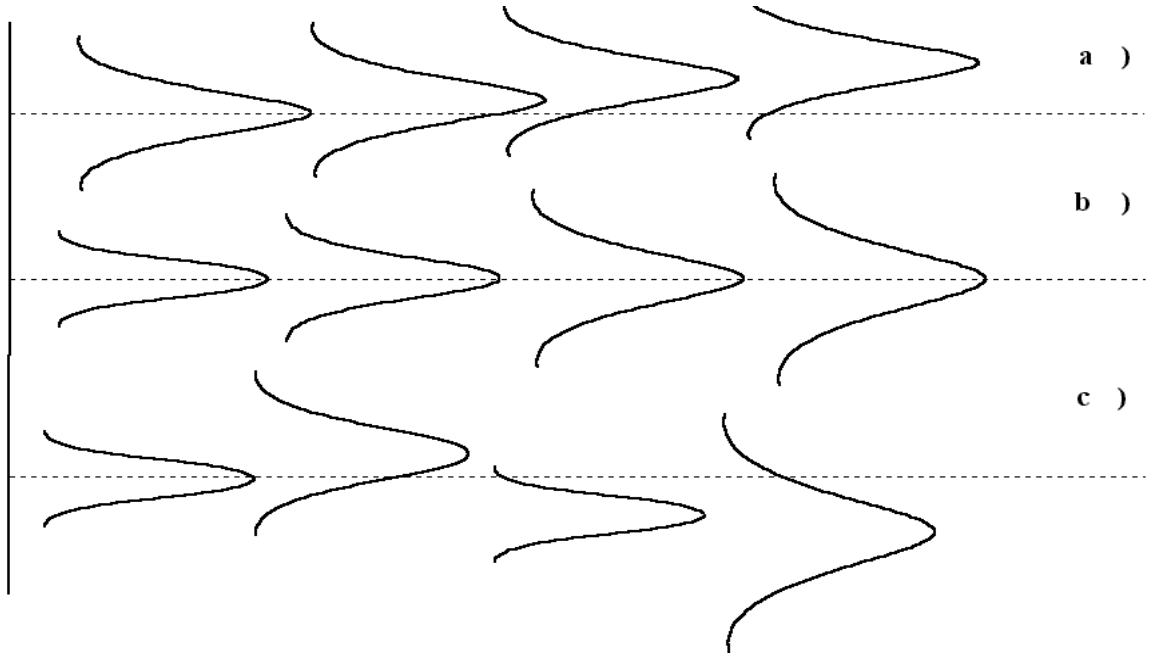
Linie centralne i kontrolne, oblicza się na podstawie pierwszych 20-30 próbek. Należy podkreślić konieczność regularnego przeliczania linii kontrolnych w miarę gromadzenia nowych danych (np. co miesiąc, co 100 pobranych próbek itp.).

Należy podkreślić, że **nie jest wskazane umieszczanie granic tolerancji na karcie** $\bar{x}$, ponieważ **tolerancja dotyczy wartości badanej cechy w poszczególnych jednostkach wyrobu a karta przedstawia wartości średnie tej cechy w próbkach** (średnia w próbce może wypaść w przedziale tolerancji, mimo że kilka egzemplarzy w tej próbce wykazuje wartość cechy przekraczającą granice tolerancji).

14.3. Analiza i interpretacja karty

Pracownik obsługujący nadzorowany proces pobiera w określonych odstępach czasu *n*-sztukowe próbki, mierzy wartości wybranej cechy (np. wymiaru) w każdej z *n* sztuk w próbce, oblicza dla każdej próbki średnią arytmetyczną $\bar{x}$ oraz rozstęp *R* i sukcesywnie nanosi te dwa parametry statystyczne na odpowiedni wykres (diagram) z naniesionymi z2-czonymi liniami kontrolnymi. Stosowanie karty kontrolnej jest jakby sukcesywnie powtarzanym testowaniem hipotezy statystycznej (dla karty $\bar{x}$-*R* są to testy dotyczące wartości średniej oraz rozstępu w populacji), czy parametry statystyczne przyjmują określoną wartość (odpowiadającą położeniu linii centralnej na torze np. $\bar{x}$ i *R*).

Celowość prowadzenia obu torów - średniej $\bar{x}$ i rozstępu *R* wyjaśnia rysunek 14.2.



