

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

**Tadeusz Karpiński, Wojciech Kacalak
Czesław Łukianowicz, Tatiana Łukianowicz**

**Ćwiczenia laboratoryjne
z metrologii mechanicznej**

Koszalin 1997

SKRYPT WYDZIAŁU MECHANICZNEGO
do przedmiotów: Metrologia, Miernictwo i systemy pomiarowe

Opiniodawca:
prof. dr inż. Eugeniusz Ratajczyk
Redaktor naukowy WNT
Henryk Kunicki

Przewodniczący Uczelnianej Rady Wydawniczej
prof. dr hab. inż. Szymon Pałkowski

Skład komputerowy:
Krzysztof Maciejewski

Projekt okładki:
Tadeusz Walczak

W części ogólnej pracy omówiono warunki przeprowadzania pomiarów i ich wpływ na dokładność pomiaru, podano zasadnicze wiadomości z zakresu przygotowania i eksploatacji przyrządów pomiarowych oraz techniki wykonania pomiarów. W dalszej części, zawierającej ćwiczenia laboratoryjne, opisano i zalecono wykonanie następujących pomiarów: wymiarów zewnętrznych i wewnętrznych (liniowych i kątowych) przy zastosowaniu różnych metod i przyrządów, chropowatości, gwintów, uzębień, błędów kształtu i położenia, statystycznych, pomiarów cyfrowych i współrzędnościowych oraz podano sposoby sprawdzania przyrządów pomiarowych.

Książka jest skryptem uczelnianym dla studentów wyższych szkół technicznych wydziałów mechanicznych.

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Koszalińskiej

Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej
75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17

Koszalin 1997, wyd. 2 poprawione i uzupełnione, format B-5, ark. wyd. 10,3,
nakł. 400 + 75 egz. Druk: INTRO-DRUK Koszalin, ul. Przemysłowa 3B, tel./fax 416-027

Spis treści

Przedmowa do wydania I	5
Przedmowa do wydania II	6
Omówienie warunków przeprowadzania pomiarów i ich wpływu na dokładność pomiaru	7
Zasadnicze wiadomości z zakresu przygotowania i eksploatacji przyrządów pomiarowych	9
Zasadnicze wiadomości z techniki wykonywania pomiarów	12
1. Ćwiczenie laboratoryjne nr 1. Pomiary wymiarów zewnętrznych	15
2. Ćwiczenie laboratoryjne nr 2. Pomiary wymiarów wewnętrznych	23
3. Ćwiczenie laboratoryjne nr 3. Pomiary przy użyciu końcowych wzorców długości	31
4. Ćwiczenie laboratoryjne nr 4. Pomiary klinów i stożków	39
5. Ćwiczenie laboratoryjne nr 5. Pomiary kątów	51
6. Ćwiczenie laboratoryjne nr 6. Pomiary długości przyrządami z przekładnią mechaniczną i przyrządami dźwigniowo-optycznymi	59
7. Ćwiczenie laboratoryjne nr 7. Pomiary przy użyciu mikroskopów pomiarowych i projektorów	69
8. Ćwiczenie laboratoryjne nr 8. Pomiary długości przyrządami optycznymi	77
9. Ćwiczenie laboratoryjne nr 9. Pomiary długości przyrządami pneumatycznymi	86
10. Ćwiczenie laboratoryjne nr 10. Pomiary długości czujnikami elektrycznymi ..	93
11. Ćwiczenie laboratoryjne nr 11. Pomiary chropowatości powierzchni	100
12. Ćwiczenie laboratoryjne nr 12. Pomiary gwintów	115
13. Ćwiczenie laboratoryjne nr 13. Pomiary uzębień kół zębatach	125
14. Ćwiczenie laboratoryjne nr 14. Pomiary odchylek zarysu i współpracy kół zębatach	138
15. Ćwiczenie laboratoryjne nr 15. Pomiary błędów kształtu	147
16. Ćwiczenie laboratoryjne nr 16. Pomiary błędów położenia	161
17. Ćwiczenie laboratoryjne nr 17. Pomiary statystyczne	171
18. Ćwiczenie laboratoryjne nr 18. Sprawdzanie przyrządów pomiarowych	182
19. Ćwiczenie laboratoryjne nr 19. Pomiary długości za pomocą wysokościomierza elektronicznego	188
20. Ćwiczenie laboratoryjne nr 20. Pomiary współrzędnościowe	198
Tablica I. Graniczne dopuszczalne błędy wymiaru środkowego f_L i równoległości T_c powierzchni pomiarowych płytek wzorcowych wg PN-83/M-53101 ..	211
Tablica II. Znormalizowane wartości parametrów R_a , R_z i R_m wg PN-87/M-04251 oraz zastosowanie znaków chropowatości wg PN-89/M-01146	212

Tablica III. Odchyłki grubości zęba (górną i dolną)	212
Tablica IV. Tolerancje prostoliniowości i płaskości (wyciąg z PN-80/M-02138) ..	213
Tablica V. Tolerancje okrągłości, walcowości i zarysu przekroju wzdłużnego powierzchni walcowej (wyciąg z PN-80/M-02138)	213
Tablica VI. Tolerancje równoległości, prostokątności, nachylenia, bicia osiowego i bicia osiowego całkowitego (wyciąg z PN-80/M-02138)	214
Tablica VII. Tolerancje współosiowości, współśrodkowości, symetrii, przecinania się osi oraz bicia promieniowego i bicia promieniowego całkowitego (wyciąg z PN-80/M-02138)	214
Tablica VIII. Wartości tolerancji kształtu, położenia oraz tolerancji złożonych położenia i kształtu wg PN-78/M-02137	214
Tablica IX. Wartości funkcji Gaussa	215
Tablica X. Wartości funkcji Laplace'a	216
Tablica XI. Wysokość i cięciwa pomiarowa zęba normalnego zerowego dla $m = 1$	217
Tablica XII. Wartości pomiarowe grubości zęba przez n zębów, $\alpha = 20^\circ$, $m = 1$, $x = 0$	217
Tablica XIII. Graniczne błędy dopuszczalne Δa grubości a części roboczej płytek szczelinomierzy wg PN-75/M-53390	218
Tablica XIV. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 1	219
Tablica XV. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 2	220
Tablica XVI. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 3	221
Tablica XVII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 4	222
Tablica XVIII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 5	223
Tablica XIX. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 6	224
Tablica XX. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 7	225
Tablica XXI. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 8	226
Tablica XXII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 9	227
Tablica XXIII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 10	228
Tablica XXIV. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 11	229
Tablica XXV. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 12	230
Tablica XXVI. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 13	231
Tablica XXVII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 14	232
Tablica XXVIII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 15	233
Tablica XXIX. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 16	234
Tablica XXX. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 17	235
Tablica XXXI. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 18	236
Tablica XXXII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 19	239
Tablica XXXIII. Karta pomiarów, ćwiczenie nr 20	240
Literatura	241

Przedmowa do wydania I

Skrypt ten jest pracą opartą na wieloletnim doświadczeniu pedagogicznym autorów, uzyskanym podczas prowadzenia zajęć w wyższej szkole technicznej. Jest on przeznaczony dla studentów wszystkich szkół technicznych kursu magisterskiego (wg jednolitego systemu) i kursu inżynierskiego kierunków: mechanika i budowa maszyn, inżynieria produkcji.

Program jest dostosowany do studiów dziennych, wieczorowych i zaocznych wszystkich specjalności z wyjątkiem specjalności mechaniki precyzyjnej.

W skrypcie starano się przede wszystkim zachować układ problemowy. Podanie na wstępie każdego ćwiczenia wiadomości teoretycznych ma na celu utrwalenie i rozszerzenie wiadomości uzyskanych podczas słuchania wykładów z „metrologii technicznej” lub „pomiarów warsztatowych”. Urządzenia pomiarowe starano się dobrać typowe, takie jakie znajdują się w każdej wyższej szkole technicznej.

Ćwiczenia laboratoryjne usystematyzowano wg stopnia trudności. Zakres materiału każdego ćwiczenia dobrano tak, aby był on zgodny z aktualnym planem studiów, a jednocześnie aby umożliwiał różnie wyposażonym szkołom pewną swobodę w doborze ćwiczeń. Każde ćwiczenie zawiera ponadto opis przebiegu postępowania oraz wytyczne do sporządzenia sprawozdania, jakie student powinien wykonać w celu utrwalenia nabytych wiadomości.

Na końcu skryptu podano tablice i tabele pomiarowe. Wzory tablic może każda uczelnia wydrukować i wydać studentom. W ten sposób ulega znacznemu ograniczeniu pracochłonność opracowania sprawozdania przy zapewnieniu właściwych wymagań merytorycznych.

Skrypt może stanowić pomoc także dla osób pracujących w zakładowych laboratoriach kontroli jakości (szczególnie izbach pomiarów).

T. Karpiński

Przedmowa do wydania II

Skrypt „*Ćwiczenia laboratoryjne z metrologii mechanicznej*” po raz pierwszy wydany został w 1976r. przez Wydawnictwo Naukowo-Techniczne w Warszawie.

Drugie wydanie skryptu przez Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej pozwoliło na wprowadzenie niezbędnych poprawek, oraz pewną modyfikację i unowocześnienie treści skryptu. Wprowadzone zostały również dwa nowe ćwiczenia laboratoryjne:

1. Pomiary długości za pomocą wysokościomierza elektronicznego,
2. Pomiary współrzędnościowe.

Zmodyfikowane zostały także karty pomiarów oraz tablice zawierające wymagania stawiane, zgodnie z normami, częściom maszyn. Pozwoli to wykorzystać skrypt do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu „*Miernictwo i systemy pomiarowe*”.

W drugim wydaniu starano się uzyskać większą jednolitość materiału pod względem nazewnictwa, stosowanej symboliki itp. Wprowadzając zmiany i poprawki w tekście skryptu dążono do poprawy komunikatywności tekstu, tak aby był on lepiej rozumiany przez studentów. Nie mniej autorzy będą wdzięczni tym wszystkim, którzy zechcą podzielić się swoimi uwagami i spostrzeżeniami zmierzającymi do udoskonalenia skryptu.

Tekst i rysunki drugiego wydania skryptu zostały przygotowane z wykorzystaniem edytorów Word v. 6.0 oraz Ami Pro v. 3.0. Autorzy są wdzięczni Panu Krzysztofowi Maciejewskiemu za bardzo staranne przygotowanie rysunków oraz za włożenie wielkiego wysiłku w przygotowanie składu komputerowego skryptu.

T. Karpiński

Omówienie warunków przeprowadzania pomiarów i ich wpływu na dokładność pomiaru

Pomiary w technice mogą być wykonywane w bardzo różnych warunkach. W związku z tym należy rozróżniać *produkcyjne (warsztatowe)* i *laboratoryjne warunki wykonywania pomiarów*. Warunki te mają bardzo duży wpływ nie tylko na dokładność pomiaru, ale również na trwałość przyrządów pomiarowych.

W zakresie wpływu warunków przeprowadzania pomiaru na dokładność pomiaru należy rozróżnić:

- wpływ czynników niezależnych od stanu psychicznego, zdrowotnego i kwalifikacji, człowieka wykonującego pomiar,
- wpływ samego człowieka wykonującego pomiar.

Do czynników niezależnych od stanu psychicznego, zdrowotnego i kwalifikacji człowieka wykonującego pomiar należy m. in.:

- temperatura (przedmiotu mierzonego, przyrządu pomiarowego i otoczenia),
- wilgotność i ciśnienie powietrza,
- czystość (przyrządu pomiarowego, rąk i ubrania człowieka oraz elementów otoczenia),
- wstrząsy i drgania,
- inne czynniki szczególne (np. pole magnetyczne itp.).

Wpływ wymienionych wyżej czynników jest zależny od zasady działania przyrządów pomiarowych.

Wpływ temperatury na dokładność pomiaru przyrządów pomiarowych jest wywołany różną rozszerzalnością cieplną materiałów, z których wykonano przyrządy pomiarowe i przedmiot mierzony. Pomiar, aby był wykonany właściwie, powinien być wykonany w temperaturze odniesienia, w której przyrząd był wzorcowany, albo też w innej temperaturze, lecz z uwzględnieniem znaku i wartości błędu,

wynikającego z różnicy temperatury pomiaru i temperatury wzorcowania. Określenie zaś tego błędu nie zawsze jest proste i możliwe.

Wpływ wilgotności i ciśnienia powietrza ma znaczenie w przypadku pomiarów z dużą dokładnością (np. pomiary interferencyjne) oraz pomiarów wykonywanych przy użyciu przyrządów pneumatycznych.

Wpływ czystości przyrządów, rąk i ubrania człowieka oraz pomieszczenia, w którym odbywają się pomiary, jest szczególnie duży. Zanieczyszczenia - w postaci kurzu, pyłu, warstw tłuszczu - zmieniają nie tylko własności poszczególnych zespołów przyrządu, powodując w sumie zmianę wskazań, ale i zmniejszają czasem w znacznym stopniu trwałość przyrządu.

Wpływ wstrząsów i drgań na dokładność pomiaru uwidacznia się w postaci drgań elementów wskazujących przyrządów i zmian tarcia w elementach ruchowych tych przyrządów.

Do czynników zależnych od człowieka należą: jego stan psychiczny i zdrowotny, kwalifikacje i uzdolnienia. Czystość i estetyka wnętrza (kolorystyka) oraz cisza mają również bardzo istotny wpływ na samopoczucie człowieka.

Jak z powyższego, bardzo skróconego, przeglądu wynika, najmniej dokładnych pomiarów należy oczekiwać w warunkach produkcyjnych. Praktyka na ogół potwierdza tę tezę. W tych warunkach są najczęściej stosowane tylko przyrządy pomiarowe mniej dokładne i bardziej odporne na wstrząsy, uderzenia oraz zanieczyszczenia. Pomimo to organizacja stanowiska roboczego i kultura pracownika powinny być takie, aby zapewniały z jednej strony niezbędną dokładność pomiaru, a z drugiej strony - niezbędną trwałość przyrządów pomiarowych.

W przypadku pomiarów laboratoryjnych należy je przeprowadzić zgodnie z przepisami Głównego Urzędu Miar (GUM).

Przepisy te dotyczą lokalizacji pomieszczeń, oświetlenia, temperatury, wilgotności powietrza i innych niezbędnych uwarunkowań mających na celu ochronę laboratorium przed szkodliwymi wpływami

zewnątrznymi (hałas, wibracje, pola elektromagnetyczne itd.). Obejmują one także szczegółowy tryb postępowania podczas pomiarów.

Również w warunkach pracy laboratoryjnej zagadnienie właściwej organizacji stanowiska pomiarowego ma bardzo istotny wpływ na dokładność i sprawność wykonania pomiarów.

Zasadnicze wiadomości z zakresu przygotowania i eksploatacji przyrządów pomiarowych

Przyrządy pomiarowe i mierzone przedmioty mają ze względu na ochronę przed korozją zakonserwowane powierzchnie. Przed przystąpieniem do pomiarów należy więc odpowiednio przygotować zarówno przedmiot, jak i przyrządy pomiarowe. Do przygotowania zalicza się:

- a) Usunięcie z przedmiotu środków konserwujących oraz zanieczyszczeń. Usuwanie tych środków odbywa się za pomocą ściereczek (w przypadku dużej ilości środka konserwującego), a następnie przez wstępne i dokładne przemycie benzyną lakową. Czynności mycia należy wykonywać na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku. Przedmioty po myciu odkładamy do wyschnięcia, a następnie mierzone powierzchnie przecieramy miękką irchą.
- b) Odmagnesowanie przedmiotów, które w czasie wykonania mogły ulec namagnesowaniu. Jest to niezbędne ze względu na potrzebę ochrony przyrządu pomiarowego (namagnesowanie przyrządu powoduje łatwe przyleganie do niego metalowych cząstek).
- c) Doprowadzenie temperatury przedmiotu do temperatury panującej w laboratorium pomiarowym (temperatura 20°C jest przyjęta za temperaturę odniesienia). Czas niezbędny do doprowadzenia temperatury przedmiotu do temperatury

odniesienia wynosi od 30 min do kilku godzin, w zależności od masy przedmiotu i temperatury wyjściowej.

- d) Usunięcie z powierzchni pomiarowych i pomocniczych przyrządu pomiarowego środków konserwujących oraz ustawienie zespołów przyrządu w położeniu pracy. Usunięcie środków konserwujących odbywa się przy użyciu pędzelka (o bardzo miękkim włosiu) i czystej benzyny. Powierzchnie przemyte należy przetrzeć czystą miękką irchą. Oczyszczenie przyrządu ze środków konserwujących powinno nastąpić bezpośrednio przed pomiarem. Po pomiarze należy powierzchnie ponownie przemyć benzyną, i ponownie zakonserwować wazeliną bezkwasową.
- e) Przygotowanie stanowiska pomiarowego, tzn. zgrupowanie obok przyrządu pomiarowego niezbędnego wyposażenia, miejsca na notatki itd.

Zalecenia dotyczące właściwej eksploatacji przyrządów pomiarowych wynikają z konieczności zapewnienia wymaganej dokładności pomiarów i zabezpieczenia przyrządów przed uszkodzeniami, zniszczeniem czy też rozregulowaniem. Należy pamiętać o tym, że narzędzie pomiarowe uszkodzone (nawet lekko) może nie mieć tej samej dokładności, nawet po naprawie. Rozregulowanie zaś powoduje z kolei znaczne koszty wynikające z potrzeby sprowadzenia do naprawy serwisu wytwórcy. Nie można dopuścić do zniszczenia narzędzia pomiarowego. Staranność obsługi ma zasadnicze znaczenie w eksploatacji narzędzi pomiarowych.

Przy właściwej eksploatacji narzędzi pomiarowych należy spełnić poniższe zalecenia:

- a) Obsługa przyrządu powinna być zgodna z instrukcją. Każdy ruch obsługującego musi być przemyślany i celowy. Nie wolno w żadnym przypadku używać zbyt dużej siły.
- b) Należy okresowo kontrolować dokładność wskazań przyrządu i wykonywać jego niezbędną regulację. Należy pamiętać o tym, że w zasadzie nie wolno samemu regulować przyrządu, gdyż

do tego celu są potrzebne odpowiednie kwalifikacje i specjalne przyrządy co najmniej o klasę dokładniejsze.

- c) Przyrządy należy ciągle i bardzo starannie konserwować. Konserwacja ma na celu zabezpieczenie przyrządu przed korozją. Z tych względów przyrząd nawet nie używany przez pewien okres czasu musi być oczyszczony ze środków konserwujących i zakonserwowany na nowo. Szczególną uwagę należy zwrócić na elementy stykające się ze skórą obsługującego. Jeżeli wydziela ona bardzo aktywny pot, to obsługujący musi pracować w białych czystych rękawiczkach. Należy równocześnie pamiętać o tym, że wazeliną nie konserwuje się części optycznych przyrządu (zwierciadeł, soczewek itp.). Części te nie są konserwowane. W razie potrzeby przemywamy je jedynie watą zwilżoną lekko eterem. Przed przystąpieniem do tej czynności warto upewnić się czy w jej wyniku nie zostaną uszkodzone na skutek reakcji chemicznej warstwy nanoszone często na powierzchnie optyczne. W celu oczyszczenia z cząstek kurzu elementów optycznych zalecane jest przedmuchiwanie ich czystym sprężonym powietrzem. Przecieranie soczewek należy prowadzić wyjątkowo, zawsze przy użyciu miękkiego pędzla, uprzednio odtłuszczonego w eterze.

Do konserwacji przyrządów pomiarowych należy używać tylko materiałów (benzyny i wazeliny) nie zawierających domieszek, mogących sprzyjać korozji. Przed użyciem każdej nowej porcji tych materiałów należy wykonać sprawdzenie na specjalnie przygotowanych wypolerowanych uprzednio próbkach.

- d) Stanowisko pomiarowe powinno mieć prawidłową konstrukcję. Dla zabezpieczenia narzędzia przed uszkodzeniem, w razie upadku, niezbędne jest wyłożenie powierzchni stołu miękką płytą z tworzywa sztucznego lub tkaniną filcową. Brzegi stołu powinny być obite listwami z drewna dla zabezpieczenia przed zsunieniem się przedmiotu lub przyrządu pomiarowego ze stołu.

- e) W pobliżu przyrządu pomiarowego nie można używać źródeł ciepła. Takim źródłem często może być żarówka lampy stołowej dodatkowo zainstalowana w pobliżu przyrządu.
- f) Przyrządów pomiarowych całkowicie lub częściowo niesprawnych nie należy używać.
- g) Należy rozdzielić i oddzielnie przechowywać przyrządy pomiarowe używane w warsztacie produkcyjnym i przyrządy używane w laboratorium.

Zasadnicze wiadomości z techniki wykonywania pomiarów

Jednym z zasadniczych zagadnień, na które mierzący musi zwrócić szczególną uwagę, jest dobór przyrządów pomiarowych. Dobór ten jest uzależniony od rodzaju pomiaru, warunków wykonywania pomiaru i pola tolerancji mierzonego przedmiotu. Należy starać się zachować zasadę, aby stosunek maksymalnego błędu przyrządu do pola tolerancji mierzonego przedmiotu zawierał się w granicach $1/10 \div 1/5$.

Technika wykonywania pomiarów sprowadza się do takiego sposobu wykorzystania przyrządów pomiarowych, przy którym błędy pomiaru będą minimalne. Dla każdego przyrządu pomiarowego istnieje optymalna technika (sposób) pomiaru.

Wszystkie przyrządy pomiarowe można podzielić na następujące grupy, w przypadku których technika pomiarów jest podobna.

Grupa 1 - płytki wzorcowe.

Technika pomiarów przy użyciu płytek wzorcowych jest następująca:

- płytek wzorcowych używa się pojedynczo lub w stosie. Stos należy tworzyć z możliwie najmniejszej liczby płytek;
- płytki należy składać w stos przez ich nasuwanie przy użyciu ruchu krzyżowego (metoda krzyżowania) lub skrętnego

- (metoda skręcania). Przy nasuwaniu cienkich płytek należy używać specjalnego uchwytu ułatwiającego pracę;
- demontując stos nie należy płytek odrywać, lecz postępować w kolejności odwrotnej niż przy składaniu;
 - przy składaniu stosu cienkie płytki należy umieszczać między grubszymi (dla zabezpieczenia przed krzywieniem się płytek cieńszych);
 - dla ułatwienia pomiarów płytkami wzorcowymi stosuje się bardzo bogate dodatkowe wyposażenie w postaci uchwytów, podstaw itp.

Grupa 2 - przyrządy suwmiarkowe i mikrometryczne.

Technika pomiarów w tym przypadku sprowadza się do stosowania możliwie jednakowych nacisków pomiarowych, odpowiedniego ustawienia przyrządu względem przedmiotu i posiadania odpowiedniej wprawy w odczycie.

Grupa 3 - przyrządy czujnikowe.

Technika pomiarów tymi przyrządami sprowadza się głównie do: odpowiedniego ustawienia czujnika względem przedmiotu, wyboru właściwych końcówek pomiarowych, prowadzenia pomiaru w zakresie pomiarowym o najmniejszym błędzie (przy pomiarze różnicowym) oraz zachowania właściwego kąta obserwacji przy patrzeniu podczas odczytu na podziałkę i wskazówkę.

Grupa 4 - przyrządy laboratoryjne złożone.

Technikę pomiarów należy określić według wskazań producenta przyrządu. Jest ona głównie związana z zasadą budowy danego przyrządu.

Omawiając technikę wykonywania pomiarów nawet w tak dużym skrócie, nie można pominąć wpływu wprawy mierzącego oraz umiejętności wyboru i sposobu obsługi przyrządu na dokładność pomiaru. Ma to ogromne znaczenie szczególnie w przypadku pomiaru podstawowymi uniwersalnymi przyrządami pomiarowymi.

1

Ćwiczenie laboratoryjne nr 1. Pomiary wymiarów zewnętrznych

1. Cel ćwiczenia:

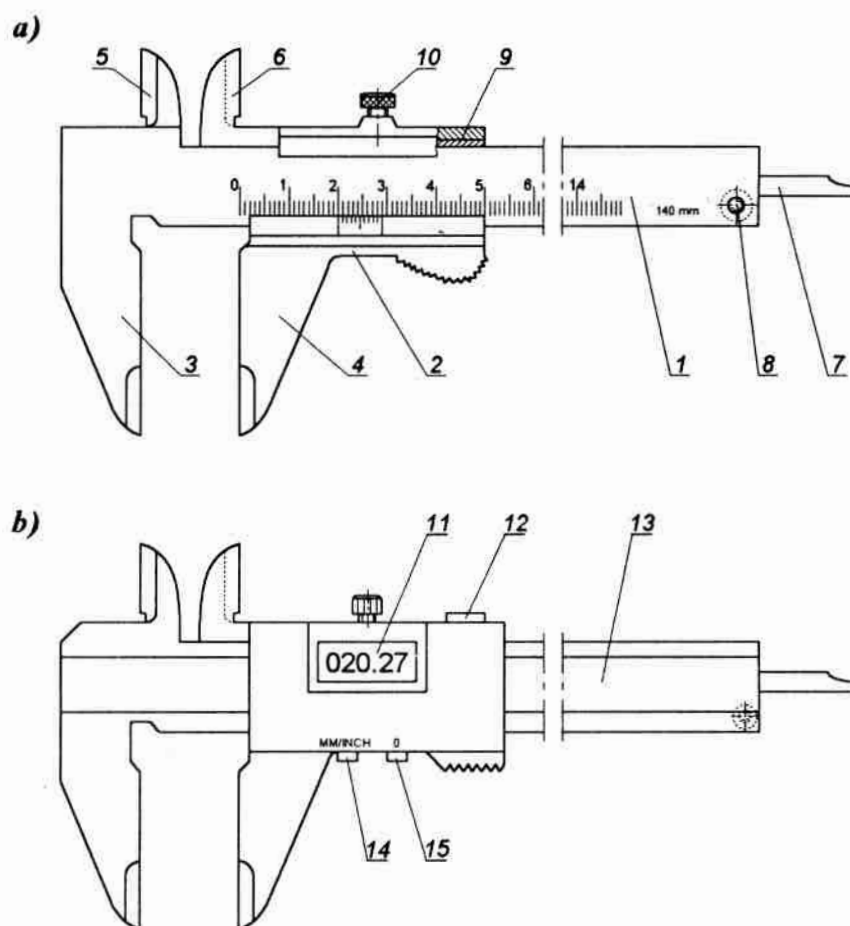
Zapoznanie studentów z prostymi przyrządami pomiarowymi (suwmiarki, mikrometry) oraz z techniką pomiarów tymi przyrządami.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Pomiary przyrządami suwmiarkowymi

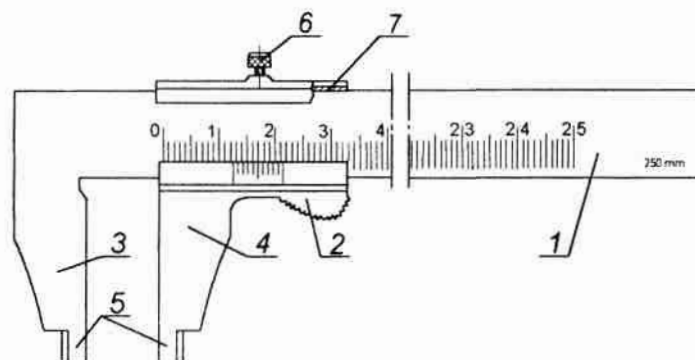
Przyrządy suwmiarkowe należą do najczęściej stosowanych przyrządów warsztatowych. Wynika to z prostej budowy oraz z tego, że bezpośredni pomiar długości przy użyciu suwmiarki jest prosty, szybki i wygodny. W suwmiarkach, przez zastosowanie dwóch szczęk pomiarowych (na prowadnicy połączonej ze szczęką stałą jest nacięty wzorec kreskowy, a na szczęce ruchomej jest nacięta dodatkowa podziałka zwana *noniuszem*), uzyskano łatwość odczytania długości danego elementu z dokładnością zależną od rodzaju noniusza, np. 0,1 mm; 0,05 mm; 0,02 mm. Specjalne ukształtowanie szczęk (po obu stronach prowadnicy z wzorcem kreskowym) umożliwia mierzenie wymiarów wewnętrznych, zewnętrznych i mieszanych. Na rys. 1 i 2 przedstawiono kilka typów najczęściej stosowanych suwmiarek, a na

rys. 3 podano zasadę odczytu wyniku pomiaru z noniusza. Zastosowanie noniusza w przyrządach suwmiarkowych zwiększa dokładność odczytania.



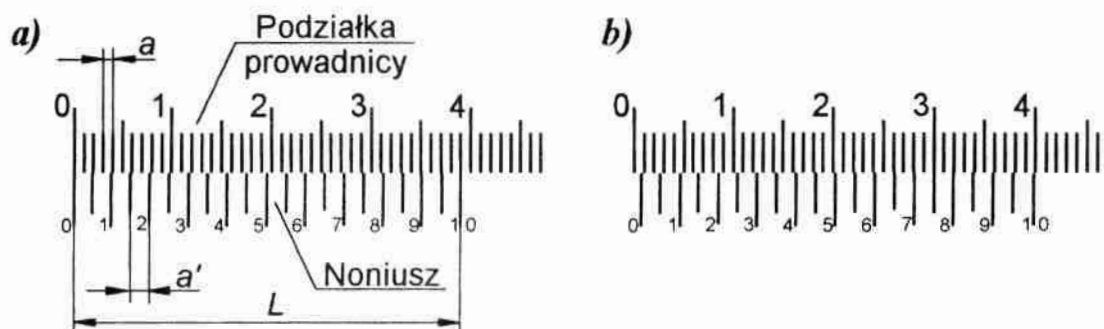
Rys. 1. Suwmiarka dwustronna z głębokościomierzem, wewnętrznymi szczękami krawędziowymi: a) zwykła z noniuszem 0,1 mm b) elektroniczna z działką elementarną 0,01 mm;

1 - prowadnica, 2 - suwak, 3 - zewnętrzna szczęka prowadnicy, 4 - zewnętrzna szczęka suwaka, 5 - wewnętrzna szczęka krawędziowa prowadnicy, 6 - wewnętrzna szczęka krawędziowa suwaka, 7 - wysuwka głębokościomierza, 8 - wkret, 9 - wkładka, 10 - śruba zaciskowa, 11 - wskaźnik cyfrowy, 12 - gniazdo drukarki, 13 - listwa z wzorcem inkrementalnym, 14 - przycisk zmiany wartości mm/cal, 15 - przycisk zerowania



Rys. 2. Suwmiarka jednostronna z noniusem 0,1 mm;

1 - prowadnica, 2 - suwak, 3 - szczeka prowadnicy, 4 - szczeka suwaka, 5 - walcowe końcówki szczęk, 6 - śruba zaciskowa, 7 - wkładka



Rys. 3. Noniusz liniowy: a) wielkości charakterystyczne, b) odczyt 0,75mm

Długość działki elementarnej noniusza a' określa równanie:

$$a' = \gamma a - i, \quad (1)$$

gdzie: a - długość działki elementarnej podziałki prowadnicy,
 γ - moduł noniusza,
 i - dokładność odczytania,

zaś liczba działek elementarnych noniusza n wynosi:

$$n = \frac{L}{a'}, \quad (2)$$

gdzie: L - długość noniusza.

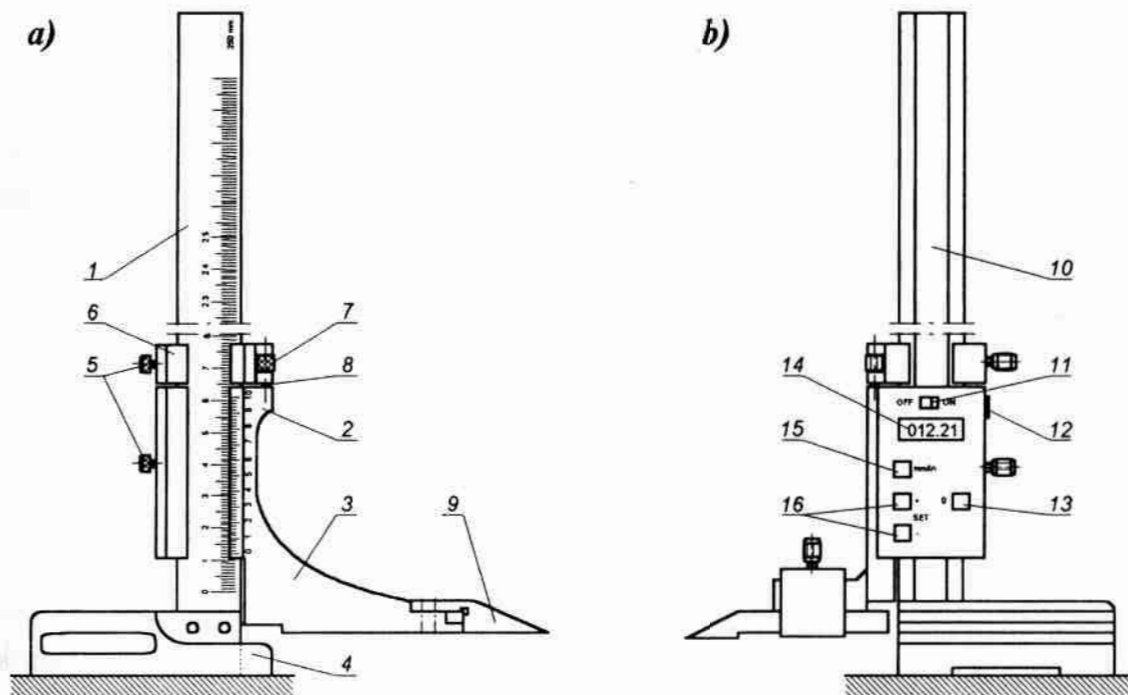
Dokładność odczytania i wyznaczona jest z równania:

$$i = \frac{a}{n} . \quad (3)$$

Sposób odczytywania wyników pomiaru na suwmiarce przedstawiono poniżej. Jest on identyczny dla podziałek milimetrowych i calowych. Odczyt wyniku otrzymanego z pomiaru suwmiarką dokonywany jest w następującej kolejności:

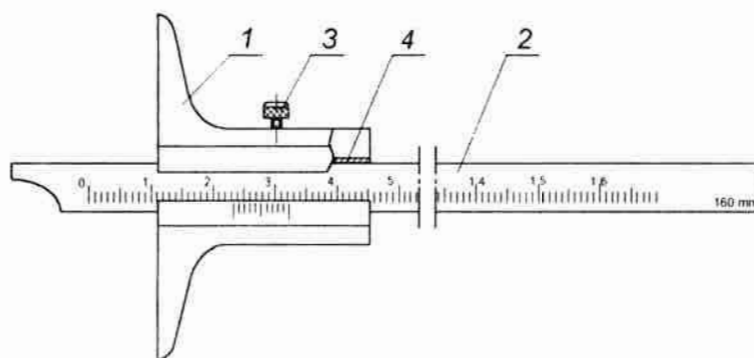
- ustalamy wartość a działki elementarnej podziałki prowadnicy;
- określamy liczbę k pełnych działek elementarnych prowadnicy, zawartych między zerową kreską podziałki prowadnicy i zerową kreską noniusza;
- obliczamy iloczyn $k \times a$;
- określamy liczbę n wszystkich działek elementarnych noniusza;
- obliczamy dokładność odczytania i , korzystając z równania (3);
- ustalamy numer m -tej kreski noniusza, która pokrywa się z dowolną kreską podziałki prowadnicy;
- obliczamy iloczyn $m \times i$;
- sumujemy obliczone wcześniej iloczyny $k \times a + m \times i$, otrzymując w ten sposób wynik pomiaru.

Na tej samej zasadzie co suwmiarki są zbudowane głębokościomierze i wysokościomierze suwmiarkowe. Na rys. 4a przedstawiono wysokościomierz suwmiarkowy z noniuszem o dokładności odczytu $i = 0,02$ mm, a na rys. 4b wysokościomierz z odczytem cyfrowym. Pomiar przedmiotów za pomocą wysokościomierza suwmiarkowego powinien odbywać się na płycie pomiarowej lub innej, starannie wykonanej powierzchni. Głębokościomierz suwmiarkowy służy do pomiaru wymiarów mieszanych (np. głębokości otworu, głębokości rowka wpustowego, odległości dwóch płaszczyzn równoległych). Na rys. 5 przedstawiono głębokościomierz suwmiarkowy o dokładności odczytu $i = 0,1$ mm.



Rys. 4. Wysokościomierz suwmiarkowy: a) z noniusem 0,02 mm, b) elektroniczny z działką elementarną 0,01 mm;

1 - prowadnica, 2 - suwak, 3 - szczęka suwaka, 4 - podstawa, 5 - śruby zaciskowe, 6 - suwak pomocniczy, 7 - nakrętka nastawna, 8 - śruba nastawcza, 9 - wymienna końcówka, 10 - listwa z wzorcem inkrementalnym, 11 - włącznik, 12 - gniazdo drukarki, 13 - przycisk zerowania, 14 - wskaźnik cyfrowy, 15 - przycisk zamiany mm/cal, 16 - przyciski zmiany wartości wskazań



Rys. 5. Głębokościomierz suwmiarkowy z noniusem 0,1 mm;

1 - poprzeczka, 2 - wysuwka, 3 - śruba zaciskowa, 4 - wkładka sprężynująca

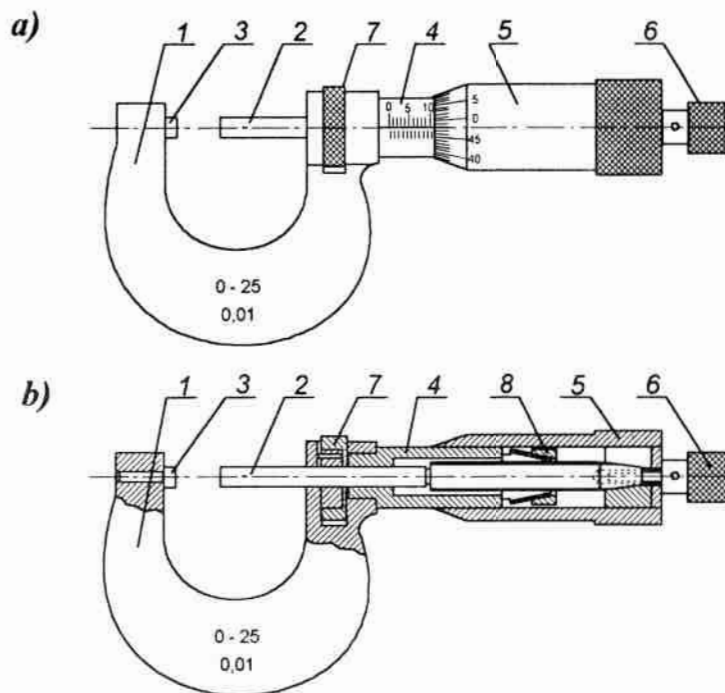
2.2. Pomiary przyrządami mikrometrycznymi

Przyrządy mikrometryczne podobnie jak suwmiarki, ze względu na prostą konstrukcję, łatwość obsługi i szybki pomiar znalazły powszechne zastosowanie. Zasada pomiaru *mikrometrem* polega na wykorzystaniu proporcjonalności przesunięcia liniowego śruby do kąta jej obrotu

$$l = \frac{\varphi P}{2\pi}, \quad (4)$$

gdzie: l - liniowe przesunięcie śruby mikrometrycznej,
 φ - kąt obrotu śruby,
 p - skok śruby.

Ponieważ śruba mikrometryczna ma najczęściej skok $p = 0,5$ mm, to pełny jej obrót powoduje przesunięcie l także równe 0,5 mm. Widok oraz przekrój mikrometru pokazano na rys. 6.

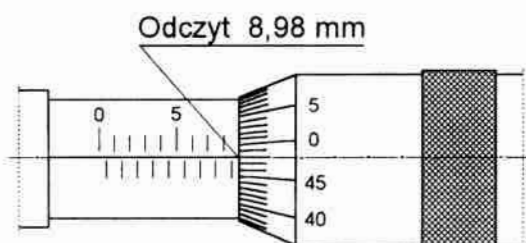


Rys. 6. Mikrometr zewnętrzny: a) widok, b) przekrój;

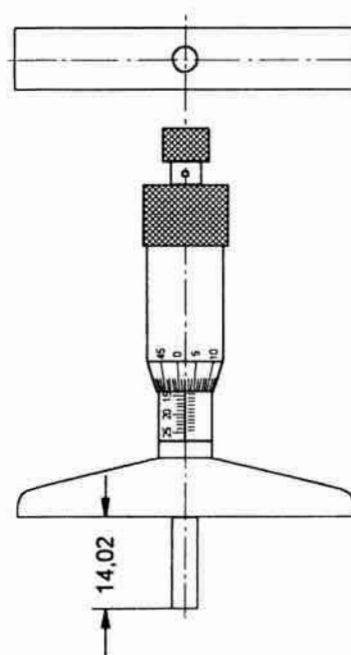
1 - kabłąk, 2 - wrzeciono ze śrubą mikrometryczną, 3 - kowadełko, 4 - tulejka z nakrętką, 5 - bęben, 6 - sprzęgło, 7 - zacisk, 8 - nakrętka do usuwania luzu między gwintem wrzeciona a tuleją

Przed użyciem mikrometru należy koniecznie sprawdzić jego wskazanie zerowe (kreska zerowa bębna powinna pokrywać się z przedłużeniem poziomej kreski tulei). Pomiar wykonuje się w ten sposób, że przedmiot umieszcza się między kowadełkiem a wrzecionem, następnie dosuwa się wrzeciono przez pokręcanie sprzęgiełkiem, aż do usłyszenia kilku trzasków. Odczyt stanowi sumę dwóch liczb. Pierwsza liczba jest iloczynem pełnych obrotów śruby i jej skoku. Druga liczba określa ilość setnych części milimetra według podziałki na bębnie. Ilustruje to rys. 7.

Głębokościomierz mikrometryczny przedstawiono na rys. 8. Służy on do pomiarów głębokości otworów (pomiar wymiaru mieszanego). Zbudowany jest on podobnie jak mikrometr. Sposób wykonania pomiaru tym przyrządem jest bardzo zbliżony do pomiaru mikrometrem.



Rys. 7. Sposób odczytu wyniku pomiaru na śrubie mikrometrycznej



Rys. 8. Widok ogólny głębokościomierza mikrometrycznego

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Wykonać pomiary średnic wałków i otworów (min. dwa każdą suwmiarką) przy użyciu suwmiarek o dokładności noniusza 0,1 mm, 0,05 mm, 0,02 mm. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Wykonać pomiary średnic i długości wałków (min. pięć) przy użyciu mikrometru. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Wykonać pomiar rozstawienia dwóch otworów skrzynki przy użyciu wysokościomierza suwmiarkowego i suwmiarki. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Wykonać pomiar głębokości otworu wielostopniowego przy użyciu głębokościomierza mikrometrycznego. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 4 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić kartę pomiarów, wnioski i uwagi dotyczące poznanych metod pomiaru wraz z rysunkami noniuszy narzędzi pomiarowych, którymi się posługiwano. W każdym zadaniu należy obliczyć dokładność, z jaką pomiar został wykonany.

2

Ćwiczenie laboratoryjne nr 2. Pomiary wymiarów wewnętrznych

1. Cel ćwiczenia:

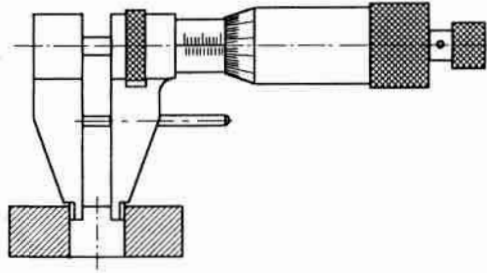
Zapoznanie studentów z prostymi przyrządami pomiarowymi stosowanymi przy pomiarach wymiarów wewnętrznych oraz z techniką pomiarów tymi przyrządami

2. Podstawy teoretyczne

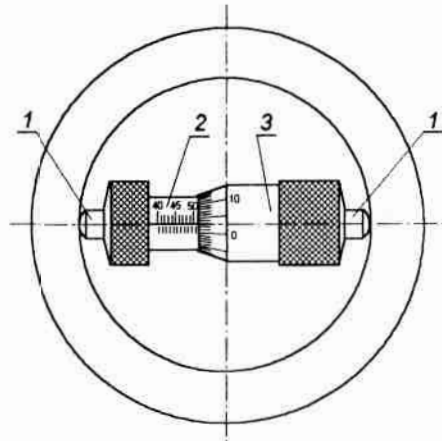
2.1. Pomiary przyrządami mikrometrycznymi

Do pomiarów średnic otworów można stosować *przyrządy mikrometryczne dwu- i trzystykowe*. Na rys. 9 przedstawiono zasadę pomiaru średnicy otworu *mikrometrem szczękowym*. Na rys. 10 przedstawiono zasadę pomiaru przy użyciu *średnicówki mikrometrycznej*. Mikrometry szczękowe służą do pomiaru średnic w granicach $5 \div 30$ mm i $30 \div 55$ mm. Otwory większe w granicach $30 \div 200$ mm mierzy się średnicówkami mikrometrycznymi stałymi, a otwory w granicach $75 \div 1075$ mm *średnicówkami składanymi*.