Rys. 14.2 Uzasadnienie potrzeby monitorowania wartości średniej $\bar{x}$ i rozrzutu (rozstępu *R*) w procesie

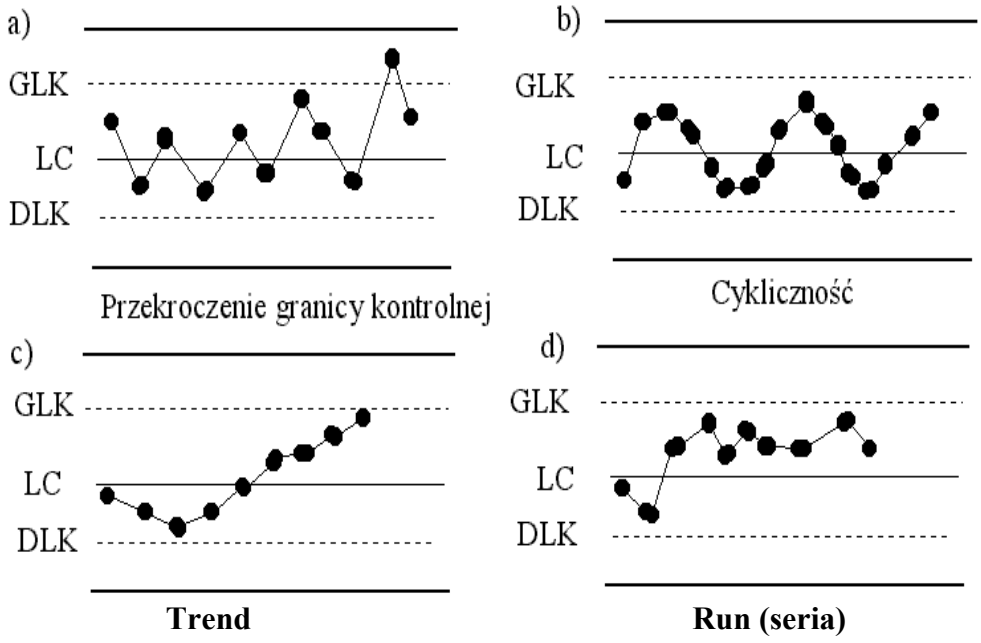
W sytuacji pokazanej na rys. 14.2a widać wyraźną zmianę wartości średniej analizowanego procesu. Nie występuje tu jednak zmiana rozrzutu. Dla takiego procesu, karta $\bar{x}$ wskazałaby prawdopodobnie na zaistniałą zmianę średniej (trend punktów), natomiast na torze R nie wystąpiłby żaden niepokojący układ punktów. Na rys. 14.2b sytuacja jest odwrotna - występuje wyraźna zmiana rozrzutu, która powinna być potwierdzona charakterystycznym układem punktów na karcie R, wskazującym na konieczność podjęcia odpowiednich działań, przy zachowaniu normalnego losowego ułożenia punktów na torze $\bar{x}$. W przypadku tym zastosowanie wyłącznie toru $\bar{x}$ do analizy procesu, spowodowałoby brak możliwości wykrycia istotnych zmian. Proces, którego model przedstawiono na rysunku 14.2c, wymaga stosowania zarówno toru $\bar{x}$ jak i R, gdyż występują w nim zmiany tendencji centralnej oraz rozrzutu.

W przypadku wykrycia charakterystycznych układów punktów na karcie należy wnioskować, że zmienność w analizowanym procesie nie jest prawdopodobnie wynikiem wyłącznie przyczyn losowych, ale także nielosowych, wyznaczalnych. **Taki proces uznaje się za niestabilny** w sensie statystycznym. Trzeba wówczas **zatrzymać proces, ustalić tę z2-sową przyczynę i podjąć działania korygujące zmierzające do jej usunięcia**. Należy

pamiętać, że proces uznaje się za opanowany (stabilny) tylko wówczas, gdy zarówno diagram wartości średnich $\bar{x}$, jak i rozrzutu (R) na to wskazują.

Najbardziej charakterystyczne układy punktów na kartach kontrolnych, **świadczące o występowaniu w procesie nielosowych przyczyn zmienności** to:

- **sygnał**- punkt poza liniami kontrolnymi – rys.14.3a,
- **cykliczność** – rys. 14.3b.
- **trend - 7 lub więcej kolejnych punktów**, wszystkich w układzie rosnącym lub malejącym – rys. 14.3c,
- **run - 7 lub więcej kolejnych punktów**, wszystkich powyżej lub poniżej linii centralnej – rys. 14.3d,



Rys. 14.3 Najczęściej spotykane dowody utraty stabilności procesu występujące na kartach kontrolnych

Przykładowymi przyczynami **trendu** mogą być :

na torze $\bar{x}$: - stopniowe zużywanie się sprzętu (narzędzi),
- zmęczenie operatora,
- nagromadzenie odpadów w miejscu obróbki,
- rosnąca (malejąca) temperatura otoczenia,

na torze R: - zmiana operatora,
- stopniowa zmiana własności materiału przerabianego w procesie,

Jako główne przyczyny **runów (serii)** przyjąć można:

na torze $\bar{x}$: - zmieszanie części przeznaczonych do montażu elementu,
- zmiana operatora lub maszyny,
- zmiana metody pomiarowej,
- zmiana parametrów procesu,

na torze R: - zmiana materiału,
- zmiana technologii,
- zmiana operatora.

Przyczyny powodujące występowanie **cykliczności** to:

na torze $\bar{x}$: - cykliczne zmiany warunków otoczenia (np. temperatury),
- zmęczenie operatora,

- regularne zmiany sprzętu, materiałów, operatora,
na torze *R*: - okresowe działania obsługi urządzeń,
- zmęczenie operatora,
- zużycie narzędzi (okresowa wymiana).

Jeśli diagramy z wartościami parametrów statystycznych próbek wykorzystanych do obliczenia linii kontrolnych, nie wykazują wskazanych wyżej charakterystycznych cech stanowiących dowody utraty stabilności, można wykorzystać zaprojektowane tory karty do dalszej bieżącej analizy procesu. W sytuacji wskazującej na występowanie przyczyn z2-sowych (sygnały, runy, trendy), konieczne jest wykrycie i wyeliminowanie tych przyczyn oraz **ponowne obliczenie linii kontrolnych, bez uwzględnienia próbek o parametrach nie mieszczących się w pierwotnych granicach**.

Gdy stwierdzi się, że proces jest stabilny (charakteryzuje się wyłącznie zmiennością losową, na diagramach nie ma charakterystycznego układu punktów), można określać jego zdolność jakościową przy pomocy odpowiednich wskaźników (por. ćw. 15). Należy podkreślić, że stwierdzenie statystycznej stabilności monitorowanego procesu nie oznacza, że wadliwość (zdolność jakościowa) tego procesu jest odpowiednia. Proces **może się bowiem charakteryzować zmiennością losową zbyt dużą w stosunku do stawianych wymagań**. Konieczne wówczas dla próbek wstępnych jest obliczenie współczynników zdolności jakościowej i w razie potrzeby, podjęcie odpowiednich działań korygujących (redukcja zmienności losowej).

Określenie zdolności jakościowej procesu analizowanego za pomocą karty $\bar{x}$-*R*, jest bardzo proste, bowiem na podstawie informacji zebranych w celu prowadzenia karty kontrolnej określić można wartość średnią oraz odchylenie standardowe w tym procesie. Oszacowaniem wartości średniej jest **średnia arytmetyczna wartości średnich** w próbkach (wartość odpowiadająca linii centralnej $\bar{\bar{x}}$ na torze $\bar{x}$). Odchylnie standardowe w procesie może być obliczone jako $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$; gdzie $\bar{R}$ – średni rozstęp, d_2 - współczynnik zależny od liczności *n* pobieranych próbek – przykładowo, dla *n*=3 d_2=1,693, dla *n*=4 d_2=2,059 a dla *n*=5 d_2=2,326.

14.4 Przebieg ćwiczenia

1) Dokonać pomiaru parametru wyrobu wskazanego przez prowadzącego, określoną metodą, we wszystkich *n* - sztukowych próbkach wyrobów.
2) Zapisać wyniki pomiarów poszczególnych sztuk w próbkach w formularzu wyników pomiarów.
3) Obliczyć wartości średnie $\bar{x}_i$ oraz rozstępy R_i w każdej próbce.
4) Na podstawie obliczonych wartości $\bar{x}_i$ oraz R_i przy wykorzystaniu podanych wzorów oraz tablicy 14.4 obliczyć linie centralne i kontrolne na torach $\bar{x}$ i *R*.
5) Nanieść na tak przygotowane tory kart $\bar{x}$ i *R* wartości parametrów dla poszczególnych próbek z formularza, tworząc diagramy $\bar{x}$ i *R*.
6) Dokonać interpretacji układu punktów na diagramach, wykorzystując podane wskazówki.
7) Sformułować wnioski i ewentualne zalecania doskonalące dotyczące procesu, z którego pochodzą badane próbki.