Należy pamiętać o tym, że ze względu na brak sprzęgieł w średnicówkach mikrometrycznych i możliwość ich skoszenia w otworze, szczególnie starannie należy ustawić przyrząd w otworze

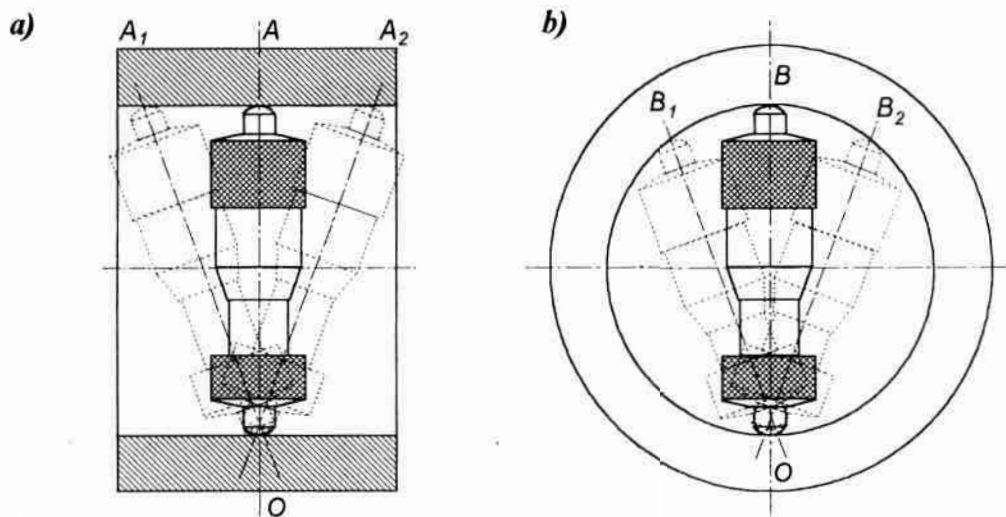


Rys. 9. Pomiar wymiaru wewnętrznego wewnętrznym mikrometrem szczękowym

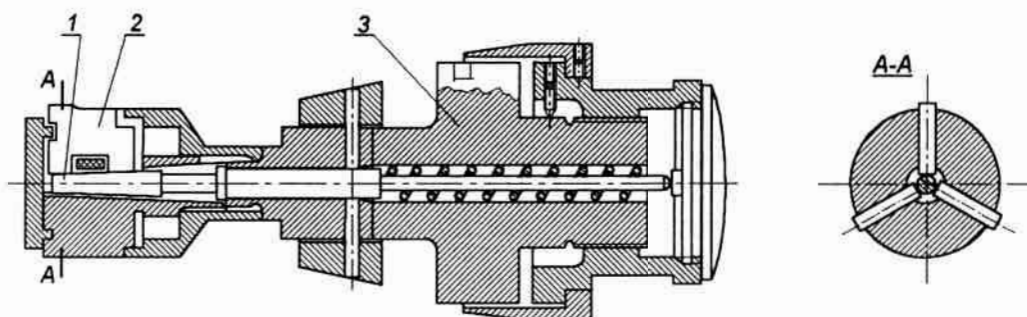


Rys. 10. Pomiar średnicy otworu za pomocą średnicówki mikrometrycznej;
1 - końcówki pomiarowe, 2 - tulejka z podziałką, 3 - bęben

i niezbyt mocno dociskać końcówki. Na rys. 11 przedstawiono właściwy sposób ustawienia przyrządu w otworze. Błędy nieprawidłowego ustawienia przyrządu można zmniejszyć przez wyszukiwanie wymiaru

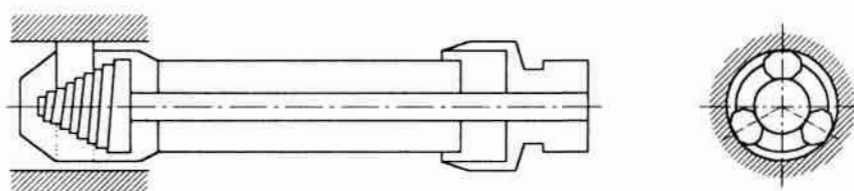


Rys. 11. Ustawienie średnicówki mikrometrycznej w otworze: a) w płaszczyźnie przechodzącej przez oś otworu, b) w płaszczyźnie prostopadłej do osi otworu



Rys. 12. Trzystykowa średnicówka mikrometryczna;

1 - trzpień stożkowy, 2 - płytki pomiarowa, 3 - głowica mikrometryczna

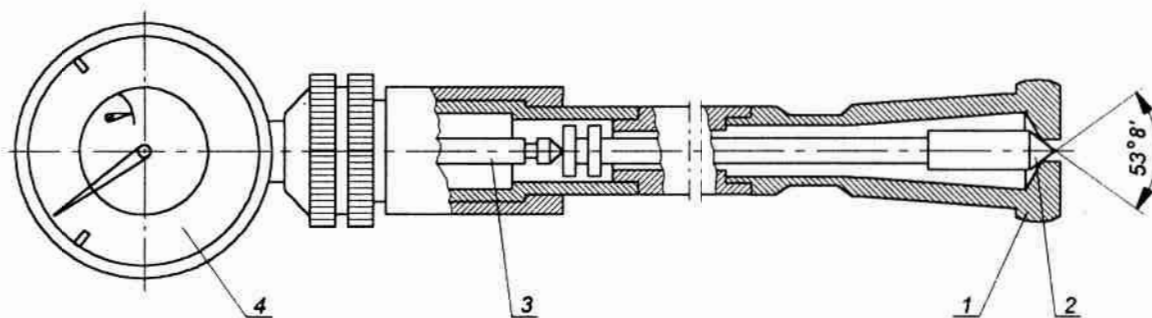


Rys. 13. Schemat trzystykowej średnicówki mikrometrycznej

najmniejszego (wymiaru leżącego w płaszczyźnie przechodzącej przez oś otworu) i wymiaru największego (wymiaru leżącego w płaszczyźnie prostopadłej do osi otworu). *Średnicówki mikrometryczne trzystykowe* odznaczają się mniejszymi błędami ustawienia, większym zakresem pomiarowym oraz większą dokładnością pomiaru. Na rys. 12 i 13 przedstawiono dwa typy tych średnicówek.

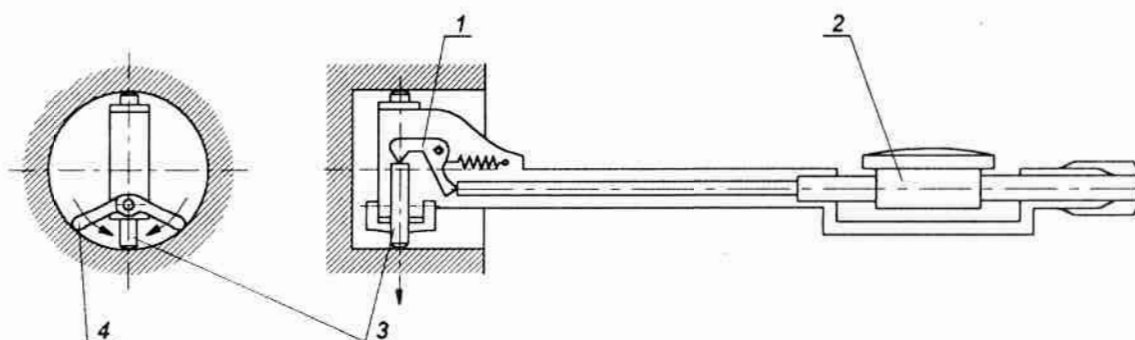
2.2. Średnicówki czujnikowe

Podobnie jak średnicówki mikrometryczne, *średnicówki czujnikowe* mogą być *dwu- i trzystykowe*. Zaletą *średnicówek dwustykowych* jest możliwość ustawienia przyrządu na wskazanie zerowe bez dodatkowego przyrządu, lecz jedynie przy użyciu płytek wzorcowych. Wadą jest możliwość nieprawidłowego ustawienia głowicy pomiarowej w osi mierzonego otworu. Wadę tę można usunąć



Rys. 14. Średnicówka czujnikowa dwustykowa;

1 - korpus, 2 - trzpień stożkowy rozpychający, 3 - końcówka pomiarowa czujnika, 4 - czujnik zegarowy

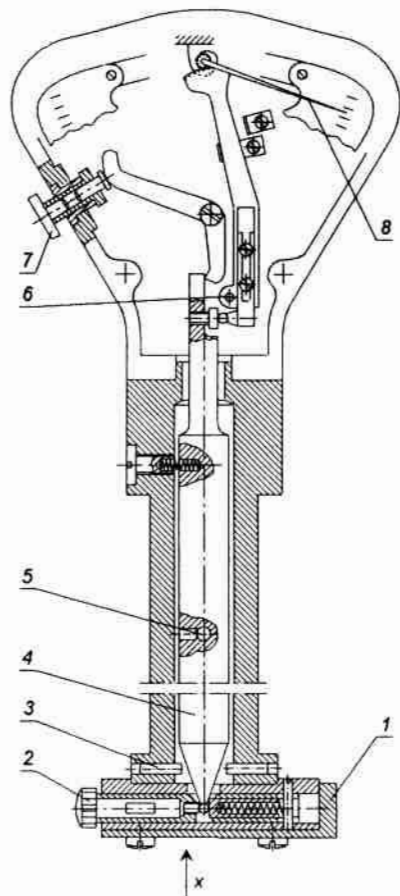


Rys. 15. Średnicówka czujnikowa dwustykowa;

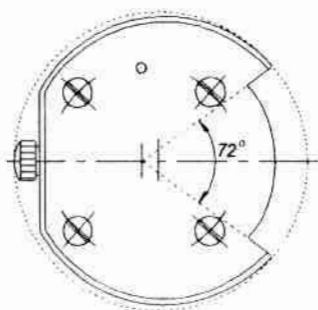
1 - dźwignia, 2 - czujnik zegarowy, 3 - końcówka pomiarowa, 4 - ramiona centrujące

lub zmniejszyć przez szukanie wymiaru minimalnego obracając przyrząd w płaszczyźnie przechodzącej przez oś.

Na rys. 14 przedstawiono *dwustykową średnicówkę czujnikową z ramionami rozprężnymi*. Ten typ średnicówki stosuje się do pomiaru otworów o średnicy do 20 mm. W korpusie 1 (którego zakończenia w kształcie kulek są rozcięte) umieszczono trzpień stożkowy rozpychający 2, z którym styka się końcówka 3 czujnika zegarowego 4.



Widok z kierunku x



Rys. 16. Średnicówka czujnikowa trzystykowa;

1 - stałe ramiona pomiarowe, 2 - trzpień pomiarowy, 3 - zderzak, 4 - dźwignia, 5 - łożysko I, 6 - łożysko II, 7 - przycisk, 8 - wskazówka

Na rys. 16 przedstawiono *czujnikową średnicówkę trzystykową*. Ma ona jedną końcówkę pomiarową ruchomą. Pozostałe dwa punkty styku z przedmiotem są punktami stałymi - stałymi ramionami 1.

Zaletą tej średnicówki jest możliwość wykrywania błędów graniastości otworów, czego nie można uzyskać przy stosowaniu średnicówek dwustykowych.

Pomiędzy trzpieniem 2 i końcówką 3 występuje naprężenie wstępne wywołane sprężyną dociskową czujnika.

Na rys. 15 przedstawiono dwustykową średnicówkę czujnikową do pomiaru otworów o średnicy większej niż 18 mm. Ten typ średnicówki jest najpowszechniej stosowany.

W korpusie średnicówki jest umieszczona ruchoma końcówka pomiarowa 3 i dźwignia 1. Dźwignia jest dociskana do końcówki sprężyną. Drugi koniec dźwigni 1 jest podparty trzpieniem stykającym się (bez luzu) z trzpieniem pomiarowym czujnika 2. Do korpusu średnicówki są przytwierdzone ramiona centrujące 4, mające za zadanie ustawienie końcówki pomiarowej w osi otworu.

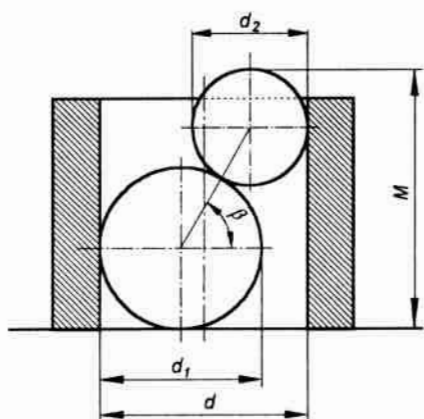
Należy pamiętać o tym, że ustawienie na wskazanie zerowe powinno się sprawdzać przed użyciem wszystkich średnicówek.

2.3. Pomiar przy użyciu kulek

Do pomiaru średnicy otworu przedmiotów można stosować również kulki. Zasadę pomiaru podano na rys. 17. Średnicę otworu oblicza się ze wzoru:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} + \sqrt{M(d_1 + d_2 - M)} , \quad (5)$$

gdzie: d - średnica mierzonego otworu,
 d_1, d_2 - średnice kulek pomiarowych,
 M - odległość pokazana na rys. 17.



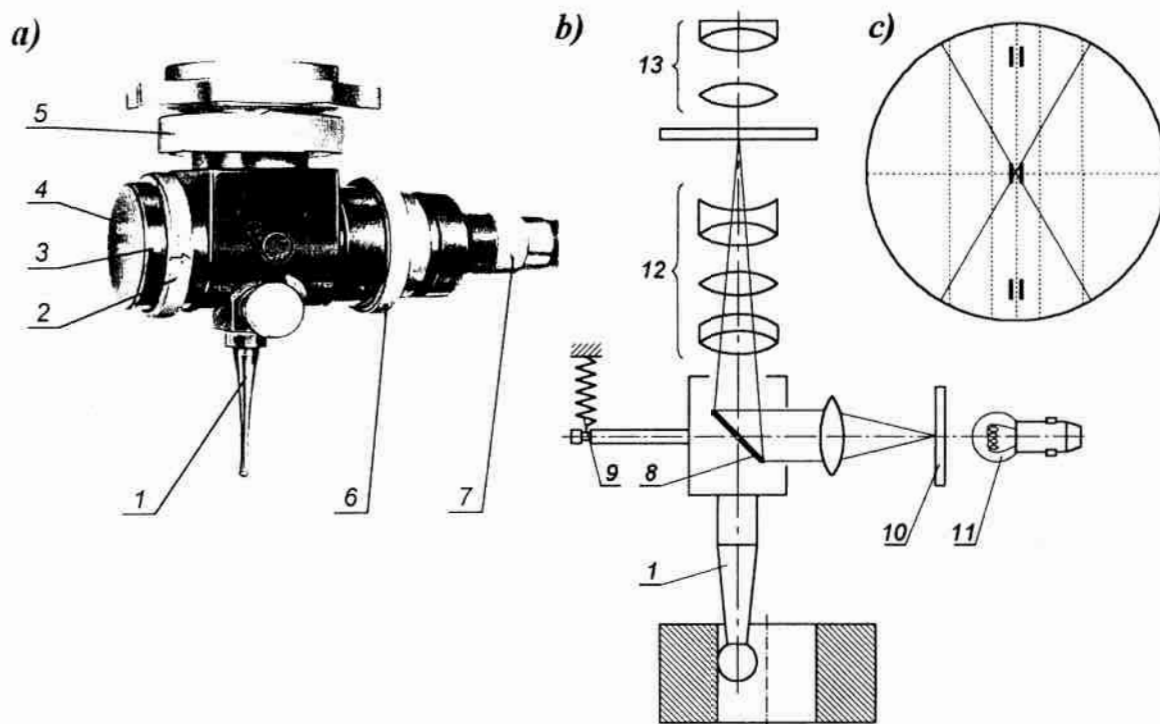
Rys. 17. Pomiar średnicy otworu za pomocą kulek pomiarowych

2.4. Pomiar na mikroskopie przy użyciu przystawki-czujnika

Wymiary wewnętrzne można mierzyć również na mikroskopie przy zastosowaniu dwóch metod:

- przy użyciu głowicy goniometrycznej,
- przy użyciu przystawki-czujnika.

Na rys. 18a, b, c przedstawiono widok i schemat przystawki-czujnika wykonanej przez firmę Carl Zeiss Jena oraz pole widzenia w okularze. Wszelkie wychylenia końcówki pomiarowej 1 odtwarza zwierciadło 8 przez zmianę kąta położenia. Sprężyna 9 ma za zadanie



Rys. 18. Czujnik optyczno-mechaniczny do stykowego mierzenia otworów na mikroskopie: a) czujnik zamocowany w tubusie mikroskopu, b) schemat układu optycznego czujnika, c) widok w okularze mikroskopu z zamocowanym czujnikiem;

1 - końcówka pomiarowa, 2 - pierścień zmiany kierunku nacisku pomiarowego, 3 - wskaźnik, 4 - pokrywa, 5 - pierścień mocujący, 6 - pierścień regulacji ostrości, 7 - oświetlacz, 8 - zwierciadło, 9 - sprężyna, 10 - płytki z kreskami, 11 - żarówka, 12 - układ optyczny obiektywu, 13 - układ optyczny okularu

dociśnięcie końcówki 1 do otworu. Na płytce 10 są nacięte trzy pary kresk, które w położeniu pionowym końcówki pomiarowej zajmują położenie zerowe (środkowe względem krzyża goniometrycznego), rys. 18c. Kończówka 1 ma w czasie pomiaru tylko jeden kierunek wychylenia. Dla zmiany kierunku wychylenia należy obrócić pierścień 2. Kierunek strzałki na pierścieniu 2 (naprzeciw punktu 3) będzie przeciwny do kierunku wymaganego przesuwu stolika mikroskopu. Sposób wykonania pomiaru jest następujący: przesuwać za pomocą śrub mikrometrycznych stolik mikroskopu, ustawić skrajne lewe położenie zerowe. Zanotować wskazania śruby mikrometrycznej znajdującej się na przedłużeniu linii pomiaru. Zmienić kierunek nacisku pomiarowego (pierścień 2). Pokręcając następnie śrubę mikrometryczną stolika

mikroskopu, należy przemieścić stolik do przeciwnej strony otworu, ustawiając też na wskazanie zerowe (środkowe). Różnica wskazań głowicy mikrometrycznej powiększona o średnicę kulki końcówki pomiarowej określa wielkość średnicy otworu mierzonego.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Wykonać pomiar średnicy min. trzech otworów przy użyciu suwmiarki. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Wykonać pomiar średnicy min. trzech otworów przy użyciu mikrometru szczękowego. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Wykonać pomiary średnic trzech różnej wielkości otworów przy użyciu średnicówki mikrometrycznej dwustykowej. Wyniki pomiarów odnotować w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Wykonać pomiar średnicy trzech otworów o różnej wielkości przy użyciu średnicówki mikrometrycznej trzypunktowej. Wyniki pomiarów należy wpisać do tabeli 4 karty pomiarów.

Zadanie 5

Wykonać pomiar średnicy trzech otworów przy użyciu średnicówki czujnikowej dwupunktowej. Wyniki pomiarów odnotować w tabeli 5 karty pomiarów.

Zadanie 6

Wykonać pomiar średnicy trzech otworów przy użyciu trzypunktowej średnicówki czujnikowej. Wyniki wpisać do tabeli 6.

Zadanie 7

Wykonać pomiar średnicy jednego otworu przy użyciu przystawki do mikroskopu firmy Carl Zeiss Jena. Wyniki wpisać do tabeli 7.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, należy zamieścić wnioski i uwagi dotyczące poznanych metod pomiaru oraz dokładności wykonania każdego pomiaru.

Ćwiczenie laboratoryjne nr 3. Pomiary przy użyciu końcowych wzorców długości

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z zasadami konserwacji i przechowywania końcowych wzorców długości oraz sposobami i techniką wykonywania pomiarów przy użyciu płytek wzorcowych, szczelinomierzy i kulek pomiarowych.

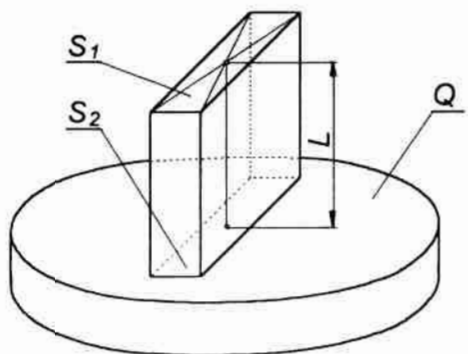
2. Podstawy teoretyczne

Wzorcami końcowymi długości nazywa się takie wzorce długości, w których ograniczeniami miary są skrajne powierzchnie lub krawędzie wzorca. Głównymi rodzajami wzorców końcowych długości są: płytki wzorcowe, wałeczki pomiarowe, kulki pomiarowe i szczelinomierze.

2.1. Płytki wzorcowe

Płytki wzorcowe są podstawowymi wzorcami długości. Mają one kształt prostopadłościanu o dwóch przeciwległych płaskich powierzchniach pomiarowych, dokładnie dotartych, ograniczających roboczy wymiar płytki. Na rys. 19 przedstawiono płytkę wzorcową, przywartą do płytki interferencyjnej. Płytki wzorcowe służą do sprawdzania, ustawiania i wzorcowania przyrządów pomiarowych, a także do

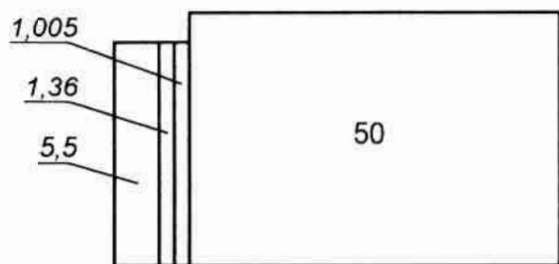
bezpośrednich pomiarów wymiarów wewnętrznych i zewnętrznych oraz do trasowania i kontroli *wzorców kreskowych*. Płytki, w zależności od dokładności, dzieli się na cztery klasy: 00, 0, 1 i 2.



Rys. 19. Płytki wzorcowa przywarta do płytki interferencyjnej Q;

S_1, S_2 - powierzchnie pomiarowe, L - wymiar środkowy; Q - powierzchnia płytki interferencyjnej

Płytki wzorcowe mają wiele zalet w porównaniu z innymi przyrządami pomiarowymi. Należą do nich: wysoka dokładność, prosty kształt, pewność, wygoda użytkowania, łatwość porównywania płytek o różnej dokładności i przywieralność. Ta ostatnia cecha płytek - przywieralność - jest jedną z ważniejszych zalet, ponieważ umożliwia łączenie płytek w stosy (rys. 20). Połączenie to następuje na skutek występowania między dwiema płytkami znacznych sił przyciągających, jeżeli płytki te nasuwamy na siebie powierzchniami pomiarowymi pod niewielkim naciskiem. W celu zwiększenia dokładności zestawionego stosu płytek należy dążyć do użycia minimalnej liczby płytek (maks. pięć). Komplet składający się np. ze 103 płytek (duży - symbol MLAc) umożliwia uzyskanie w zakresie wymiarów od 1 do 251,5 mm ponad 25000 różnych wymiarów przy jednoczesnym użyciu maksymalnie pięciu płytek.