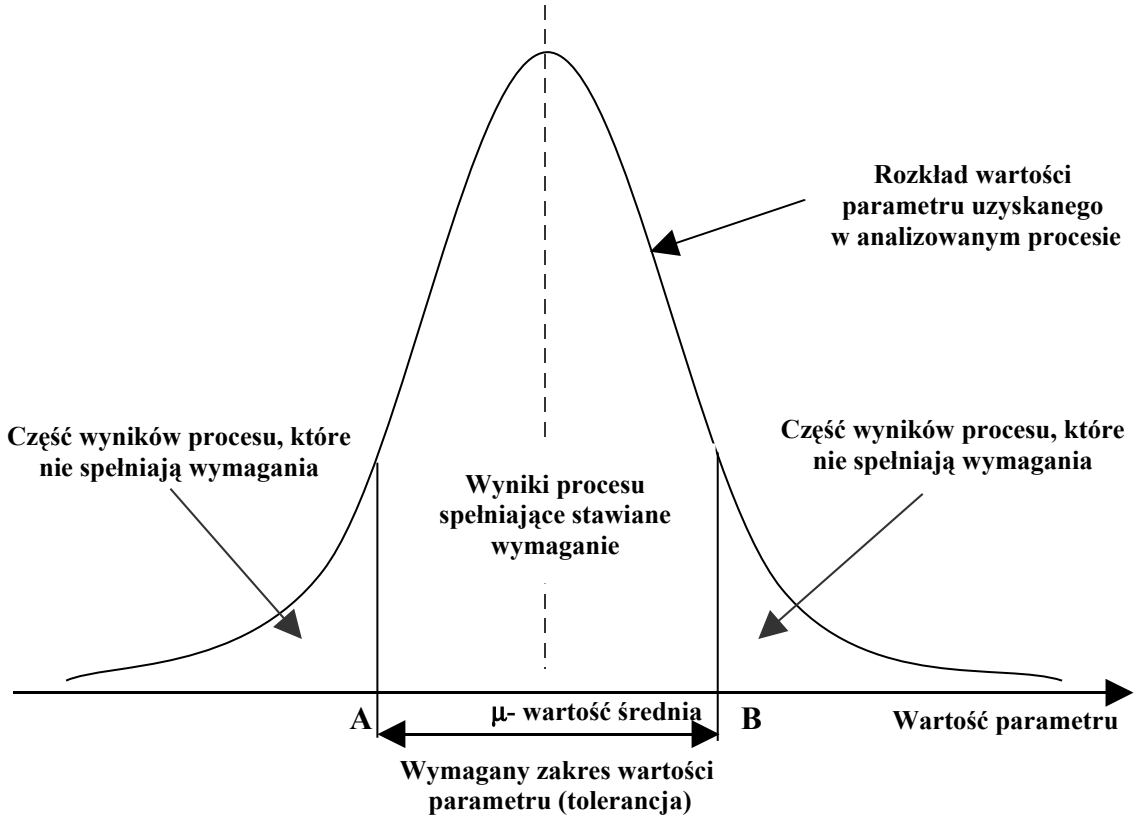
Ćwiczenie 15

BADANIE ZDOLNOŚCI JAKOŚCIOWEJ PROCESÓW

15.1. Zdolność jakościowa procesu

Analiza zdolności (zdatności) jakościowej procesów produkcyjnych lub realizacji usług ma na celu ustalenie stopnia wiarygodności przedsiębiorstwa jako dostawcy produktów o wymaganych parametrach. Daje ona również możliwość określenia, czy dany proces z2-wnia realizację stawianych przed nim celów jakościowych bez ryzyka poniesienia zbyt dużych strat jakościowych (braki, odrzuty, naprawy).

Badanie zdolności jakościowej procesu polega na **skojarzeniu rozkładu charakteryzującego rozrzut wyników procesu z tolerancją ustaloną dla parametru wyrobu/usługi**, uzyskiwanego w tym procesie (rys. 15.1). Znając parametry statystyczne rozkładu opisującego rezultaty danego procesu, tzn. ich odchylenie standardowe σ i wartość średnią μ, można dla ustalonej tolerancji (wymagań) badanego parametru produktu określić spodziewaną wadliwość procesu. Wadliwość procesu to część uzyskanych w tym procesie wyników (np. procent wytworzonych elementów), które nie spełniają wymagań, nie mieszcząc się w przewidzianej tolerancji. Miarą tej wadliwości (rys. 15.1) jest suma pól pod krzywą rozkładu wartości parametru uzyskanego w badanym procesie znajdujących się na lewo od dolnej granicy tolerancji *A* i na prawo od górnej granicy tolerancji *B*. Jeśli rozrzut badanego parametru w procesie, którego odzwierciedleniem jest „smukłość" krzywej rozkładu wartości, będzie niewielki, w stosunku do szerokości jego pola tolerancji, to można oczekiwać, że wadliwość takiego procesu będzie niewielka (wysoka zdolność jakościowa). Miarą rozrzutu rozkładu jest wspomniane odchylenie standardowe σ.



Rys. 15.1. Rozkład wartości parametru stanowiącego rezultat procesu jako podstawa oceny jego zdolności jakościowej

Podstawowymi wskaźnikami służącymi ocenie zdolności jakościowej procesu są wskaźniki potencjalnej i rzeczywistej zdolności jakościowej.

1) **Wskaźnik zdolności potencjalnej procesu C_p** (spotyka się również oznaczenie ***PCI*** *–ang. process capability index*) oblicza się według wzoru:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma}$$

gdzie: T – wielkość tolerancji dla analizowanego parametru,

σ - odchylenie standardowe badanego parametru uzyskane w badanym procesie.

Wskaźnik ten nie uwzględnia przesunięć wartości średniej względem środka pola tolerancji (wyśrodkowania), pokazując pośrednio, jakiego procentu braków można oczekiwać przy idealnym **wyśrodkowaniu** procesu (maszyny), tzn. **gdy wartość średnia analizowanego parametru pokrywa się ze środkiem pola tolerancji** .

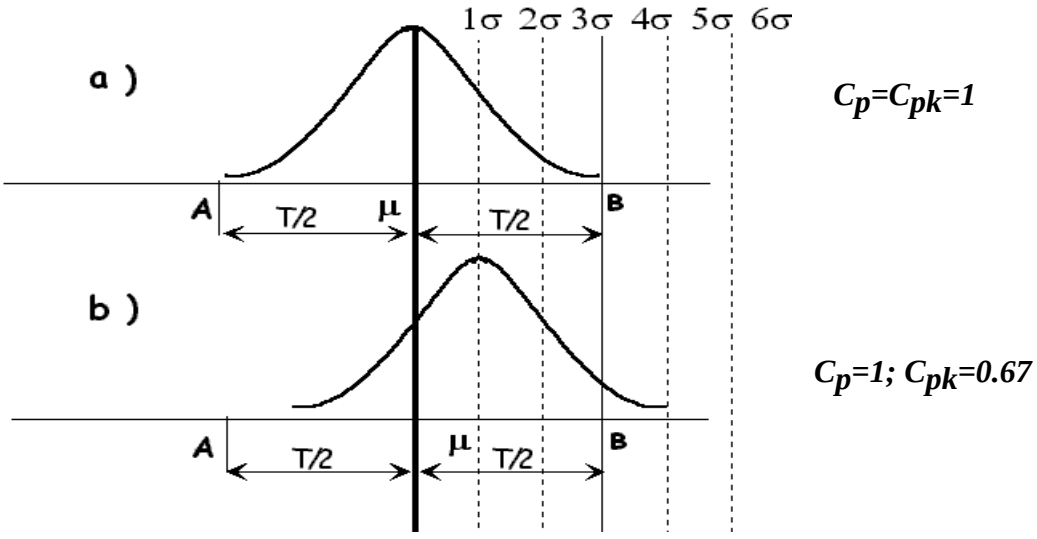
2) **Wskaźnik rzeczywistej zdolności C_{pk}** procesu:

$$C_{pk} = \min.\left(\frac{\mu - A}{3\sigma}; \frac{B - \mu}{3\sigma} \right)$$

gdzie: A, B - dolna i górna granica tolerancji rozpatrywanego parametru,

μ, σ - wartość średnia i odchylenie standardowe parametru.

Wskaźnik C_{pk} uwzględnia więc także błędy wyśrodkowania procesu. Mając obliczone wskaźniki C_p i C_{pk} dla tego samego procesu możemy stwierdzić, czy jest on prawidłowo (oba wskaźniki przyjmują tę samą wartość) czy nieprawidłowo ($Cpk<Cp$) wyśrodkowany. Oczywiście wartość współczynnika C_{pk} nigdy nie przekroczy wartości współczynnika C_p dla tego samego procesu. Na rysunku 15.2 przedstawiono rozkłady prawdopodobieństwa z2-wiadające dwóm procesom. W przypadku procesu a) oba wskaźniki zdolności jakościowej mają jednakową wartość, ponieważ wartość średnia tego procesu μ pokrywa się ze środkiem jego pola tolerancji - $\frac{A+B}{2}$. Dla procesu b), którego wartość średnia μ przesunięta jest, w stosunku do środka tolerancji, o wartość 1σ, wskaźnik C_{pk} ma mniejszą wartość równą 0.67, przy tej samej wartości C_p (oba procesy mają jednakowy rozrzut).



Rys.15.2 Wyjaśnienie zależności pomiędzy wskaźnikami zdolności jakościowej C_p i C_{pk}

Oba podane wzory na współczynniki dotyczą parametrów stanowiących zmienne losowe o rozkładzie normalnym (Gauss'a), czyli procesów, w których nie występują systematyczne przyczyny zmienności. W praktyce najczęściej zakłada się z góry, że rozkład badanej cechy jest normalny nie przewidując ewentualnych konsekwencji takiego założenia. z2-odność rozkładu rzeczywistego badanego parametru z rozkładem normalnym powoduje, że obliczone wskaźniki zdolności jakościowej nie odpowiadają rzeczywistości. Jednym ze z2-bów rozwiązania tego problemu jest przeanalizowanie przyczyn zmieniających charakter rozkładu danej cechy. Kiedy na wartość zmiennej losowej wpływa dodatkowo jedna lub więcej istotnych przyczyn systematycznych (np. zużycie narzędzia, wzrost temperatury otoczenia itp.), rozkład zmienia swój charakter. Należy wówczas wyeliminować przypuszczalne wyznaczalne przyczyny zmienności, ponownie przeprowadzić test zgodności rozkładu i w sytuacji, gdy potwierdzi on jego normalność, obliczyć wskaźniki zdolności jakościowej. Powszechną więc praktyką jest prowadzenie analizy zdolności jakościowej procesów równocześnie z analizą procesu przy pomocy kart kontrolnych cech mierzalnych (por. ćwiczenie 14).