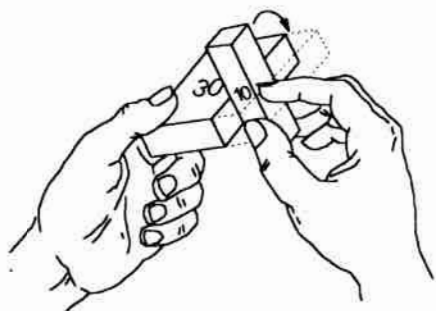
Rys. 20. Stos płytek wzorcowych

Oprócz wyżej wymienionego kompletu polskie normy przewidują jeszcze komplety: mały, typ MLAA - zawierający 47 płytek, średni MLAB - zawierający 76 płytek, duży rozszerzony MLAR - 112 płytek, uzupełniający mikronowy MLAD - 18 płytek, komplet uzupełniający małe wymiary MLAF - 18 płytek, uzupełniający setkowy MLAE - 10 płytek, uzupełniający mikronowo-setkowy MLAS - 38 płytek, komplety uzupełniające duże wymiary MLAG i MLAT - łącznie 13 płytek oraz komplet płytek ochronnych MLAM - 2 płytki. Dla rozszerzenia zakresu użytkowania płytek wzorcowych niezbędne są przybory pomocnicze, do których zaliczamy: uchwyty, różnego kształtu i wielkości wkładki, kły centrujące, kły kontrolne oraz podstawy. Sposób użycia płytek jest następujący:

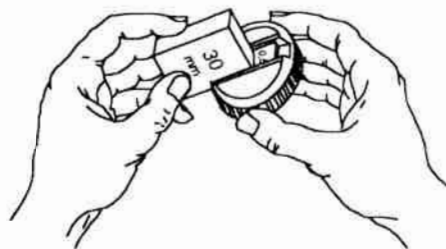
Pierwszą czynnością jaką należy wykonać przed przystąpieniem do pomiarów płytkami, jest ustalenie, jakie płytki wchodzi w stos o danej wstępnie ocenionej wysokości (wymiar przyjmuje się na podstawie rachunku lub pomiaru narzędziem pomiarowym o mniejszej dokładności, np. suwmiarką). Dopiero po wypisaniu płytek według podanego poniżej wzoru możemy wyjąć płytki z pojemnika.

$$\begin{array}{r}
 \underline{76,825 \text{ mm}} - \text{wymiar do ustawienia z płytek} \\
 1,005 \\
 1,320 \\
 4,500 \quad \text{stos} \\
 \underline{70,000} \\
 76,825 \text{ mm} - \text{wymiar stosu}
 \end{array}$$

Płytki należy ostrożnie wyjąć pęsetą z pojemnika oraz przemyć je czystą bezkwasową benzyną, używając do tego celu pędzelka o miękkim włosiu, a następnie ułożyć je na czystej flanelce. Po odparowaniu benzyny płytki należy wytrzeć irchą (szczególnie starannie powierzchnie pomiarowe). Tak przygotowane płytki zestawia się w stosy, unikając przez cały czas dotykania palcami powierzchni pomiarowych. Płytki można składać dwoma sposobami: poprzez krzyżowanie i przez nasuwanie (rys. 21 i 22).



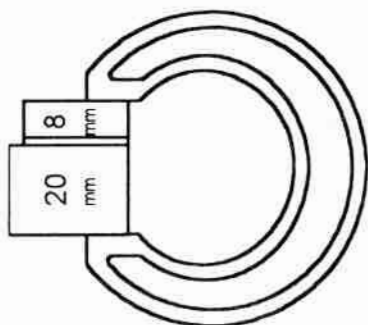
Rys. 21. Składanie stosu płytek wzorcowych przez krzyżowanie



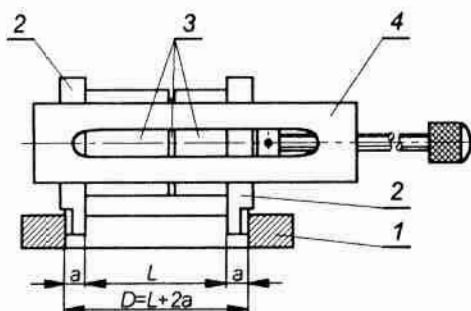
Rys. 22. Składanie stosu płytek przez nasuwanie

Przy składaniu dobrze jest umieścić cieńsze płytki między grubszymi, dając w miarę możliwości na końcach stosu płytki ochronne. Po skończonych pomiarach należy płytki ponownie przemyć benzyną, na mokro pokryć cienką warstwą wazeliny technicznej i umieścić je w przeznaczonym dla każdej płytki miejscu w pojemniku.

Sposoby wykonania pomiarów przy użyciu płytek wzorcowych pokazano na rys. 23 do 25. Na rys. 23 przedstawiono bezpośredni pomiar płytkami wzorcowymi strony przechodniej sprawdzianu szczękowego. Na rys. 24 i 25 przedstawiono pomiar średnicy wałka i otworu przy użyciu płytek wzorcowych oraz przyborów pomocniczych.

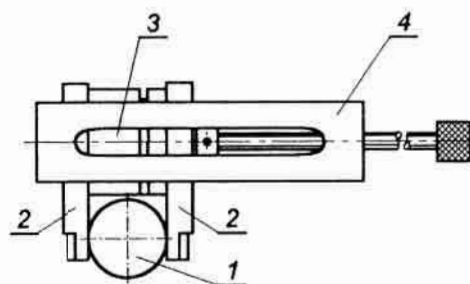


Rys. 23. Bezpośredni pomiar płytkami wzorcowymi



Rys. 24. Pomiar średnicy otworu płytkami wzorcowymi i przyborami pomocniczymi;

1 - pierścień mierzony, 2 - wkładki płasko-walcowe, 3 - stos płytek wzorcowych, 4 - uchwyt do płytek wzorcowych



Rys. 25. Pomiar średnicy wałka płytkami wzorcowymi i przyborami pomocniczymi;

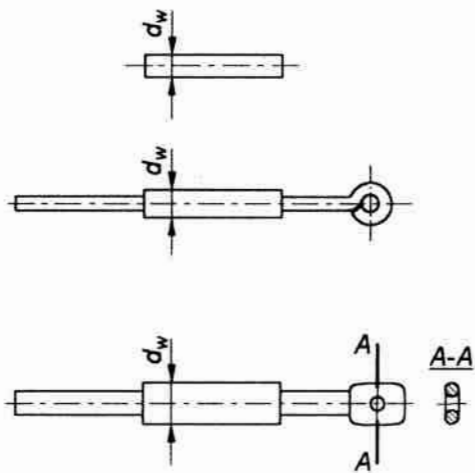
1 - mierzony wałek, 2 - wkładki płasko-walcowe, 3 - stos płytek wzorcowych, 4 - uchwyt do płytek wzorcowych

2.2. Wałeczki pomiarowe

Wałeczki pomiarowe są stosowane głównie do pomiaru średnic podziałowych gwintów, kół zębatach oraz kątów klinów i stożków. Rozróżniamy dwa rodzaje wałeczków pomiarowych:

- wałeczki pomiarowe z zaczepami,
- wałeczki pomiarowe w oprawkach.

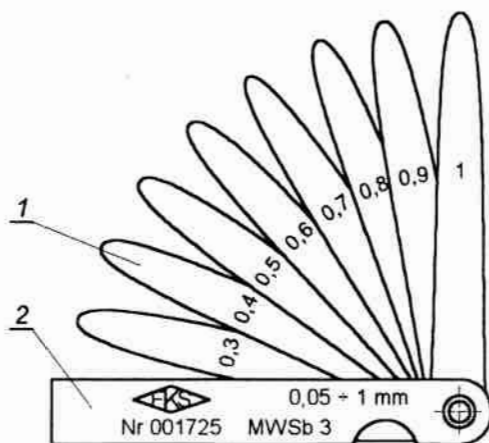
Wałeczki pomiarowe z zaczepami są produkowane w dwóch kompletach MLDb i MLDC, zawierających po 21 trójek wałeczków MLDa. Komplet MLDb nie ma wieszaków, natomiast MLDC ma dodatkowo dwa wieszaki. Średnice nominalne wałeczków są zawarte w granicach od 0,170÷6,350 mm. Wałeczki pomiarowe w oprawkach są przystosowane do bezpośredniego zamocowania na wrzecionie i kowadełku przyrządu pomiarowego. Komplet MLDg zawiera 18 trójek wałeczków MLDF o średnicach nominalnych w zakresie 0,170÷3,200 mm. Na rys. 26 przedstawiono trzy rodzaje wałeczków pomiarowych. Sposoby wykorzystania wałeczków przy pomiarach omówiono w ćwiczeniach 4 i 12.



Rys. 26. Wałeczki pomiarowe

2.3. Szczelinomierze

Szczelinomierze służą do pomiaru szerokości szczelin, wąskich rowków oraz do ustalenia luzów między sąsiadującymi powierzchniami. Są one wykonane ze stali narzędziowej. Ich kształt pokazano na rys. 27.



Rys. 27. Szczelinomierze;

1 - płytki szczelinomierza, 2 - okładka z oznaczeniem

Każda płytki szczelinomierza powinna mieć na swojej powierzchni pomiarowej trwale oznaczony nominalny wymiar. Płytki szczelinomierza obejmują zakres pomiarowy od 0,03 do 1 mm. Produkowane są trzy komplety szczelinomierzy oraz szczelinomierze pojedyncze. Można

składać kilka płytek razem, lecz należy się liczyć wtedy z mniejszą dokładnością pomiaru.

2.4. Kulki pomiarowe

W wielu przypadkach jest konieczne zastosowanie *kulek pomiarowych* jako końcowych wzorców długości. Szczególne znaczenie mają kulki pomiarowe przy pomiarach stożków i kątów wewnętrznych oraz przy pomiarach średnic małych otworów. Kulki pomiarowe wybiera się z kulek łożyskowych o małych odchyłkach kształtu. Na przykład firma *TESSA* oferuje cztery zestawy kulek pomiarowych, dwa metryczne i dwa calowe. Zakresy średnic kulek pomiarowych w kompletach metrycznych wynoszą: $1 \div 25$ mm ze stopniowaniem co 1 mm (25 trójek kulek) oraz $1 \div 12,5$ mm z tym samym stopniowaniem (12 trójek kulek). W kompletach calowych zakres średnic wynosi: $\frac{1}{16} \div \frac{1}{2}$ cala przy stopniowaniu co $\frac{1}{32}$ cala (15 trójek kulek) oraz $\frac{9}{16} \div 1$ cala ze stopniowaniem co $\frac{1}{16}$ cala (8 trójek kulek). Schemat pomiaru średnicy tulei za pomocą kulek pokazano na rys. 17 w ćwiczeniu nr 2. Na rys. 35, w ćwiczeniu nr 4, pokazano schemat pomiaru kąta stożka wewnętrznego za pomocą kulek.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Wykonać pomiar średnicy wałka za pomocą płytek wzorcowych i przyborów pomocniczych. Sposób pomiaru przedstawiono na rys. 25. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Wykonać pomiar średnicy otworu za pomocą płytek wzorcowych i przyborów pomocniczych. Sposób pomiaru przedstawiono na rys. 24. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 3

Przy użyciu szczelinomierza ustalić wielkość szczeliny między dwiema wskazanymi powierzchniami. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 2 karty pomiarów. Za pomocą kulek pomiarowych wykonać pomiar średnicy otworu tulei. Wyniki wpisać do tabeli 3 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, należy zamieścić wnioski i uwagi dotyczące poznanych metod pomiaru i prawidłowości wykonania mierzonych przedmiotów. Przy określeniu dokładności wykonania poszczególnych pomiarów należy posługiwać się tabelą I. W tabeli tej podano błędy dopuszczalne wymiaru środkowego f_L i równoległości powierzchni pomiarowych T_c płytek wzorcowych.

4

Ćwiczenie laboratoryjne nr 4. Pomiary klinów i stożków

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z podstawowymi metodami pomiarów pochyłeń klinów i zbieżności stożków.

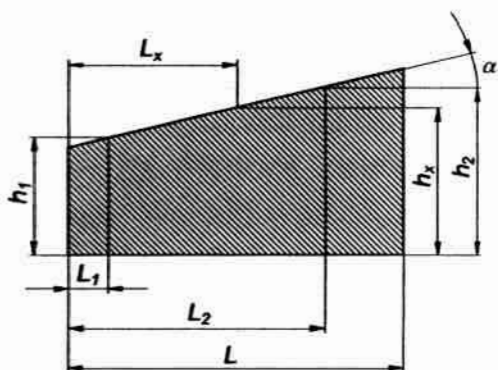
2. Podstawy teoretyczne

Przed omówieniem metod pomiarów pochyłeń klinów i zbieżności stożków niezbędne jest przypomnienie definicji tych wielkości. Na rys. 28 przedstawiono klin ścięty oraz podano różne parametry wymiarowe, m. in.:

- kąt wierzchołkowy klina α ,
- pochylenie P ,
- wysokość h_x klina w odległości L_x od powierzchni czołowej przyjętej za płaszczyznę odniesienia,
- długość klina L .

Pochyleniem P nazywamy zależność określoną wzorem:

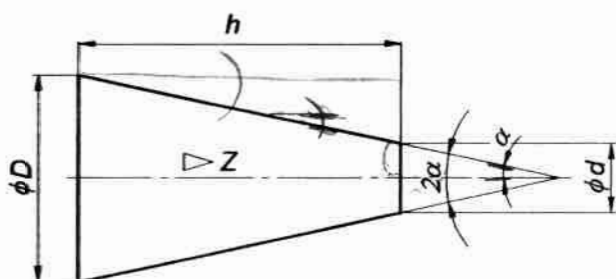
$$P = \frac{h_2 - h_1}{L_2 - L_1} = \operatorname{tg} \alpha . \quad (6)$$



Rys. 28. Klin ścięty

Elementami wymiarowymi stożka ściętego (rys. 29) są:

- kąt wierzchołkowy stożka ściętego 2α ,
- zbieżność Z ,
- średnice podstaw stożka D i d w mm,
- wysokość stożka h w mm.



Rys. 29. Stożek ścięty

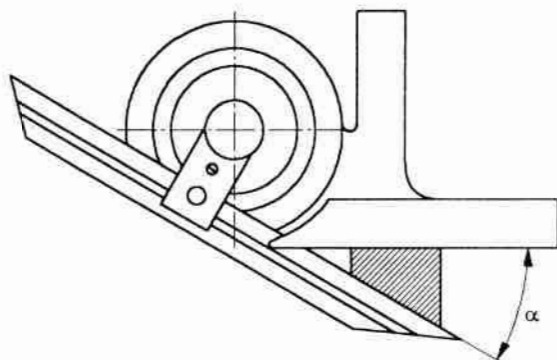
Zbieżnością Z nazywamy zależność określoną wzorem:

$$Z = \frac{D-d}{h} = 2 \operatorname{tg} \alpha . \quad (7)$$

Pomiarów i sprawdzania kątów klinów i stożków dokonuje się najczęściej za pomocą przyrządów uniwersalnych. Tylko w nielicznych przypadkach są stosowane przyrządy specjalne.

2.1. Kątomierz uniwersalny

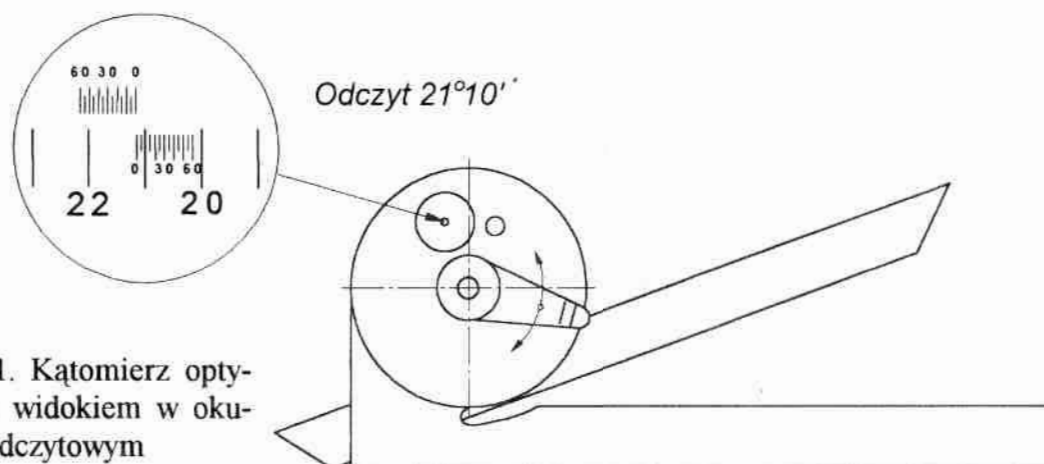
Kątomierz uniwersalny ma podziałkę kątową w zakresie $0 \div 360^\circ$ oraz noniusz kątowy umożliwiający odczytywanie wskazania z dokładnością $\pm 5'$. Sposób pomiaru kątomierzem przedstawiono na rys. 30.



Rys. 30. Pomiar kątomierzem uniwersalnym

2.2. Kątomierz optyczny

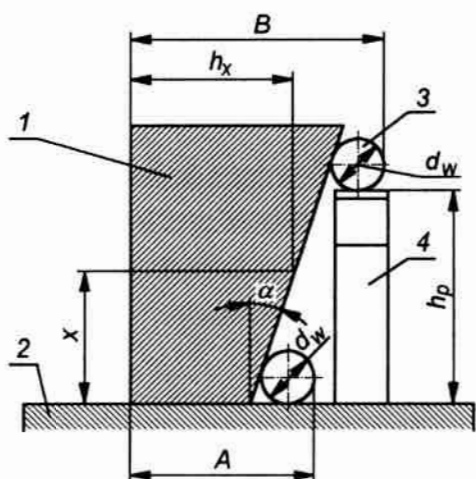
Zasada pomiaru *kątomierzem optycznym* jest taka sama, jak zasada pomiaru kątomierzem uniwersalnym. Różnica polega tylko na sposobie odczytania wyniku. W kątomierzu optycznym odczytuje się wskazania przez lupę obserwacyjną o powiększeniu $16\times$. W polu widzenia obserwujemy podziałkę kątową z działką elementarną 1° oraz noniusz z modulem równym zero. Wartość działki elementarnej noniusza wynosi $5'$. Na rys. 31 przedstawiono kątomierz optyczny oraz jego pole widzenia w okularze odczytowym.



Rys. 31. Kątomierz optyczny z widokiem w okularze odczytowym

2.3. Pomiar klina z zastosowaniem wałeczka pomiarowego

Pomiar należy przeprowadzić za pomocą wałeczka pomiarowego, stosu płytek wzorcowych, mikrometru i płyty pomiarowej. Na rys. 32 pokazano sposób przeprowadzania pomiaru. Element mierzony ustawia się na płaszczyźnie płyty pomiarowej. Wałeczek pomiarowy o średnicy d_w styka się kolejno z tworzącą klina na dwóch różnych wysokościach.



Rys. 32. Pomiar klina przy użyciu wałeczka pomiarowego;

1 - klin mierzony, 2 - płyta pomiarowa,
3 - wałeczek pomiarowy, 4 - stos płytek wzorcowych

Mierzając mikrometrem wymiary A i B uzyskuje się dane do określenia pochylenia. Pochylenie P jest określone wzorem:

$$P = \frac{B - A}{h_p} = \operatorname{tg} \alpha . \quad (8)$$

Wysokość stosu płytek wzorcowych h_p należy dobierać możliwie dużą.

Błąd pomiaru pochylenia δP określa wzór:

$$\delta P = \pm \frac{1}{h_p} \left[|\delta A| + |\delta B| + P |\delta h_p| \right], \quad (9)$$

gdzie: δA - błąd pomiaru wymiaru A ,

δB - błąd pomiaru wymiaru B ,

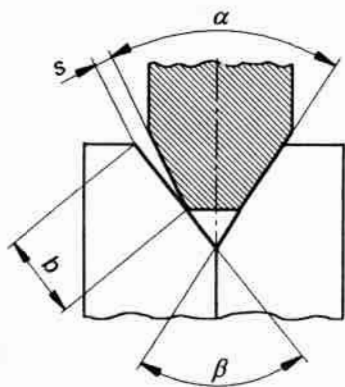
δh_p - błąd wysokości stosu płytek wzorcowych.

Do obliczania wysokości klina h_x w dowolnym punkcie odległości x od czoła klina można stosować wzór:

$$h_x = A - \frac{d_w}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha} \right) + P \left(x - \frac{d_w}{2} \right). \quad (10)$$

2.4. Płytki kątowe

Płytki kątowe są stosowane jako wzorce kątów. Rozróżniamy *plytki kątowe Johanssona*, *Kusznikowa* i *plytki przywieralne*. Do pomiaru i sprawdzania kątów najczęściej są stosowane płytki kątowe Johanssona. Sprawdzanie kątów za pomocą tych płytek jest bardzo proste i dokładne. Pomiar natomiast jest czasochłonny, gdyż wymaga odpowiedniego kilkukrotnego doboru płytek dla uzyskania dużej dokładności pomiaru. Stosuje się *komplety płytek duże*, składające się z 85 płytek, umożliwiających pomiar kąta w granicach $0 \div 360^\circ$, ze stopniowaniem co $1'$ i *komplety płytek małe*, składające się z 49 płytek, umożliwiające pomiar każdego kąta w granicach $0 \div 360^\circ$, przy stopniowaniu co $5'$. Dokładność kątowa płytki wynosi $\pm 12''$, dlatego kąt złożony z dwóch płytek kątowych może mieć błąd maksymalny $\pm 24''$. Pomiar przeprowadza się przez dobór płytek kątowych tak, aby utworzyły wewnętrzny kąt odpowiadający mierzonemu kątowi klina (rys. 33). Po włożeniu



Rys. 33. Pomiar kąta klina za pomocą płytek kątowych

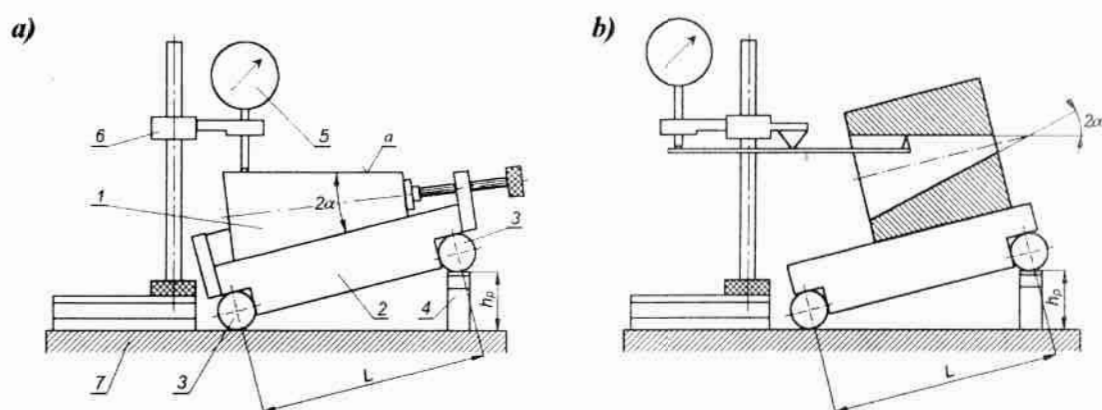
mierzonego klina w wycięcie płytek kątowych w ten sposób, aby jedna z płaszczyzn klina przylegała do ramienia kąta płytek, obserwuje się szczelinę świetlną występującą między krawędziami płytki i klina. Płytki dobiera się tak, aby szczelina była niedostrzegalna. Błąd pomiaru $\delta\alpha$ określa wzór:

$$\delta\alpha = \pm \left(|\delta\beta| + \operatorname{arctg} \frac{s}{b} \right), \quad (11)$$

gdzie: $\delta\beta$ - błąd kąta płytki kątovej,
 s - szerokość szczeliny świetlnej,
 b - długość przylegania płytki kątovej.

2.5. Pomiar za pomocą liniału sinusowego

Na rys. 34 przedstawiono zasadę pomiaru stożków 1 za pomocą liniału sinusowego 2 opartego na wałkach 3, stosu płytek wzorcowych 4, czujnika zegarowego 5, podstawy 6 i płyty pomiarowej 7. W czasie pomiaru stożek ustawiamy na liniale sinusowym. Liniał sinusowy jedną stroną opieramy na stosie płytek wzorcowych i powierzchni płyty pomiarowej. Należy tak dobierać wysokość h_p stosu płytek wzorcowych, aby tworząca a stożka lub powierzchnia klina mierzonego była równoległa do powierzchni płyty pomiarowej. Sprawdzenie warunku



Rys. 34. Pomiary stożków za pomocą liniału sinusowego: a) pomiar kąta stożka zewnętrznego, b) pomiar stożka wewnętrznego

równoległości realizuje się za pomocą czujnika zegarowego. Mierzony kąt wierzchołkowy α oblicza się z zależności:

- dla stożków zewnętrznych

$$\sin 2\alpha = \frac{h_p}{L}, \quad (12)$$

- dla stożków wewnętrznych

$$\sin \alpha = \frac{h_p}{L}, \quad (13)$$

gdzie: L - odległość osi wałków liniału sinusowego,
 h_p - długość stosu płytek wzorcowych.

Błędy graniczne pomiarów za pomocą tych metod oblicza się ze wzorów:

$$\delta 2\alpha = \pm \left[\frac{|\delta h_p| + |\delta L| \sin 2\alpha}{L \cos 2\alpha} \right], \quad (14)$$

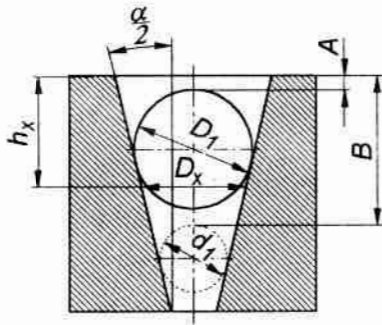
$$\delta \alpha = \pm \left[\frac{|\delta h_p| + |\delta L| \sin \alpha}{L \cos \alpha} \right], \quad (15)$$

gdzie: δL - błąd odległości osi wałków liniału sinusowego.

Przy pomiarze stożka wewnętrznego musi być znana i uwzględniona odchyłka współosiowości średnicy zewnętrznej i otworu stożkowego.

2.6. Pomiar stożka wewnętrznego za pomocą kulek

Stożek wewnętrzny możemy również mierzyć za pomocą kulek pomiarowych, tak jak przedstawiono to na rys. 36. Używa się do tego celu dwóch kulek pomiarowych o znanych średnicach D_I i d_I oraz głębokościomierza mikrometrycznego. Za pomocą głębokościomierza



Rys. 35. Pomiar kąta stożka wewnętrznego za pomocą kulek pomiarowych

mierzy się wymiary A i B . Wartość kąta α i zbieżności Z można obliczyć ze wzorów:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D_1 - d_1}{2(B - A) - (D_1 - d_1)}, \quad (16)$$

$$Z = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (17)$$

Średnicę stożka D_x w odległości h_x można obliczyć ze wzoru:

$$D_x = \frac{D_1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + 2 \left(A + \frac{D_1}{2} - h_x \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (18)$$

zaś błąd graniczny pomiaru sinusa połowy kąta α wynosi:

$$\delta \sin \frac{\alpha}{2} = \pm \frac{\frac{1}{2}(D_1 - d_1)}{(B - A) - \frac{1}{2}(D_1 - d_1)} \cdot \left[\frac{2f_1}{D_1 - d_1} + \frac{f_1 + f_2}{(B - A) - \frac{1}{2}(D_1 - d_1)} \right], \quad (19)$$

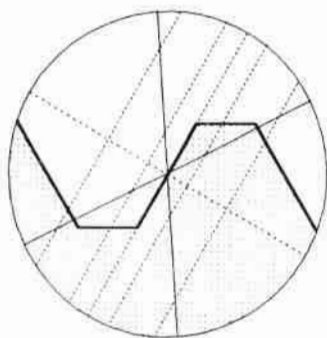
gdzie: f_1 - błąd pomiaru połowy różnicy $(D_1 - d_1)$,
 f_2 - błąd pomiaru różnicy $B - A$.

2.7. Pomiary kątów na mikroskopach

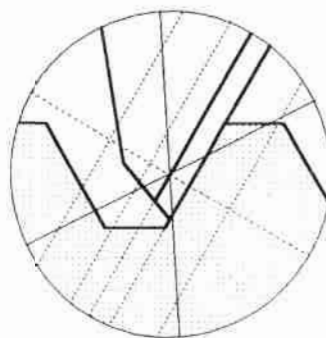
Stosunkowo prosto i dokładnie możemy mierzyć kąty klinów i stożków zewnętrznych przy użyciu mikroskopów pomiarowych. Rozróżniamy następujące rodzaje mikroskopów pomiarowych:

- mały mikroskop warsztatowy,
- duży mikroskop warsztatowy,
- mikroskop uniwersalny.

Wymienione rodzaje mikroskopów opisane były szczegółowo na wykładach. Dla przypomnienia zasadnicze wiadomości o mikroskopach podano w ćwiczeniu nr 7. Pomiaru kątów na *małym mikroskopie warsztatowym* dokonuje się przy użyciu główicy goniometrycznej o wartości działki 1'. Na *dużym mikroskopie warsztatowym* możemy wykonywać pomiary kątów przy użyciu obrotowego stolika przedmiotowego oraz główicy goniometrycznej. *Mikroskop uniwersalny* umożliwia pomiar kąta przy użyciu trzech metod: za pomocą główicy goniometrycznej, za pomocą optycznej główicy podziałowej i za pomocą optycznego stołu podziałowego. Ogólnie na wszystkich typach mikroskopów pomiary mogą być dokonane metodą optyczną lub optyczno-stykową.



Rys. 36. Widok w okularze mikroskopu przy pomiarze metodą optyczną



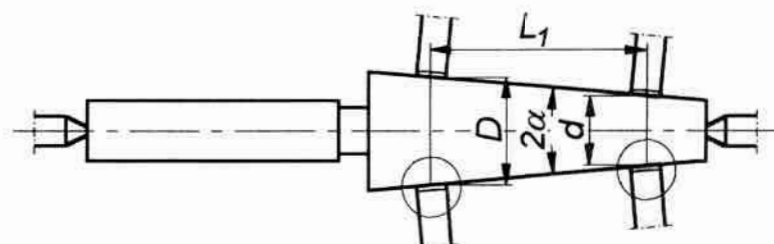
Rys. 37. Widok w okularze mikroskopu przy pomiarze metodą optyczno-stykową

Metoda optyczna polega na tym, że pomiaru dokonuje się przez nastawienie określonej linii krzyża goniometrycznego na krawędź cienia lub obrazu przedmiotu mierzonego (rys. 36).

Metoda optyczno-stykowa polega na nastawieniu linii krzyża goniometrycznego na ryskę naniesioną na specjalnym nożyku pomiarowym. Krawędź nożyka pomiarowego doprowadza się uprzednio do styku z przedmiotem mierzonym (rys. 37). Z analizy wyżej wymienionej metody można wyciągnąć wniosek świadczący o tym, że metoda optyczno-stykowa jest dokładniejsza niż metoda optyczna. W celu dokonania pomiaru kąta stożka na dużym mikroskopie warsztatowym zamocowujemy stożek w kłach specjalnego stolika. Pomiaru możemy dokonać bezpośrednio, korzystając z głowicy goniometrycznej, lub pośrednio. Przy metodzie bezpośredniej należy sprawdzić czy oś kłów pokrywa się z linią krzyża goniometrycznego i czy podziałka kątowna jest ustawiona na wskazanie zerowe. Pomiar kąta metodą pośrednią polega na pomiarze średnic D i d oraz odległości między nimi L_1 . Kąt α można wyliczyć ze wzoru:

$$2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{L_1}. \quad (20)$$

Na rys. 38 przedstawiono zasadę pomiaru pośredniego kąta stożka z zastosowaniem metody optyczno-stykowej.



Rys. 38. Pomiar kąta stożka przy użyciu nożyków pomiarowych

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Używając kątomierza sprawdzić rzeczywisty wierzchołkowy kąt klina α . Wyniki i wnioski podać w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Określić rzeczywiste pochylenie klina używając mikrometru i wałeczka pomiarowego. Wyniki i wnioski wraz z obliczeniami dokładności pomiaru należy podać w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Zmierzyć przy użyciu płytek kątowych rzeczywisty kąt danego klina. Wyniki i wnioski wraz z obliczeniem dokładności wykonania pomiaru podać w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Zmierzyć kąt wierzchołkowy danego stożka zewnętrznego używając liniału sinusowego. Wyniki pomiarów i wnioski oraz obliczenie dokładności wykonania pomiarów należy wpisać do tabeli 4 karty pomiarów.

Zadanie 5

Zmierzyć kąt wierzchołkowy danego stożka wewnętrznego przy użyciu kulek pomiarowych i głębokościomierza mikrometrycznego. Wyniki pomiarów, obliczenia i wnioski wpisać do tabeli 5 karty pomiarów.

Zadanie 6

Dokonać pomiaru stożka zewnętrznego na dużym mikroskopie pomiarowym metodą optyczno-stykową. Dla porównania wyników pomiar powtórzyć przy użyciu głowicy goniometrycznej oraz metodą pośrednią. Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 6 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić szkice mierzonych przedmiotów, krótki opis metod, obliczenie dokładności pomiarów, kartę pomiarów oraz wnioski i spostrzeżenia dotyczące metod i prawidłowości wykonania poszczególnych pomiarów.

5

Ćwiczenie laboratoryjne nr 5. Pomiary kątów

1. Cel ćwiczenia:

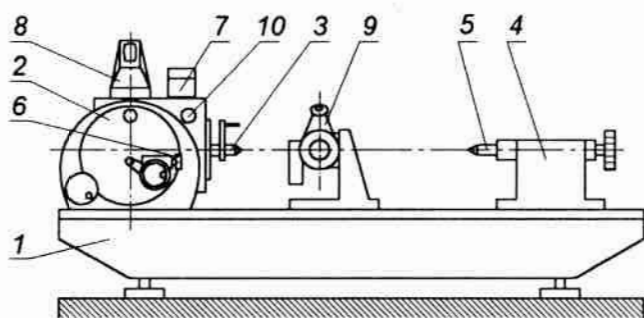
Zapoznanie studentów z niektórymi metodami pomiarów kątów oraz zaznajomienie z budową i obsługą przyrządów pomiarowych

2. Podstawy teoretyczne

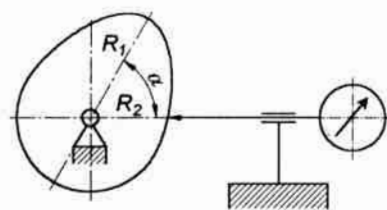
W ćwiczeniu nr 4 przedstawiono niektóre metody i przyrządy uniwersalne, służące do wykonywania średnio dokładnych pomiarów kątów. W niniejszym ćwiczeniu przedstawiono przyrządy do wykonywania dokładnych i bardzo dokładnych pomiarów kątów. Do przyrządów tych zalicza się: *podzielnice optyczne*, *goniometry*, *poziomnice* i *autokolimatory*.

2.1. Podzielnice optyczne

Podzielnice optyczne (rys. 39) służą do dokładnych pomiarów kątów oraz do dokładnego podziału kąтового. Na rys. 40 przedstawiono schemat pomiaru krzywki we współrzędnych biegunowych za pomocą podzielnicy optycznej i długościomierza. W podobny sposób można wykonać pomiary wałków wielowypustowych, elementów sprzęgieł



Rys. 39. Podzielnica optyczna - widok ogólny

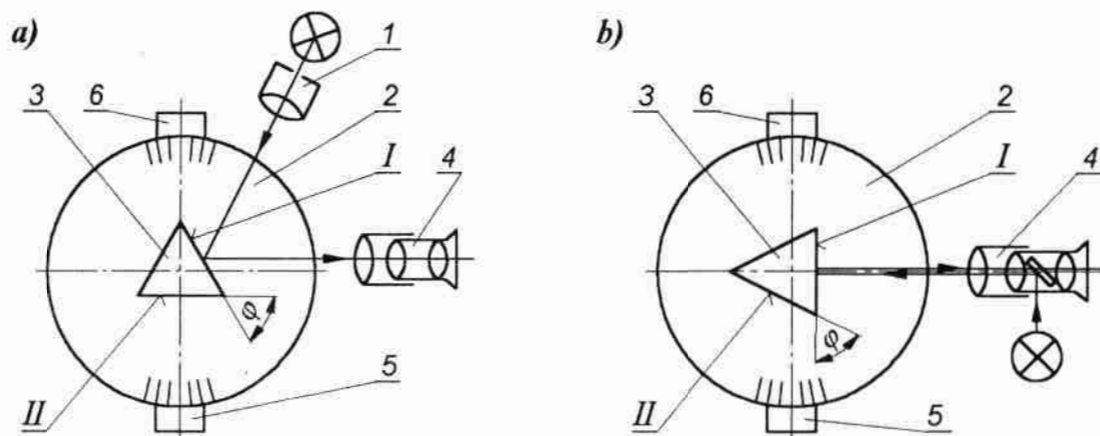


Rys. 40. Pomiar krzywki we współrzędnych biegunowych

kłowych, wałów korbowych itd. Podzielnica optyczna jest wyposażona na ogół w łożo z konikiem oraz długościomierz. W celu dokonania pomiaru na podzielnicy optycznej należy przedmiot umieścić w kłach 3 i 5 (rys. 39), przesuwając przy tym konik 4 na odpowiednią odległość wzdłuż łoża 1. Przedmiot musi być związany z kłem ruchomym 3 głowicy optycznej 2 za pomocą zabieraka. Obracając pokrętkę 6 przy zablokowanym zacisku 10, dokonujemy obrotu kła 3, a przez to i przedmiotu o określony kąt. Urządzenie oświetlające 7 umożliwia odczytanie na ekranie 8 wartości przemieszczenia kąтового. Długościomierz 9 zapewnia natomiast ustalenie wartości przemieszczenia liniowego. Przez to jest możliwy pomiar we współrzędnych biegunowych. Podzielnice optyczne są produkowane w różnych wariantach z działką elementarną 3", 9" i 10". Wznios kłków nad płaszczyznę łoża wynosi około 130 mm, a rozstawienie kłków wzdłuż łoża 750 lub 1600 mm.

2.2. Goniometr

Goniometr jest przyrządem laboratoryjnym stosowanym do dokładnych pomiarów kątów między dwiema polerowanymi lub docieranymi płaszczyznami, np. szklanych przyzmatów, płytek kątowych, klinów optycznych itp. Pomiar kątów na goniometrze można wykonywać dwiema metodami: kolimacyjną lub autokolimacyjną. Na rys. 41a przedstawiono schemat pomiaru metodą kolimacyjną, a na rys. 41b - metodą autokolimacyjną. Przedmiot 3 ustawiamy na stoliku 2. Stolik jest



Rys. 41. Pomiar kąta za pomocą goniometru: a) sposób kolimacyjny, b) sposób autokolimacyjny

zamocowany współosiowo z dyskiem, na którym znajduje się dokładna podziałka kątowna. Przy metodzie kolimacyjnej strumień świetlny z kolimatora 1 po odbiciu od płaszczyzny I przedmiotu zostaje skierowany do lunety obserwacyjnej 4. Jeżeli obraz szczeliny kolimatora pokryje się z krzyżem lunety, to możemy dokonać odczytu kąta φ_1 za pomocą urządzenia odczytowego 5. Następnie obracamy stół do takiego położenia, aby obraz szczeliny kolimatora - odbity od płaszczyzny II - pokrył się z krzyżem lunety 4. Dokonujemy odczytu φ_2 na urządzeniu 5 i obliczamy szukany kąt φ wg wzoru

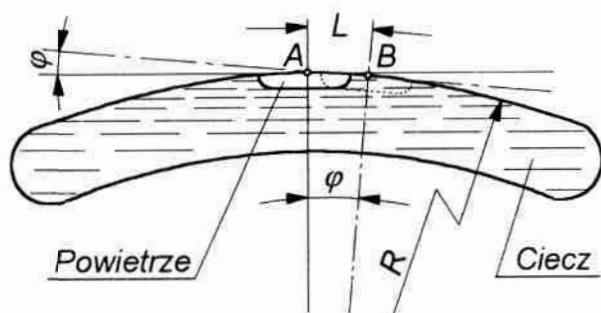
$$\varphi = 180^\circ - (\varphi_2 - \varphi_1). \quad (21)$$

Urządzenie odczytowe 6 jest stosowane w niektórych goniometrach w celu zwiększenia dokładności pomiaru. Dokonując jednoczesnych odczytów na urządzeniu 5 i usytuowanym dokładnie naprzeciw niego urządzeniu odczytowym 6, ustrzegamy się błędu wynikającego z niewspółosiowości osi obrotu stolika i osi podziałki. Goniometry są produkowane w kilku wariantach z działką elementarną podziałki kątownej 30", 15", 10", 2" i 1".

2.3. Poziomnice

Poziomnice służą do pomiarów małych kątów. Na rys. 42 pokazano schemat poziomnicy. Zbudowane są one ze szklanej ampułki, o dużym promieniu wygięcia górnej powierzchni, częściowo napełnionej cieczą, stalowego lub żeliwnego korpusu oraz w niektórych konstrukcjach z kilku urządzeń dodatkowych. Mierzony kąt φ w radianach lub w sekundach wyrażają równania:

$$\varphi = \frac{L}{R} \text{ rad} \quad \text{lub} \quad \varphi \approx 206265 \frac{L}{R} \text{ ''} \quad (22)$$



Rys. 42. Pomiar poziomnicą

Najczęściej są stosowane *poziomnice zwykłe, ramowe i sferyczne*. Ich schematy pokazano na rys. 43. Znacznie dokładniejsze są natomiast *poziomnice koincydencyjne* z wbudowanym układem optycznym oraz urządzeniem mikrometrycznym i *poziomnice elektroniczne*. W celu dokonania pomiaru kąta za pomocą poziomnicy, należy postawić poziomnicę na badanej płaszczyźnie i odczytać liczbę działek n o którą przesunął się pęcherzyk powietrza względem położenia środkowego. Następnie mnożąc wartość działki elementarnej c przez liczbę działek n wyznaczamy tangens kąta pochylenia płaszczyzny

$$\text{tg } \alpha = 0,001 c n, \quad (23)$$

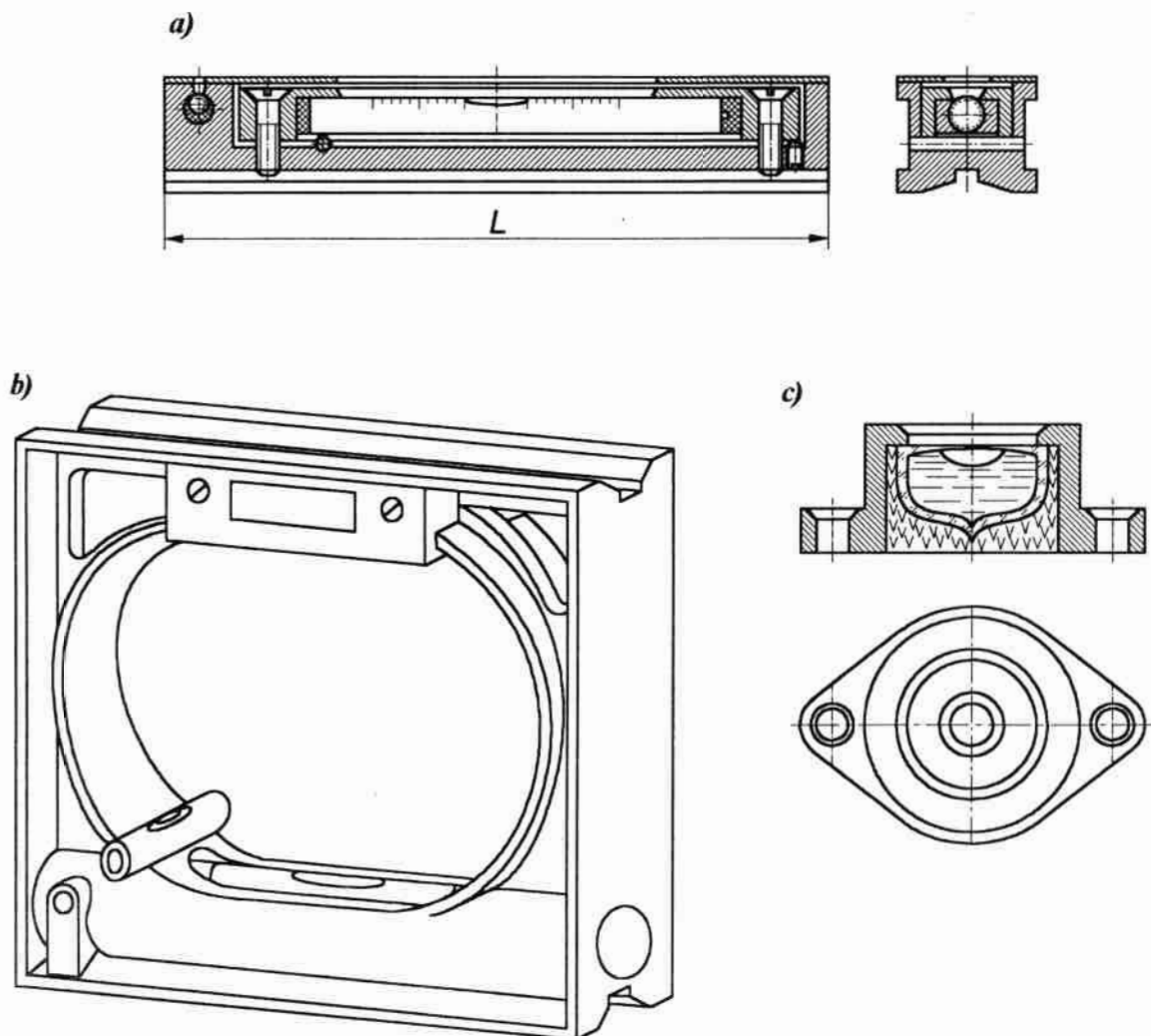
przy czym wartość działki elementarnej c w równaniu (23) podaje się w mm/m.