15.2 Zdolność procesu a jego stabilność

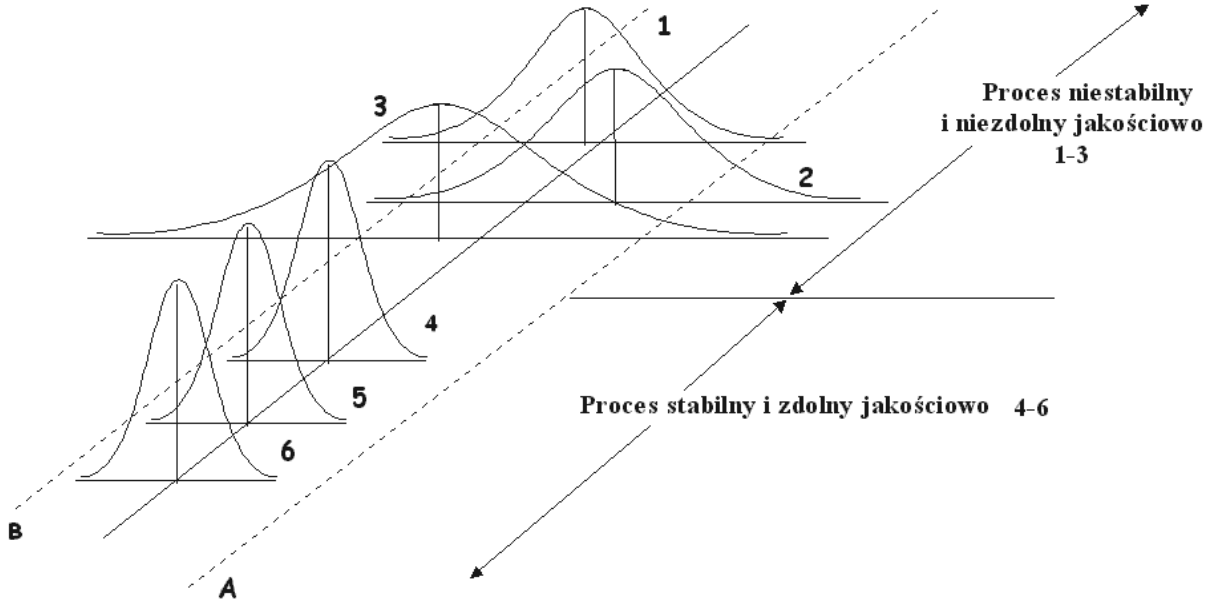
Stosowanie kart kontrolnych (ćwiczenie 14) umożliwia ustalenie czy dany proces jest ustabilizowany. Ustabilizowanie statystyczne i zdolność jakościowa danego procesu nie z2-ze idą w parze. W praktyce możliwe są następujące sytuacje charakteryzujące analizowane procesy:

1) Proces nieustabilizowany statystycznie (pod względem średniej lub rozrzutu) i z2-olny jakościowo (rysunek 15.3 - procesy 1,2 i 3). Konieczne jest dokonanie "przełomu" w procesie (zmniejszenie rozrzutu spowodowanego przyczynami losowymi) oraz wyeliminowanie przyczyn losowych. Niezbędne w stosunku do cech krytycznych może okazać się przejście na kontrolę pełną.

2) Proces nieustabilizowany statystycznie, ale zdolny jakościowo. Brak stabilności statystycznej sprawia, że obliczanie zdolności jakościowej jest bezcelowe. Należy wyeliminować nielosowe, istotne przyczyny zmienności. Konieczna może być kontrola pełna.

3) Proces jest ustabilizowany statystycznie, ale ma nieodpowiednią zdolność jakościową. Konieczne jest zmniejszenie rozrzutu spowodowane przyczynami z2-dkowymi (dokonanie "przełomu" w procesie).

4) Proces jest stabilny statystycznie i zdolny jakościowo (rys. 15.3 - procesy 4,5 i 6).



Rys. 15.3 Stabilność a zdolność jakościowa procesów

Z zasady im większa jest wartość wskaźników zdolności jakościowej procesu tym niższy poziom spodziewanej w tym procesie wadliwości. W tablicy 15.1 podano wybrane wartości wskaźnika C_p i odpowiadające im - wadliwość w % oraz wskaźnik *ppm* (parts per milion) - części (wadliwych) na milion sztuk, **przy założeniu, że wartość średnia w procesie pokrywa się ze środkiem przedziału tolerancji** - tj. $\mu = \frac{A+B}{2}$

Tablica 15.1

Współczynniki zdolności jakościowej i odpowiadające im wartości wskaźników wadliwości i ppm

C_p	Wadliwość w %	PPM
0.78	1	10 000
1.03	0.1	1000
1.24	0.01	100
1.33	0.003	32
1.42	0.001	10
1.58	0.0001	1

Rosnące wymagania stawiane dokładności procesów powodują, że proces uważany jest za zdatny jakościowo, gdy wskaźniki C_p i $C_{pk} \geq 1{,}33$ co odpowiada wymaganiu, by rozrzut w procesie był tak niewielki, że $T \geq 8\sigma$.