W przypadku bardzo małych kątów wzór (23) przyjmuje postać

$$\alpha = 0,001 \text{ c n } \text{ rad} , \quad (24)$$

lub

$$\alpha \cong 206,265 \text{ c n } \text{ " } . \quad (25)$$

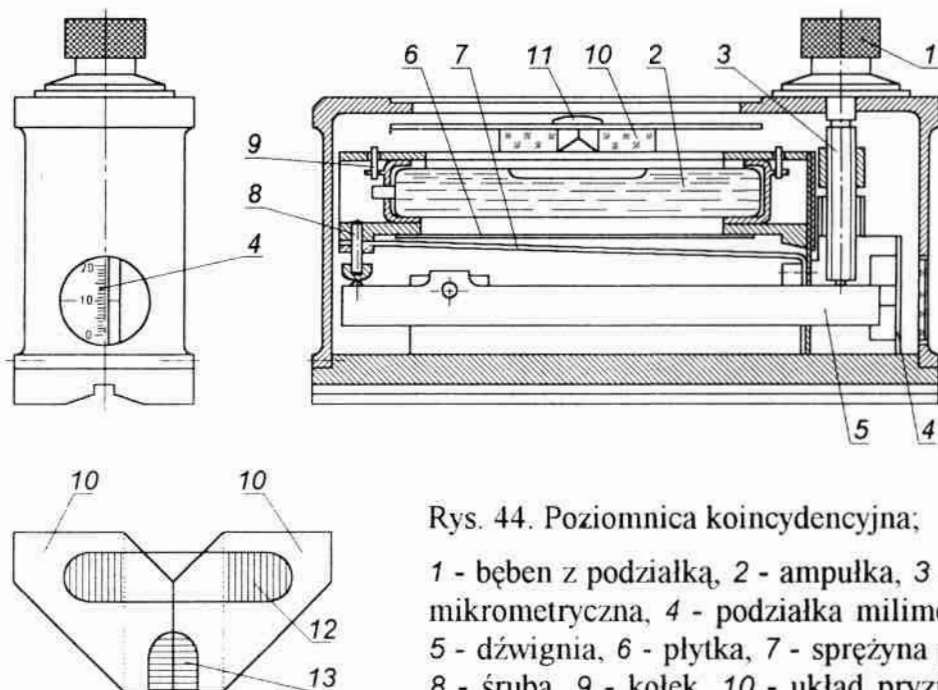


Rys. 43. Poziomnice - wygląd zewnętrzny; a) zwykła, b) ramowa, c) kulista

Poziomnica koincydencyjna (rys. 44) ma mechanizm mikrometryczny umożliwiający przechylenie ampułki z cieczą oraz układ optyczny, co zwiększa zakres i dokładność pomiaru. Działka elementarna poziomnicy koincydencyjnej wynosi 0,01 mm/m.

Pomiar za pomocą poziomnicy koincydencyjnej odbywa się w następujący sposób:

Podziałkę milimetrową 4, widoczną z boku poziomnicy, należy ustawić na liczbę 10, a bęben z podziałką na zero. Po ustawieniu poziomnicy na powierzchni badanej obserwuje się pęcherzyk przez małe okienka ze znakami + i -. Jeżeli koniec pęcherzyka 12 jest widoczny w okienku ze znakiem +, należy obracać bęben 1 w kierunku znaku -. Gdy obie połówki pęcherzyka będą widoczne przez lupę 11, należy obracając powoli bęben z podziałką doprowadzić do zgrania (koincydencji) obu połówek. Obserwację należy prowadzić z odległości 25 ÷ 30 cm. Po uzyskaniu koincydencji należy dokonać odczytu na podziałce milimetrowej 4 i na bębnie z podziałką 1. Pamiętać przy tym należy, że wartość zerową poziomnicy wskazuje liczba 10 na podziałce milimetrowej 4.

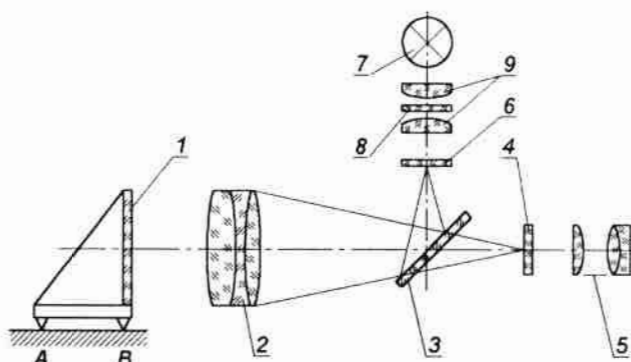


Rys. 44. Poziomnica koincydencyjna;

1 - bęben z podziałką, 2 - ampulka, 3 - śruba mikrometryczna, 4 - podziałka milimetrowa, 5 - dźwignia, 6 - płytka, 7 - sprężyna płaska, 8 - śruba, 9 - kolek, 10 - układ pryzmatów, 11 - lupa, 12 - pęcherzyk, 13 - obraz pęcherzyka widoczny przez lupę po doprowadzeniu do koincydencji

2.4. Autokolimator

Autokolimator jest przyrządem optycznym służącym do dokładnych pomiarów niewielkich kątów. Działa on na zasadzie odbicia promieni świetlnych. Schemat autokolimatora przedstawiono na rys. 45.



Rys. 45. Układ optyczny autokolimatora;

1 - zwierciadło, 2 - obiektyw,
3 - półprzezroczysta płytka;
4 - płytka mikrometryczna,
5 - okular, 6 - płytka szklana
z krzyżem; 7 - źródło światła,
8 - filtr, 9 - układ optyczny

Promienie świetlne wychodzące ze źródła światła 7 przechodzą przez układ optyczny 9, filtr 8 i płytkę szklaną 6 z naciętym krzyżem. Płytkę tą znajduje się dokładnie w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu 2. Promienie po odbiciu od zwierciadła 1, ustawionego na obiekcie mierzonym, wracają i przechodzą przez obiektyw 2, półprzezroczystą płytkę 3 i tworzą na płytce mikrometrycznej 4, która również jest umieszczona w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu 2, obraz krzyża naciętego na płytce 6. Płytkę mikrometryczną ma naciętą podziałkę, na której wskazania odczytujemy za pomocą okularu 5. Jeżeli płaszczyzna zwierciadła 1 nie jest prostopadła do osi obiektywu 2, to obraz krzyża obserwowany w okularze będzie przesunięty względem wskazania zerowej podziałki.

Wartość przesunięcia Δa wyznacza nam kąt pochylenia α badanej płaszczyzny zgodnie ze wzorem

$$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\Delta a}{f}, \quad (26)$$

gdzie f oznacza długość ogniskowej obiektywu, lub dla małych kątów

$$\alpha = \frac{\Delta a}{2f} \quad \text{rad.} \quad (27)$$

Ponieważ wartość f jest stała, więc podziałka jest podana bezpośrednio w jednostkach kąta (w sekundach i minutach). Autokolimatory są produkowane w wielu wariantach z działką elementarną podziałki sekundowej: 2"; 1"; 0,5"; 0,25"; 0,1". Należy podkreślić, że wiele firm produkuje autokolimatory fotoelektryczne, w których pomiar jest w pełni zautomatyzowany.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Za pomocą podzielnicy optycznej i długościomierza dokonać pomiaru krzywki wałka rozrządczego we współrzędnych biegunowych. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Za pomocą goniometru dokonać pomiaru kąta pryzmatu szklanego metodą kolimacyjną. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Używając poziomnicy koincydencyjnej wyznaczyć kąt pochylenia płaszczyzny płyty pomiarowej. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Używając autokolimatora wyznaczyć kąt pochylenia dwóch płaszczyzn odległych względem siebie o kilka metrów. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, student powinien podać szkice i schematy przeprowadzonych pomiarów, opisać krótko poszczególne metody pomiarowe, wykonać niezbędne obliczenia oraz podać wnioski dotyczące poznanych metod.

6

Ćwiczenie laboratoryjne nr 6. Pomiary długości przyrządami z przekładnią mechaniczną i przyrządami dźwigniowo-optycznymi

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z niektórymi przyrządami mechanicznymi i mechaniczno-optycznymi, służącymi do pomiarów długości oraz z techniką pomiarów za pomocą tych przyrządów

2. Podstawy teoretyczne

Przyrządy z przekładnią mechaniczną stanowią bardzo liczną grupę przyrządów służących do pomiarów długości. Przyrządy te można w uproszczeniu sklasyfikować w pięciu grupach:

- przyrządy mikrometryczne,
- czujniki zębate,
- czujniki dźwigniowe,
- czujniki dźwigniowo-zębate,
- czujniki dźwigniowo-sprężynowe.

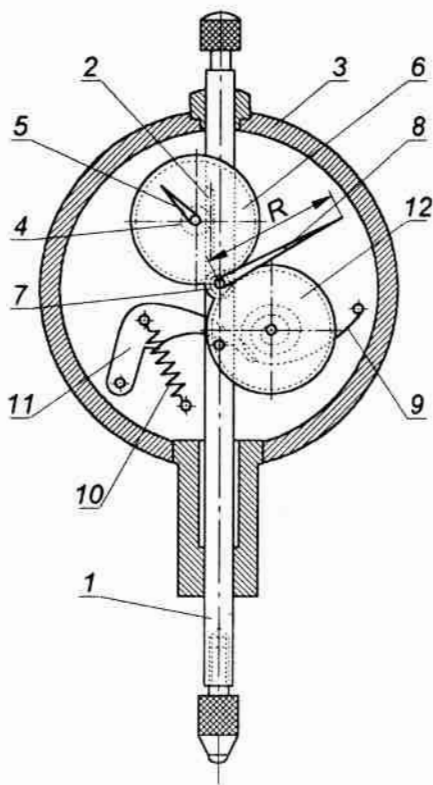
Przyrządy mikrometryczne zostały już omówione w poprzednich ćwiczeniach. W tym ćwiczeniu przedstawione zostaną wymienione

2.1. Czujniki dźwigniowe

Czujniki dźwigniowe przeznaczone były głównie do pomiarów porównawczych. Znaczenie ich, ze względu na mały zakres pomiarowy oraz złożoną budowę, jest stosunkowo niewielkie. Obecnie nie produkuje się tego rodzaju czujników.

2.2. Czujniki zębate

Najczęściej spotykanym przedstawicielem czujników zębatych jest *czujnik zegarowy*. Jego schemat przedstawiono na rys. 46. Trzpień



Rys. 46. Schemat czujnika zegarowego;

1 - trzpień pomiarowy, 2 - listwa zębata, 3 - obudowa czujnika; 4 - koło zębate, 5 - wskazówka obrotów, 6 i 7 - koła zębate, 8 - wskazówka, 9 - sprężyna spiralna; 10 - sprężynka, 11 - dźwignia, 12 - koło zębate

pomiarowy 1 jest związany sztywno z listwą zębatą 2. Przekazuje on swój ruch na koło zębate 4 ze wskazówką obrotów 5. Koło zębate 4 jest współosiowo połączone z kołem 6, za pośrednictwem którego ruch obrotowy jest przekazywany na koło zębate 7. Współosiowo z kołem 7 jest zamocowana wskazówka 8, której przemieszczenie jest proporcjonalne do przemieszczenia trzpienia pomiarowego 1. Koło

zębate 12 wraz ze spiralną sprężyną 9 służy do kasowania luzu międzyzębego w przekładni zębatej. Dźwignia 11 ze sprężyną 10 ustala właściwy nacisk pomiarowy. Przełożenie czujnika można wyrazić wzorem

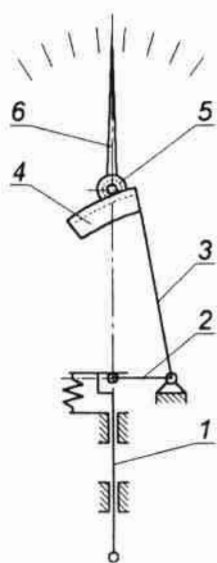
$$\eta = \frac{R\alpha_1}{s}. \quad (28)$$

Jeżeli przyjmiemy, że długość wskazówki R jest równa 25 mm, kąt obrotu wskazówki α_1 w radianach wynosi 20π , a przesunięcie trzpienia pomiarowego s , odpowiadające obrotowi wskazówki o kąt 20π , wynosi 10 mm, to wartość przełożenia η będzie równa $50\pi \approx 157$.

Czujniki zegarowe są produkowane w rozmaitych wariantach, najczęściej z działką elementarną 0,01 mm i zakresem pomiarowym $0 \div 10$ mm.

2.3. Czujniki dźwigniowo-zębate

Czujniki dźwigniowo-zębate umożliwiają znaczne zwiększenie dokładności pomiaru w porównaniu z czujnikami zębatymi. Istnieje wiele odmian tych czujników. Najdokładniejsze z nich charakteryzują się dużym zakresem pomiarowym i wysoką dokładnością. Najstarszym przedstawicielem tej grupy przyrządów jest *ortotest*. Schemat przyrządu pokazano na rys. 47.



Rys. 47. Schemat czujnika dźwigniowo-zębatego;

1 - trzpień pomiarowy, 2 i 3 - ramiona dźwigni;
4 - segment zębata, 5 - koło zębata; 6 - wskazówka

Trzpień pomiarowy 1, przemieszczając się w prowadnicach, działa na ramię dźwigni 2. Ruch ramienia 2 jest przekazywany na ramię 3, na końcu którego znajduje się segment zębaty 4. W wyniku zazębienia segmentu zębatego 4 z kołem zębatym 5 ruch posuwisty trzpienia 1 zostaje zamieniony na ruch obrotowy wskazówki 6, która jest umocowana współosiowo z kołem 5. Zakres pomiarowy przyrządu wynosi $\pm 100 \mu\text{m}$ a działka elementarna $1 \mu\text{m}$. Obecnie są produkowane bardziej doskonałe przyrządy, np. o zakresie pomiarowym $0 \div 5 \text{ mm}$ i działce elementarnej $0,002 \text{ mm}$, albo o zakresie $0 \div 2 \text{ mm}$ i działce elementarnej $0,001 \text{ mm}$.

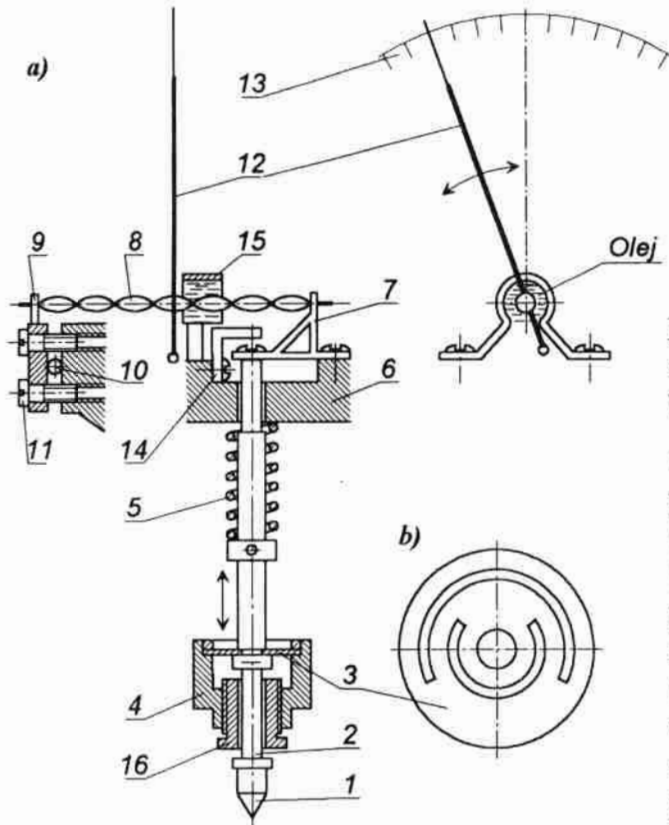
2.4. Czujniki sprężynowe

W czujnikach sprężynowych jest wykorzystane zjawisko rozkręcania się taśmy z brązu przy rozciąganiu jej końców. Najczęściej spotykanym czujnikiem sprężynowym jest *mikrokator*. Przełożenie mikrokatora jest określone przez właściwości materiału taśmy, jej wymiar i kąt skręcenia. Materiałem na taśmy jest najczęściej brąz berylowy. Przełożenie mikrokatora wyraża się wzorem

$$\eta = 0,45 \frac{E}{Gt \left[\left(\frac{g}{e} \right)^2 + 13,2 \left(\frac{e}{t} \right)^2 \right]} \text{ } ^\circ/\mu\text{m} . \quad (29)$$

gdzie: E - moduł sprężystości podłużnej materiału taśmy, N/mm^2 ,
 G - moduł sprężystości postaciowej materiału taśmy, N/mm^2 ,
 t - skok spirali taśmy, mm ,
 g - grubość taśmy, mm ,
 e - szerokość taśmy, mm .

Schemat przyrządu pokazano na rys. 48. Taśma 8 podczas rozciągania ulega rozprostowaniu. Taśma ta jest wykonana w postaci płaskiej sprężyny o przekroju $0,01 \times 0,25 \text{ mm}$. Jest ona zwinięta na



Rys. 48. Schemat czujnika sprężynowego: a) mechanizm czujnika, b) widok sprężyny 3;

1 - nasadka pomiarowa, 2 - trzpień pomiarowy, 3 - sprężyna, 4 - korpus, 5 - sprężyna śrubowa, 6 - obudowa, 7 - sprężyna, 8 - taśma, 9 - sprężyna płaska, 10 - kolek, 11 - wkręty regulacyjne, 12 - wskazówka, 13 - podziałka, 14 - górny ogranicznik przesuwu, 15 - tłumik olejowy, 16 - dolny ogranicznik przesuwu

jednej połowie w lewo, a na drugiej w prawo. W środku taśmy jest przymocowana szklana wskazówka 12, a w jej pobliżu tłumik olejowy 15. Sama taśma jest zamocowana z jednej strony nieruchomo do płaskiej sprężyny 9, a z drugiej - do sprężyny 7, połączonej z trzpieniem pomiarowym 2 osadzonym w korpusie 4, z dolnym ogranicznikiem przesuwu 16. Górny ogranicznik przesuwu 14 jest przymocowany do obudowy 6. Przemieszczenie trzpienia pomiarowego 2 za pośrednictwem sprężyny 7 powoduje rozciąganie lub zwalnianie taśmy 8 i obrót wskazówki 12. Wstępne naprężenie taśmy uzyskuje się za pomocą wkrętów 11. Ponieważ taśma 8 jest przymocowana do sprężyny 7, ruch trzpienia pomiarowego powoduje nie tylko rozciąganie, ale i pewne ugięcie sprężyny 9. Wielkość tego ugięcia zależy od jej długości i przemieszczenia trzpienia pomiarowego. Sprężyna śrubowa 5 zapewnia nacisk pomiarowy w granicach $2 \div 3 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$. Wartość działki

elementarnej wynosi najczęściej $1\ \mu\text{m}$. Błąd wskazań nie przekracza $\pm 0,6\ \mu\text{m}$. Zakres pomiarowy przyrządu $\pm 30\ \mu\text{m}$. Na końcu trzpienia pomiarowego 2, w zależności od kształtu powierzchni mierzonej, można zakładać różnego rodzaju nasadki pomiarowe 1.

2.5. Przyrządy dźwigniowo-optyczne

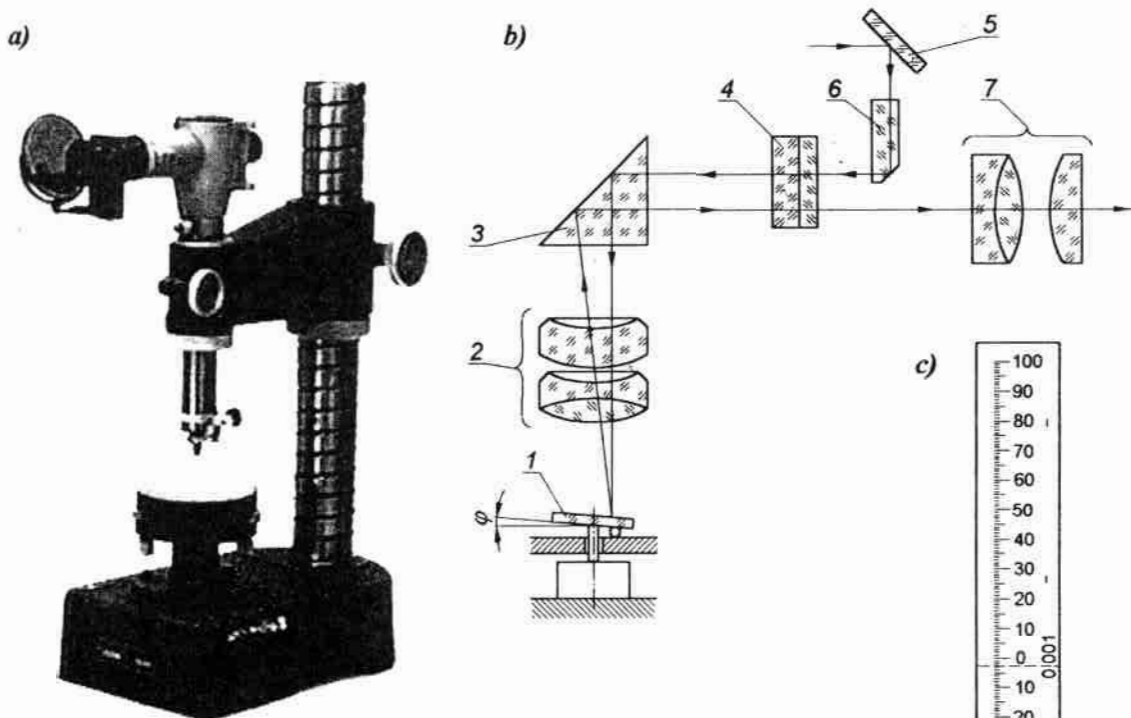
Najczęściej spotykanymi przyrządami tej grupy są: *optimetr*, *ultraoptimetr* oraz *tolerometr*.

2.5.1. Optimetr

Optimetr jest czujnikiem dźwigniowo-optycznym przeznaczonym głównie do wykonywania dokładnych pomiarów porównawczych. Ogólny widok optimetru i zasadę jego działania przedstawiono na rys. 49. Promień świetlny po odbiciu od lustra 5 i przejściu przez pryzmat 6 pada na płytkę 4, na której nacięto podziałkę. Obraz dowolnego punktu tej podziałki odbija się od pryzmatu 3, przechodzi przez obiektyw 2 i pada na lustro 1. Na skutek wychylenia lustra 1 z położenia poziomego promień wędruje inną drogą ponownie przez obiektyw 2, pryzmat 3, płytkę 4 do okularu 7. Na drugiej części płytki 4 znajduje się stały wskaźnik w postaci linii. Obraz podziałki przesuwa się względem nieruchomego wskaźnika proporcjonalnie do kąтового wychylenia zwierciadła. Wartość działki elementarnej wynosi $1\ \mu\text{m}$, zaś błąd wskazań nie przekracza $\pm 0,3\ \mu\text{m}$. Jeżeli do pomiaru używa się nasadki o płaskiej lub pryzmatycznej końcówce, to górną powierzchnię stolika należy ustawić równoległe do powierzchni lub grani pomiarowej. Do tego celu służą odpowiednie śruby regulacyjne stolika. Do ustawienia stolika należy użyć dokładnego walca kontrolnego lub płaskorównoległej płytki interferencyjnej.