Istotnym zagadnieniem jest zależność pomiędzy współczynnikami zdolności jakościowej a częstością pobierania próbek w prowadzeniu kart kontrolnych. Im wyższe współczynniki zdolności jakościowej C_p i C_{pk} tym odstępy czasu pomiędzy kolejnymi prób-

kami mogą być większe. W tablicy 15.2 zestawiono dane sugerowane w przemyśle maszynowym.

Tablica 15.2

Sugerowane odstępy czasowe przy pobieraniu próbek

C_{pk}	**Odstęp czasu pomiędzy kolejnymi próbkami w [godz.]**
0.9-1.0	0,5
1.0-1.1	0,75
1.1-1.2	1
1.2-1.3	1,5
1.3-1.4	2

Wskaźniki zdolności jakościowej procesu stały się w ostatnich latach istotnym parametrem sterowania jakością. Dotyczy to zarówno ich wykorzystania w przedsiębiorstwie do diagnozowania poszczególnych faz procesu technologicznego, jak również w relacjach klient - dostawca.

15.1.2. Przebieg określenia wskaźników zdolności jakościowej

1) We wskazanej przez prowadzącego zbiorowości wyrobów zmierzyć wartość określonej cechy w poszczególnych sztukach próbki, przy użyciu odpowiednio dokładnych przyrządów pomiarowych.

2) Obliczyć wartości średniej i odchylenia standardowego danej cechy w próbce.

3) Obliczyć wartość współczynników zdolności jakościowej procesu C_p i C_{pk}.

4) Na podstawie wartości wskaźników ocenić proces, z którego pochodzą badane wyroby.

Ćwiczenie 16

ANALIZA POWTARZALNOŚCI I ODTWARZALNOŚCI POMIARÓW

16.1 Rola niepewności pomiarów w ocenie jakości wyników procesu

Wynik pomiaru jest zmienną losową. Różnice między poszczególnymi odczytami wartości mierzonego parametru mogą wynikać z przyczyn przypadkowych i systematycznych. Błędy przypadkowe i systematyczne w pomiarze występują łącznie i często są trudne do jednoznacznego rozdzielenia. Analiza błędów systematycznych jest stosunkowo skomplikowana, ponieważ wymaga indywidualnego traktowania każdego przypadku. Z kolei określanie błędów przypadkowych jest zagadnieniem schematycznym, wykorzystującym rachunek prawdopodobieństwa i statystykę matematyczną. Odchylenie standardowe charakteryzuje niepewność wyników pomiaru ze względu na błędy przypadkowe, informując o ich precyzji. Pojęcie niepewności zostało szerzej omówione w rozdziale Wiadomości wstępne.

Rozrzut σ (odchylenie standardowe) wartości otrzymanych z pomiarów wartości jakiegoś parametru będzie równy:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2_r + \sigma^2_m}$$

gdzie:

σ_r - rzeczywisty rozrzut parametru w procesie,

σ_m - rozrzut wynikający z błędu postępowania pomiarowego.

Gdy σ_m stanowi mniej niż 10 % σ_r, to wpływ jego na σ będzie mniejszy niż 1%.

J. Juran stwierdza, że praktyczna reguła, by przyrząd pozwalał odczytać 10 % wielkości tolerancji "... wydaje się w większości zastosowań zbyt ostrożna z ekonomicznego punktu widzenia". W przypadku, gdy ogólny wpływ σ_m na oceniane rozproszenie wyników jest duży, należy zbadać przyczyny tego zjawiska i starać się je wyeliminować (regulacja, wymiana przyrządów, zmiana metody pomiarowej).

Oceniając więc jakość wykonania pewnej populacji wyrobów, należy mieć na uwadze wpływ rozrzutu σ_m na uzyskany wynik i uwzględnić to przy ocenie zdolności procesu.

16.2 Powtarzalność i odtwarzalność pomiarów

Istotnymi pojęciami związanymi z metodami diagnozowania procesów są **powtarzalność i odtwarzalność** pomiaru.

Powtarzalność (ang. *repeatability)* to wg VIM stopień zgodności kolejnych wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w tych samych warunkach pomiarowych. **Warunki powtarzalności** obejmują:

- tę samą procedurę pomiarową,
- tego samego obserwatora,
- ten sam przyrząd pomiarowy stosowany w tych samych warunkach,
- to samo miejsce,
- powtarzanie w krótkich odstępach czasu.

Odtwarzalność (ang. *reproducibility)* wg słownika VIM to stopień zgodności wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonywanych w zmienionych warunkach pomiarowych. Warunki, które mogą podlegać zmianom to m.in. metoda pomiarowa, osoba wykonująca pomiar, przyrząd pomiarowy, wzorce, warunki otoczenia, czas.

Zmienność wynikającą z błędu metody pomiarowej σ_m można przypisać właśnie tym dwóm czynnikom – odtwarzalności σ_o i powtarzalności σ_p. Można to przedstawić przy pomocy wzoru:

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma^2_o + \sigma^2_p}$$

Celem eksperymentów dotyczących określenia powtarzalności i odtwarzalności jest podział zmienności pomiarów stosownie do:

- mierzonych elementów lub części (wariancja międzygrupowa),
- pomiarów operatora (odtwarzalność) i
- błędów pomiarów w ciągu kilkunastu pomiarów prowadzonych przez tego samego operatora dla tych samych części (powtarzalność).

16.3 Procedura określenia powtarzalności i odtwarzalności

Aby w prosty sposób określić σ_o i σ_p należy:

- powierzyć kilku (co najmniej 2) operatorom powtarzany kilkakrotnie pomiar pewnej wielkości w odpowiednio licznej próbie *n*-elementowej pobranej z populacji wyników,
- obliczyć wartości średnie $\overline{x_i}$ i rozstępy R_i poszczególnych wyników pomiaru każdego z mierzonych i-tych elementów *n*-elementowej próby przez każdego z operatorów (wynikające z kilkukrotnego pomiaru przez operatora danej wielkości w danym wyrobie),
- obliczyć wartości $\overline{\overline{x}}$ (średnią średnich) i $\overline{R}$ (średni rozstęp) dla każdego z operatorów, wartość średnią średnich rozstępów wynikającą z liczby operatorów $\overline{\overline{R}}$, określić największą $\overline{\overline{x}}_{\max}$ i najmniejszą $\overline{\overline{x}}_{\min}$ wartość średniej średnich wśród obliczonych dla poszczególnych operatorów.
- oszacować **odtwarzalność** σ_o, jako $\frac{\overline{\overline{x}}_{\max} - \overline{\overline{x}}_{\min}}{d_2}$ (wartość współczynnika d_2 można znaleźć w tabelach statystycznych, zależy ona od wielkości próby – w tym przypadku od liczby operatorów – np. gdy jest ich dwóch - $d_2 = 1{,}128$),
- oszacować **powtarzalność** σ_p, jako $\frac{\overline{\overline{R}}}{d_2}$ (uwaga: w tym przypadku wartość współczynnika d_2 zależeć będzie nie od liczby operatorów a od krotności/ liczby powtórzeń pomiaru danej wielkości w każdej sztuce przez danego operatora).

Na podstawie powyższych wyników oraz uwzględniając warunek stanowiący, że wartość $6\sigma_m$ nie powinna przekraczać 10% wielkości tolerancji (*T*) nałożonej na parametr będący przedmiotem pomiaru, można określić czy i ewentualnie, na jaki czynnik zmienności w systemie pomiarowym należy wpłynąć. Jeśli wpływ odtwarzalności σ_o na wartość σ_m jest dominujący, należy podjąć decyzje odnośnie do warunków, w jakich odbywają się pomiary (np. szkolenie operatorów, utrzymanie właściwych warunków otoczenia). Jeżeli natomiast dominuje wpływ czynnika powtarzalności σ_p – trzeba rozważyć zmianę/naprawę/ konserwację przyrządu pomiarowego.

16.4 Przebieg ćwiczenia

1) Dokonać pomiarów wskazanej przez prowadzącego wielkości, określoną metodą przez dwóch studentów (operatorów).
2) Wypełnić wynikami pomiarów tabelę zawartą w arkuszu sprawozdania.
3) Oszacować wartość powtarzalności σ_p i odtwarzalności σ_o, zgodnie z podaną wyżej procedurą.
4) Sformułować wnioski dotyczące procesu pomiaru.

LITERATURA

1) Adamczak St., Sender E.: Ćwiczenia laboratoryjne z podstaw metrologii. Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1996.
2) Białas S.: Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
3) Białas S.: Tolerancje geometryczne. PWN, 1986.
4) Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa, 2004.
5) Jezierski J.: Analiza tolerancji i niedokładności pomiarów w budowie maszyn. WNT, Warszawa, 1994.
6) Malinowski J., Jakubiec W.: Laboratorium metrologii wielkości geometrycznych. Wyd. Politechniki Łódzkiej, 1991.
7) Meller E., Meller A.: Ćwiczenia z analizy tolerancji. Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1995
8) Nowicki B.: Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni. WNT, 1991.
9) Praca zbiorowa (Ratajczyk E. i in.): Laboratorium pomiarów wielkości geometrycznych. Wyd. Politechniki Warszawskiej, 1980.
10) Praca zbiorowa, red. Humienny Z.: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Podręcznik europejski. WNT, 2004.
11) Praca zbiorowa: Mała encyklopedia metrologii. WNT, 1989.
12) Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1994.