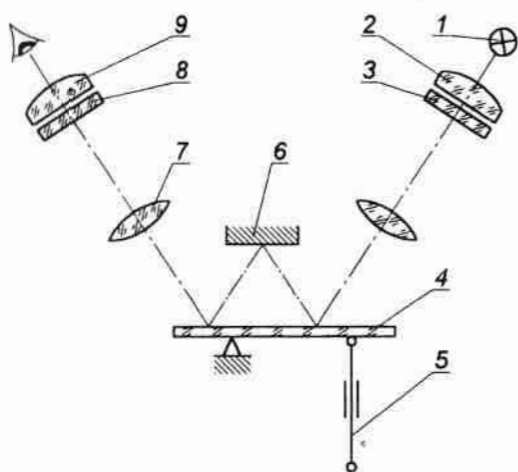
2.5.2. Ultraoptimetr

Konstrukcja *ultraoptimetru* różni się od konstrukcji optimetru tym, że wprowadzono dodatkowe stałe zwierciadło oraz tym, że źródło



Rys. 49. Optometr pionowy: a) wygląd zewnętrzny, b) układ optyczny, c) widok w okularze;

1 - lustro wychylne, 2 - obiektyw, 3 - pryzmat, 4 - płytka z podziałką, 5 - lustro oświetlacza, 6 - płytka pryzmatyczna, 7 - okular



Rys. 50. Schemat ultraoptimetru;

1 - źródło światła, 2 - kondensator, 3 - płytka z podziałką, 4 - zwierciadło, 5 - trzpień pomiarowy, 6 - zwierciadło, 7 - obiektyw, 8 - płytka ze wskaźnikiem, 9 - okular

światła umieszczono w przyrządzie oddzielając je od układu obserwacyjnego. Schemat ultraoptimetru przedstawiono na rys. 50. Strumień świetlny ze źródła 1 przechodzi przez kondensator 2, płytkę z podziałką 3 i pada na zwierciadło 4 wychylane za pomocą trzpienia pomiarowego 5. Po dwukrotnym odbiciu się od zwierciadła 4, dzięki zwierciadłu 6, strumień świetlny zostaje skierowany na obiektyw 7. W ognisku obiektywu 7 jest umieszczona płytka ze wskaźnikiem 8. Podziałka oraz wskaźnik są obserwowane w okularze 9. Dwukrotne odbicie promieni od powierzchni zwierciadła zwiększa przełożenie przyrządu. Przełożenie to można określić wzorem

$$\eta = \frac{f \operatorname{tg} 4\alpha}{l \operatorname{tg} \alpha}, \quad (30)$$

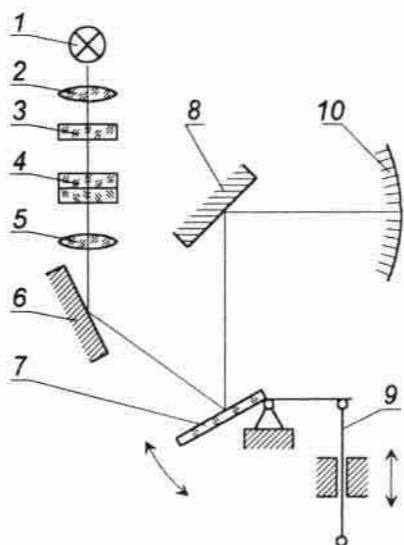
gdzie: f - długość ogniskowej obiektywu,
 l - długość ramienia dźwigni ultraoptimetru,
 α - kąt wychylenia dźwigni ultraoptimetru.

Ultraoptimetry mają najczęściej przełożenie $5000\times$, zaś działkę elementarną $0,0002 \text{ mm}$ i zakres pomiarowy $\pm 0,083 \text{ mm}$.

2.5.3. Tolerametr

Zaletą *tolerametru* jest bardzo dokładny i łatwy sposób odczytu wyniku pomiaru. Schemat przyrządu przedstawiono na rys. 51. Promienie od źródła światła 1 przez kondensator 2 i płytkę ochronną 3 oświetlają płytkę ze wskaźnikiem 4. Obraz wskaźnika, poprzez obiektyw 5, zwierciadła 6, 7 i 8 jest przekazywany na ekran 10. Przy przesunięciu trzpienia pomiarowego 9 obraca się zwierciadło 7. W ten sposób zmienia się położenie obrazu wskaźnika na ekranie. Przyrząd jest zaopatrzony w dwa filtry: czerwony i niebieski, służące do nastawiania granic tolerancji przedmiotów przy pomiarach seryjnych. Tolerametr ma zakres pomiarowy $\pm 0,075 \text{ mm}$, wartość działki elementarnej $1 \mu\text{m}$. Graniczny błąd pomiaru wyraża się wzorem

$$\Delta L_1 = \pm \left(0,5 + \frac{L_1}{100} \right) \mu\text{m}. \quad (31)$$



Rys. 51. Schemat tolerametru;

1 - źródło światła, 2 - kondensator, 3 - płytki ochronna, 4 - płytki ze wskaźnikiem, 5 - obiektyw, 6, 7, 8 - zwierciadła, 9 - trzpień pomiarowy, 10 - ekran z podziałką

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Używając minimetru zmierzyć wysokość dziesięciu przedmiotów. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 1 karty pomiarów. Do ustawienia minimetru na zero używać płytek wzorcowych.

Zadanie 2

Za pomocą ortotestu zmierzyć średnicę dziesięciu wałków ustawiając przyrząd na wymiar nominalny przy użyciu płytek wzorcowych. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Stosując mikrokator zmierzyć wysokość dziesięciu przedmiotów. Przyrząd uprzednio ustawić na wymiar nominalny za pomocą płytek wzorcowych. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Za pomocą optimetru zmierzyć wysokość dziesięciu przedmiotów. Przyrząd uprzednio ustawić na wymiar nominalny za pomocą płytek wzorcowych. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4 karty pomiarów.

Zadanie 5

Za pomocą tolerametry zmierzyc średnicę dziesięciu wałków w kilku przekrojach. Przyrząd uprzednio ustawić na wymiar nominalny za pomocą płytek wzorcowych. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 5 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz karty pomiarów, należy zamieścić niezbędne schematy przyrządów pomiarowych, szkice pomiarów oraz wnioski.

7

Ćwiczenie laboratoryjne nr 7. Pomiary przy użyciu mikroskopów pomiarowych i projektorów

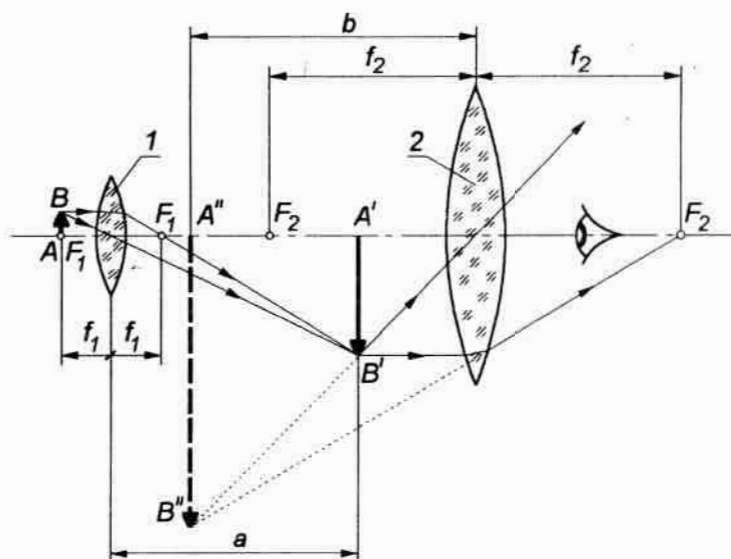
1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z budową mikroskopów i projektorów oraz ich wykorzystaniem i techniką pomiarów

2. Podstawy teoretyczne

W pomiarach używa się najczęściej dwóch typów mikroskopów: *mikroskopu warsztatowego* (mały i duży) oraz *mikroskopu uniwersalnego*. Mikroskopy te różnią się rodzajem układów pomiarowych, zakresem pomiarowym, dokładnością pomiaru oraz umożliwiają pomiary przedmiotów różnej wielkości. Układ optyczny każdego mikroskopu składa się z okularu 2 i obiektywu 1. Na rys. 52 przedstawiono schemat układu optycznego mikroskopu. *Powiększenie mikroskopu* V jest iloczynem powiększeń obiektywu V_{ob} i okularu V_{ok} i można je obliczyć ze wzoru

$$V = \frac{A'' B''}{AB} = V_{ok} V_{ob}. \quad (32)$$

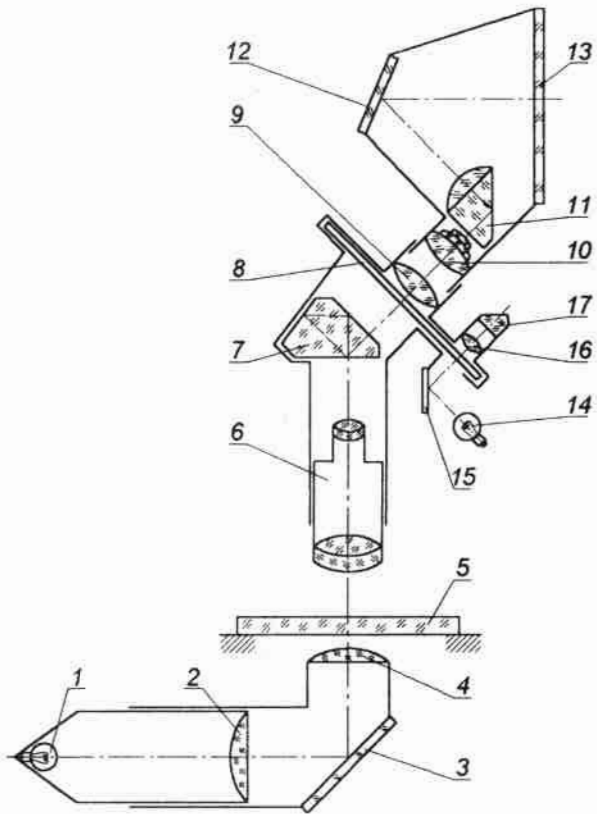


Rys. 52. Układ optyczny mikroskopu pomiarowego;

1 - obiektyw, 2 - okular, a - odległość obrazu rzeczywistego od płaszczyzny głównej obiektywu, b - odległość obrazu pozornego od płaszczyzny głównej okularu, f_1 - ogniskowa obiektywu, f_2 - ogniskowa okularu, F_1 - ognisko obiektywu, F_2 - ognisko okularu, AB - przedmiot, $A''B''$ - obraz przedmiotu

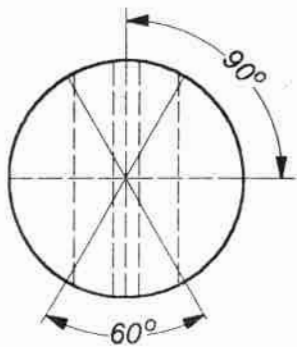
2.1. Mikroskop warsztatowy

Bieg promieni w *mikroskopie warsztatowym* przedstawiono na rys. 53. Światło ze źródła światła 1 przechodzi przez soczewkę 2, odbija się od zwierciadła 3, przechodzi przez kondensator 4, a następnie obok przedmiotu umieszczonego na stoliku 5. Obraz przedmiotu przekazywany jest przez obiektyw 6, pryzmat 7 oraz soczewki 9 i 10 do przystawki projekcyjnej zawierającej pryzmat 11, zwierciadło 12 i ekran 13. Zamiast przystawki projekcyjnej w miejscu soczewki 10 można ustawić okular do obserwacji bezpośredniej. Na płytce 8 są nacięte kreski przerywane jako elementy odniesienia oraz podziałka kątowna obserwowana za pomocą okularu 16 i pryzmatu 17. Podziałkę oświetla żarówka 14 za pośrednictwem zwierciadła 15. Płytkę 8 jest podstawowym elementem głowicy goniometrycznej, służącej do obserwacji przedmiotu mierzonego. Na rys. 54 przedstawiono pole widzenia w okularze tej głowicy.

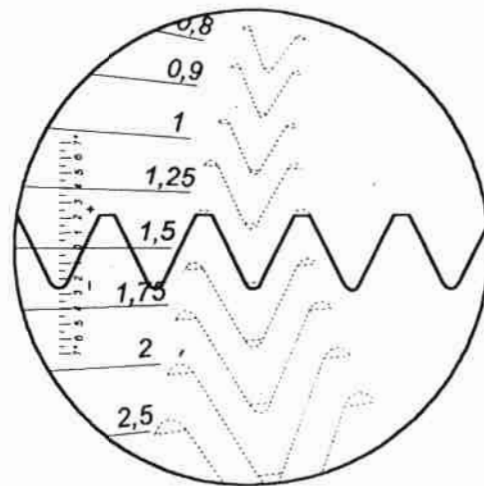


Rys. 53. Układ optyczny mikroskopu warsztatowego;

1 - źródło światła, 2 - soczewka, 3 - zwierciadło, 4 - kondensator, 5 - stół, 6 - obiektyw, 7 - pryzmat, 8 - płyta z krzyżem goniometrycznym i podziałką kątową, 9 i 10 - soczewki, 11 - pryzmat, 12 - zwierciadło, 13 - ekran, 14 - oświetlacz, 15 - zwierciadło, 16 - okular, 17 - pryzmat



Rys. 54. Pole widzenia mikroskopu pomiarowego



Rys. 55. Pole widzenia w okularze mikroskopu przy sprawdzaniu gwintu metrycznego o skoku 1,5 mm

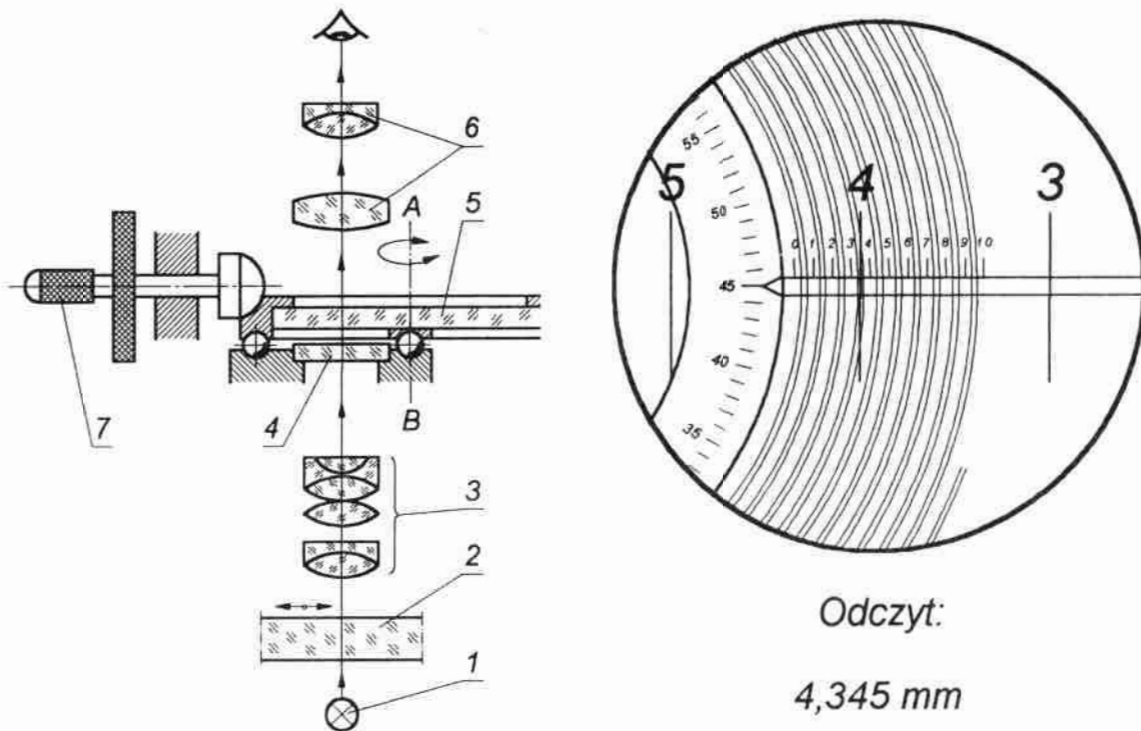
Mikroskopy umożliwiają wykonanie następujących pomiarów długości i kątów:

- pomiary przedmiotów o powierzchniach trudno dostępnych dla innych urządzeń pomiarowych,
- pomiary przedmiotów małych,
- pomiary w świetle odbitym i przechodzącym,
- pomiary za pomocą głowicy okularowej i ekranu projekcyjnego,
- pomiary we współrzędnych prostokątnych i biegunowych.

W celu zapewnienia w szerokim zakresie zastosowania mikroskopu przewidziano w jego wyposażeniu niektóre dodatkowe urządzenia, jak: kły zewnętrzne i wewnętrzne, uchwyt pryzmowy, wsporniki pryzmowe, czujnik optyczno-mechaniczny, nożyki pomiarowe, przystawkę fotograficzną i przyrządy ustawcze oraz kontrolne. Mikroskopy warsztatowe wyposażone są ponadto w głowice do pomiarów gwintów metrycznych (pole widzenia w okularze tej głowicy przedstawia rys. 55), gwintów Whitwortha, głowice zarysów kątów 30° i 40° do sprawdzania ślimaków, zarysów innych kątów, głowice z zarysami promieni itp. Do wyposażenia każdego mikroskopu należą także obiektywy o powiększeniu: $1\times$; $1,5\times$; $3\times$; $5\times$, co przy powiększeniu okularu $10\times$ umożliwia obserwację z powiększeniem $10\times$; $15\times$; $30\times$; $50\times$. Stolik mikroskopu warsztatowego ma przesuw wzdłużny (mały mikroskop w zakresie: 25 mm śruba + 50 mm płytki wzorcowe; duży mikroskop w zakresie 25 mm śruba + 125 mm płytki wzorcowe), oraz przesuw poprzeczny (mały mikroskop w zakresie: 25 mm śruba; duży mikroskop w zakresie: 25 mm śruba + 25 mm płytki wzorcowe). Duży mikroskop warsztatowy ma ponadto stolik obrotowy w zakresie od 0 do 360° . Przy pomiarach specjalnych istnieje możliwość przechylania kolumny mikroskopu w zakresie $\pm 12^\circ 30'$.

2.2. Mikroskop uniwersalny

Mikroskop uniwersalny ma budowę podobną do mikroskopu warsztatowego. Różni się od mikroskopu warsztatowego znacznie szerszym zakresem pomiarowym, większą dokładnością pomiarów długości i kątów oraz bogatszym wyposażeniem.



Rys. 56. Mikroskop odczytowy z noniusem spiralnym

1 - źródło światła, 2 - wzorec kreskowy milimetrowy, 3 - obiektyw, 4 - płytka z działką elementarną 0,1mm, 5 - płytka szklana z naciętą spiralą Archimedesesa oraz podziałką obwodową, 6 - okular, 7 - pokrętko

W mikroskopach uniwersalnych zastosowano pomiar przemieszczeń liniowych stołu za pomocą szklanych wzorców kreskowych i specjalnych urządzeń odczytowych. Najczęściej spotykanym urządzeniem odczytowym jest noniusz spiralny. Na rys. 56 przedstawiono schemat budowy mikroskopu z noniusem spiralnym oraz pole widzenia w jego okularze.

Zasada działania mikroskopu z noniusem spiralnym jest następująca: strumień światła ze źródła 1 przechodzi przez szklany wzorec kreskowy 2. Obraz kresek wzorca 2 jest rzutowany za pomocą obiektywu 3 w przestrzeń między płytkami 4 i 5. Płytkę 4 ma na górnej powierzchni naciętą podziałkę o długości działki elementarnej 0,1 mm oraz wskaźnik. Płytkę szklaną 5 jest zamocowana obrotowo i na dolnej powierzchni ma naciętą podwójną spiralę Archimedesesa o skoku 0,1 mm oraz podziałkę obwodową. Wskazy wzorca kreskowego 2, podziałka

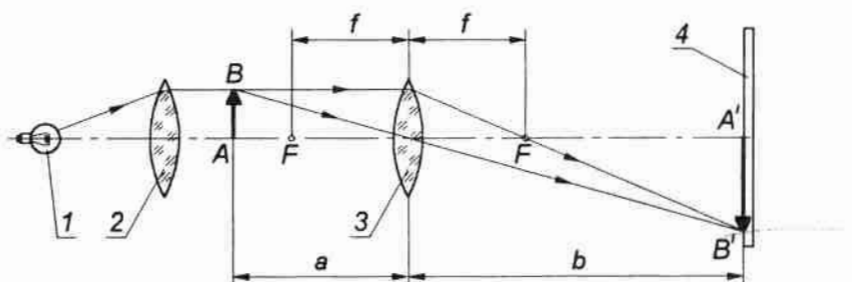
oraz wskaźnik płytki 4, a także spirala Archimedesesa i podziałka obwodowa płytki 5 są obserwowane przez okular 6. Przy kręceniu pokrętle 7 następuje przemieszczenie spirali względem obrazu wskazów wzorca 2 i podziałki naniesionej na płytce 4. Pokrętle 7 obracamy do momentu symetrycznego wprowadzenia między dwa zwoje spirali kreski wzorca kreskowego 2. Odczytu dokonujemy w następujący sposób: milimetry są widoczne w polu widzenia w postaci dużych liczb na tle noniusza spiralnego (pochodzą z wzorca kreskowego 2), dziesiąte części milimetra pokazuje podziałka płytki 4, setne i tysięczne części milimetra - podziałka obwodowa płytki 5.

Oprócz noniusza spiralnego są stosowane *mikroskopy z noniusem siatkowym*. Ostatnio wprowadza się do konstrukcji mikroskopów urządzenia z elektronicznym odczytem cyfrowym. Do wyposażenia mikroskopu uniwersalnego należą: optyczna głowica podziałowa, stół podziałowy optyczny, czujnik optyczno-mechaniczny do pomiaru otworów, okular podwójnego obrazu, podwyższony przyrząd kłowy, urządzenie czujnikowe do badania bicia, urządzenie projekcyjne i urządzenie fotograficzne. Zakres pomiarowy długości w mikroskopie uniwersalnym jest następujący: w kierunku wzdłużnym $0 \div 200$ mm, w kierunku poprzecznym $0 \div 100$ mm. Wartość działki elementarnej wynosi 0,001 mm. Pomiar kątów w zakresie $0 \div 360^\circ$ może odbywać się za pomocą optycznej głowicy podziałowej (przy czym wartość działki elementarnej wynosi $1'$), optycznego stołu podziałowego (wartość działki elementarnej $30''$) i za pomocą głowicy goniometrycznej (wartość działki elementarnej $1'$). Mikroskop uniwersalny, jak wszystkie mikroskopy pomiarowe, ma możliwość pochylania kolumny w zakresie $\pm 12^\circ 30'$.

2.3. Projektory

Projektory służą do pomiarów metodą bezstykową obrazu przedmiotu utworzonego na ekranie w wielokrotnym powiększeniu. Stosuje się je przeważnie do sprawdzania przedmiotów o skomplikowanych kształtach. Schemat optyczny projektora przedstawiono na rys. 57. Światło ze źródła 1 przez kondensator 2 oświetla przedmiot AB. Obiektyw 3 o ogniskowej f rzutuje obraz $A'B'$ na ekran 4. Pomiarów na

projektorach możemy dokonywać zarówno w świetle przechodzącym, jak i odbitym. Najczęściej jest stosowany duży projektor pomiarowy. Projektory powiększają na ogół w zakresie $5 \div 100 \times$. Błąd, którym jest obarczony pomiar na projektorze, nie powinien przekraczać 0,0005 średnicy pola widzenia.



Rys. 57. Schemat optyczny projektora;

1 - źródło światła, 2 - kondensator, 3 - obiektyw, 4 - ekran, a - odległość przedmiotu od płaszczyzny głównej obiektywu, b - odległość obrazu od płaszczyzny głównej obiektywu, f - ogniskowa obiektywu, F - ognisko obiektywu, AB - przedmiot, $A'B'$ - obraz przedmiotu

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Za pomocą małego mikroskopu warsztatowego dokonać pomiaru wymiarów zewnętrznych wskazanego detalu metodą bezstykową. Wyniki pomiarów należy wpisać do tabeli karty pomiarów.

Zadanie 2

Korzystając z małego mikroskopu warsztatowego dokonać pomiaru rozstawienia osi małych otworów używając do tego okularu podwójnego obrazu. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Przy użyciu dużego mikroskopu warsztatowego dokonać pomiaru grubości zęba ślimaka metodą bezstykową. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Przy użyciu mikroskopu uniwersalnego zmierzyć średnicę wałka metodą stykową i bezstykową, nastawiając w ostatnim przypadku różne wielkości przysłony irysowej oświetlacza. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4 karty pomiarów. W sprawozdaniu należy zamieścić wykres zależności wymiaru średnicy od wielkości użytej przysłony.

Zadanie 5

Używając projektora dokonać pomiarów wskazanego przedmiotu. Szkic sprawdzanego przedmiotu oraz wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli 5 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz karty pomiarów, należy zamieścić rysunki i szkice badanych przedmiotów oraz wykonać niezbędne obliczenia. Na końcu sprawozdania należy zamieścić wnioski i spostrzeżenia z przeprowadzonych pomiarów.

Ćwiczenie laboratoryjne nr 8. Pomiary długości przyrządami optycznymi

1. Cel ćwiczenia:

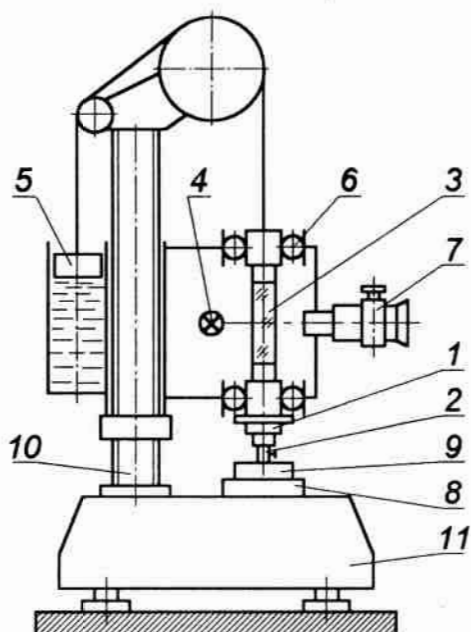
Zapoznanie studentów z budową niektórych przyrządów optycznych, metodami pomiarów oraz techniką pomiarów na tych przyrządach

2. Podstawy teoretyczne

W ćwiczeniu tym będą omawiane następujące przyrządy: długościomierz Abbego, komparator Abbego, interferometr Uwierskiego oraz komparator interferencyjny Köstera.

2.1. Długościomierz Abbego

Długościomierz Abbego jest przyrządem służącym do bezwzględnych i porównawczych pomiarów długości. Rozróżniamy *długościomierz Abbego poziomy* i *pionowy*. Zasada pomiaru obu przyrządami jest jednakowa. Różny jest natomiast kierunek pomiaru. Na rys. 58 przedstawiono schemat ideowy pionowego długościomierza Abbego. Trzpień pomiarowy 1 przesuwają się wzdłuż prowadnic tocznych 6. Końcówka pomiarowa 2, związana sztywno z trzpieniem 1,



Rys. 58. Pionowy długościomierz Abbego;

1 - trzpień pomiarowy, 2 - końcówka pomiarowa, 3 - wzorzec kreskowy, 4 - źródło światła, 5 - przeciwcieżar, 6 - prowadnica toczna, 7 - mikroskop odczytowy, 8 - stolik pomiarowy, 9 - przedmiot mierzony, 10 - kolumna, 11 - podstawa

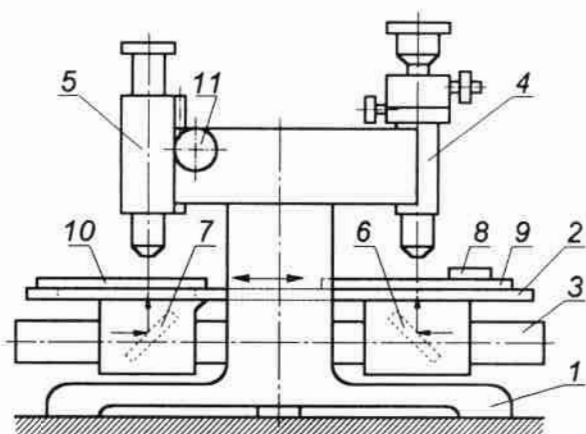
dotyka przedmiotu 9 usytuowanego na stoliku 8. Z trzpieniem pomiarowym jest sztywno związany szklany wzorzec kreskowy 3. Działka elementarna wzorca kreskowego 3 wynosi 1 mm, a jego długość na ogół nie przekracza 100 mm. Źródło światła 4 oświetla wzorzec kreskowy 3, który może być obserwowany przez mikroskop 7. Przeciwcieżar 5 służy do ograniczenia prędkości przesuwu trzpienia pomiarowego 1. Całość urządzenia może być przemieszczana względem kolumny 10 i stolika 8, a przez to jest możliwe zwiększenie zakresu pomiarowego. Stolik pomiarowy 8 powinien być ustalony prostopadle do kierunku przesuwu trzpienia pomiarowego 1. Mikroskop 7 ma noniusz spiralny, którego budowę przedstawiono w ćwiczeniu poprzednim. W nowoczesnych konstrukcjach długościomierzy stosuje się odczytowe układy projekcyjne lub elektroniczny odczyt cyfrowy. Zakres pomiarowy przyrządu wynosi $0 \div 200$ mm. Nacisk pomiarowy może być regulowany w granicach $0,25 \div 2,5$ N. Błąd pomiaru przy użyciu tego przyrządu oblicza się ze wzoru

$$e = \pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right) \mu\text{m}, \quad (33)$$

gdzie: L - długość przedmiotu mierzonego, mm.

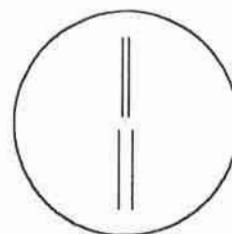
2.2. Komparator Abbego

Komparator Abbego jest przyrządem pomiarowym służącym do porównania wzorców kreskowych długości z wzorcową podziałką urządzenia. Najczęściej komparator Abbego jest stosowany do pomiarów i sprawdzania podziałek, różnego typu rastrów liniowych oraz do pomiarów spektrogramów. Schemat urządzenia przedstawiono na rys. 59.



Rys. 59. Komparator Abbego;

1 - korpus, 2 - stolik, 3 - prowadnica, 4 - mikroskop odczytowy, 5 - mikroskop obserwacyjny, 6 i 7 - zwierciadła, 8 - termometr stykowy, 9 - wzorzec, 10 - przedmiot mierzony, 11 - pokrętło



Rys. 60. Pole widzenia mikroskopu obserwacyjnego

Badany przedmiot 10 ustawiamy na stoliku 2. Oświetlenie zewnętrzne za pomocą zwierciadła 7 jest kierowane na badany przedmiot. Pokrętłem 11 ustawiamy ostrość mikroskopu obserwacyjnego 5. Następnie badany przedmiot 10 należy usytuować na stoliku 2 w taki sposób, aby linia pomiaru była równoległa do kierunku naniesienia podziałki. Mikroskop odczytowy 4 ustawiamy na odpowiednią ostrość, oświetlamy wzorzec 9 za pomocą zwierciadła 6 i notujemy temperaturę na termometrze stykowym 8. Mikroskop odczytowy jest zaopatrzony w noniusz spiralny. W mikroskopie obserwacyjnym, na siatce okularu, są naniesione cztery kreski tak, jak przedstawiono to na rys. 60.

Symetrycznie między te kreski wprowadzamy pierwszą kreskę badanej podziałki i dokonujemy pierwszego odczytu w mikroskopie odczytowym. Następnie przesuwamy stolik 2 (rys. 59) wzdłuż prowadnicy 3, przymocowanej do korpusu 1, i między kreskami mikroskopu obserwacyjnego ustawiamy kolejną kreskę sprawdzanej podziałki. Dokonujemy drugiego odczytu w mikroskopie odczytowym i obliczamy różnicę pierwszego i drugiego odczytu. Różnica ta stanowi zmierzoną odległość między kreskami sprawdzanej podziałki. Błąd pomiaru oblicza się ze wzoru

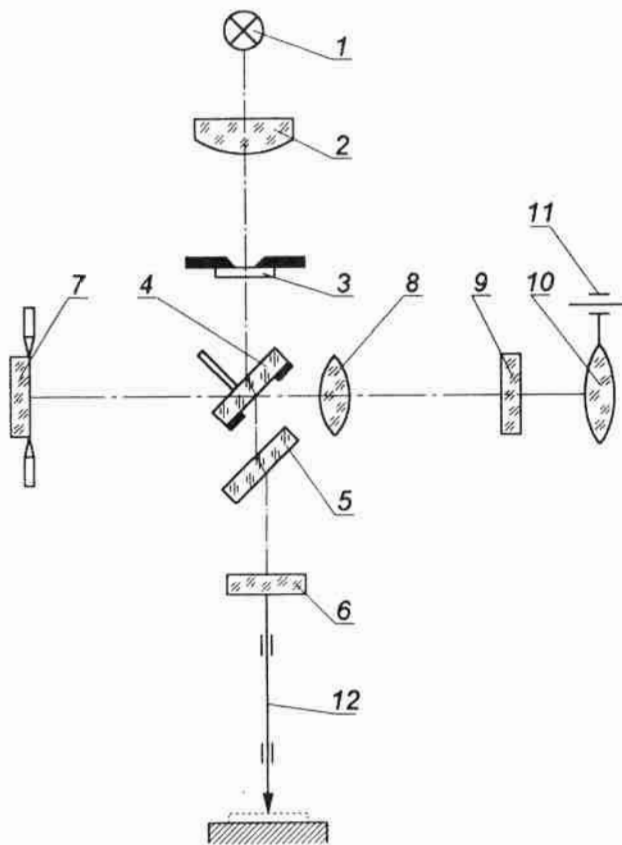
$$e = \pm \left(0,9 + \frac{L}{300 - 4h} \right) \mu\text{m} , \quad (34)$$

gdzie: L - mierzona długość, mm,
 h - wysokość przedmiotu mierzonego, mm.

Przy większych dokładnościach pomiaru należy uwzględnić rozszerzalność cieplną przedmiotu badanego oraz podziałki wzorcowej. Wzorzec z podziałką jest wykonany ze specjalnego szkła, którego współczynnik rozszerzalności liniowej odpowiada współczynnikowi rozszerzalności liniowej materiału stolika i wynosi $10 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Ponadto należy uwzględnić poprawkę na wykonanie podziałki wzorcowej. Wartość ta jest podana w certyfikacie urządzenia.

2.3. Interferometr Uwierskiego

Przyrządy interferencyjne wykorzystują zjawisko interferencji fal świetlnych. W interferometrach przeznaczonych do pomiarów długości jest stosowany na ogół klasyczny schemat optyczny interferometru Michelsona. Ogólnie interferometry przeznaczone do pomiarów długości można podzielić na stykowe i bezstykowe. Najbardziej rozpowszechnionym interferometrem stykowym jest tzw. *interferometr Uwierskiego*. Służy on do pomiarów porównawczych. Na rys. 61 przedstawiono schemat optyczny przyrządu. Strumień świetlny ze źródła światła 1 przez soczewkę skupiającą 2 i filtr 3 pada na płytkę półprzezroczystą 4. Część strumienia odbija się od powierzchni płytki 4 i zostaje skierowana na zwierciadło 7, a następnie ponownie wraca do płytki 4. Druga część



Rys. 61. Schemat optyczny interferometru Uwierskiego;

1 - źródło światła, 2 - soczewka skupiająca, 3 - filtr, 4 - płytki rozdzielcza, 5 - płytki kompensacyjna, 6 i 7 - zwierciadła, 8 - obiektyw, 9 - płytki z podziałką, 10 - okular, 11 - obrotowe zamocowanie okularu, 12 - trzpień pomiarowy

strumienia przechodzi przez płytkę półprzezroczystą 4, płytkę kompensacyjną 5, odbija się od zwierciadła 6 i ponownie przez płytkę kompensacyjną 5 wraca do płytki 4. Na skutek różnicy dróg przebytych przez obie części strumienia na powierzchni płytki 4 zachodzi zjawisko interferencji światła. Obraz interferencyjny może być obserwowany poprzez obiektyw 8 i okular 10 - zamocowany obrotowo na osi 11. Na płytce 9 znajduje się podziałka kreskowa. Przy przemieszczeniu trzpienia pomiarowego 12 zmienia się położenie zwierciadła 6, co w rezultacie powoduje przesunięcie obrazu interferencyjnego względem podziałki okularu. W wyniku interferencji światła białego możemy obserwować czarne achromatyczne pasmo, którego położenie określa wymiar mierzonego przedmiotu. Działka elementarna przyrządu może przyjmować dowolną wartość w zależności od odległości prążków interferencyjnych. Zalecana wartość działki elementarnej wynosi $0,1 \mu\text{m}$. Ustalenie działki elementarnej przyrządu następuje przy wprowadzonym

w bieg promieni filtrze monochromatycznym. Wartość działki elementarnej wyraża się wzorem

$$j = \frac{\lambda_m k}{2 n} \mu\text{m} , \quad (35)$$

gdzie: j - wartość działki elementarnej,
 λ_m - długość fali światła monochromatycznego, μm ,
 k - liczba prążków interferencyjnych przypadająca na n działek elementarnych podziałki,
 n - liczba działek elementarnych podziałki odpowiadająca k prążkom interferencyjnym.

Zmiany odległości prążków interferencyjnych dokonuje się przez pochylenie zwierciadła odniesienia 7 za pomocą śrub regulacyjnych. Pomiarów za pomocą interferometru Uwierskiego dokonujemy przez porównanie przedmiotu mierzonego ze wzorcem. Niedokładność pomiaru płytek wzorcowych wykonanych ze stali oblicza się ze wzoru

$$\Delta L = \pm \left[|\Delta L_w| + |\Delta a_1| + |\Delta a_2| + |\Delta(a_2 - a_1)| + 10^{-6} \cdot 11,5 \cdot L |\Delta t_1| \right] \mu\text{m}, \quad (36)$$

gdzie: ΔL_w - graniczny błąd wzorca, μm ,
 $\Delta a_1, \Delta a_2$ - graniczne błędy odczytania przy pomiarze wzorca i przedmiotu, μm ,
 $\Delta(a_2 - a_1)$ - graniczny błąd podziałki przyrządu między wskazaniem a_1 i a_2 , μm ,
 L - długość przedmiotu mierzonego, mm,
 Δt_1 - różnica temperatur przedmiotu mierzonego i wzorca, $^{\circ}\text{C}$.

Przy tym pomiarze wymaga się, aby granice, w których są zawarte odchylenia temperatury t_1 od temperatury 20°C , były nie większe niż $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, a granice, w których jest zawarta różnica temperatury wzorca i przedmiotu mierzonego, były nie większe niż $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$. W przypadku interferometru Uwierskiego pozostałe odchyłki są następujące:

$$\Delta a_1 = \Delta a_2 = \pm 0,01 \mu\text{m} , \quad (37)$$

$$\Delta(a_2 - a_1) = \pm \left(0,03 + 1,5mj \frac{\Delta\lambda_m}{\lambda_m} \right) \mu\text{m}, \quad (38)$$

gdzie: m - liczba działek elementarnych podziałki odpowiadająca różnicy wskazań a_1 i a_2 ,

$\Delta\lambda_m$ - graniczny błąd długości fali światła λ_m , mm.

Dla płytek wzorcowych

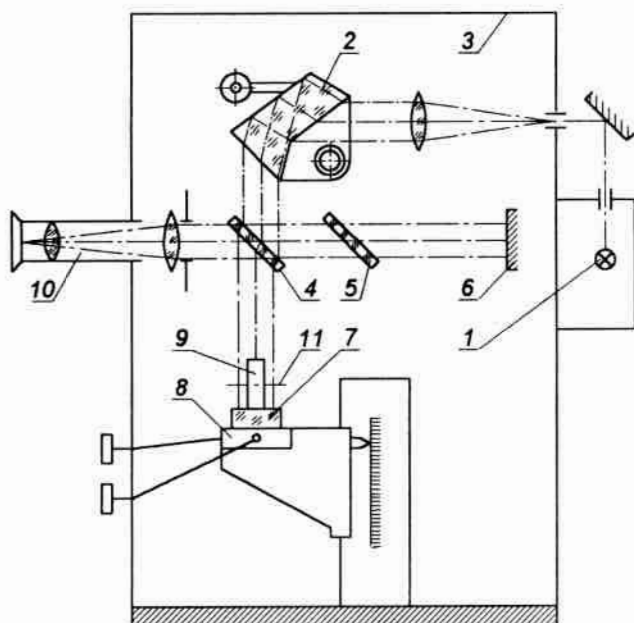
$$0 \text{ klasy } \Delta L_w = \pm(0,04 \mu\text{m} + 10^{-6}L) \mu\text{m}, \quad (39)$$

$$1 \text{ klasy } \Delta L_w = \pm(0,08 \mu\text{m} + 2 \cdot 10^{-6}L) \mu\text{m}, \quad (40)$$

gdzie: L - długość przedmiotu mierzonego, mm.

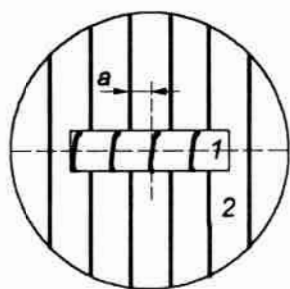
2.4. Komparator interferencyjny

Do bardzo dokładnych pomiarów płaskorównoległych wzorców długości, przede wszystkim płytek wzorcowych, są stosowane *komparatory interferencyjne*. Porównują one mierzoną długość z długością fali światła. Do najczęściej stosowanych należy *komparator interferencyjny Köstera*. Schemat urządzenia przedstawiono na rys. 62. Strumień świetlny ze źródła światła 1 (lampa helowa lub kryptonowa) zostaje za pomocą układu optycznego skierowany do wnętrza obudowy 3. Następnie w postaci wiązki równoległej pada on na pryzmat 2 monochromatora. Monochromator składa się z pryzmatu 2 oraz mechanizmu umożliwiającego obrót pryzmatu wokół osi. Przez obrót pryzmatu na półprzezroczystą płytkę podziałową 4 można skierować światło o odpowiedniej długości fali (barwie). Część strumienia odbija się od płytki 4, przechodzi przez płytkę kompensacyjną 5, odbija się od zwierciadła odniesienia 6 i poprzez płytkę 5 wraca na płytkę podziałową 4. Druga część strumienia przechodzi przez płytkę 4, odbija się od powierzchni szklanej płytki interferencyjnej 7 (umieszczonej na stoliku 8) oraz górnej powierzchni wzorca 9 i powraca do płytki 4. Na powierzchni płytki 4 zachodzi interferencja obu strumieni świetlnych. Obraz interferencyjny (rys. 63) może być obserwowany przez lunetę obserwacyjną 10 (rys. 62). Wartość przesunięcia a prążków



Rys. 62. Komparator interferencyjny Köstera;

1 - źródło światła, 2 - pryzmat, 3 - obudowa, 4 - płytka podziałowa, 5 - płytka, 6 - zwierciadło odniesienia, 7 - płytka interferencyjna, 8 - stolik, 9 - mierzona płytka wzorcowa, 10 - luneta obserwacyjna, 11 - płaszczyzna odniesienia



Rys. 63. Obraz prążków interferencyjnych w komparatorze Köstera;

a - wartość przesunięcia prążków interferencyjnych, 1 - płytka wzorcowa, 2 - płytka interferencyjna

interferencyjnych widocznych na płytkach interferencyjnej i wzorcowej jest podstawą do wyznaczenia długości płytki wzorcowej. Metoda sprawdzenia wzorców za pomocą komparatora Köstera, nazywana metodą reszt ułamkowych, jest określona w instrukcji urządzenia. Dzięki temu, że płaszczyzna odniesienia 11 znajduje się w połowie wysokości wzorca badanego, zakres pomiarowy zwiększa się dwukrotnie przy danych gabarytach przyrządu. Należy ponadto zaznaczyć, że komparator Köstera jest przystosowany do pomiarów interferencyjnych długości zarówno metodą bezwzględną, jak i porównawczą. W ostatnim przypadku należy jednak do oświetlenia użyć światła białego.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Za pomocą pionowego długościomierza Abbego zmierzyć wysokość pięciu wałków. Wyniki pomiarów oraz obliczenie błędu pomiaru zanotować w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Za pomocą komparatora Abbego zmierzyć odległość dwóch dowolnie wybranych prążków spektrogramu żelaza *Armco* oraz spektrogramu węgla spiekanego. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Za pomocą interferometru Uwierskiego wykonać pomiar wysokości przedmiotu, ustawiając uprzednio interferometr za pomocą stosu płytek wzorcowych. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Za pomocą komparatora interferencyjnego Köstersa dokonać pomiaru płytki wzorcowej klasy 1 o wymiarze nominalnym 1 mm metodą bezwzględną. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 4 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, student powinien zamieścić niezbędne rysunki i szkice oraz obliczenia błędów pomiarów, a także wnioski.

9

Ćwiczenie laboratoryjne nr 9. Pomiary długości przyrządami pneumatycznymi

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z niektórymi przyrządami pneumatycznymi oraz techniką pomiarów za pomocą tych przyrządów

2. Podstawy teoretyczne

Przyrządy pneumatyczne są w szerokim zakresie stosowane w pomiarach wielkości geometrycznych. Szczególnie dotyczy to kontroli czynnej przedmiotów w procesie produkcji. Przyrządy pneumatyczne można w uproszczeniu podzielić na trzy grupy:

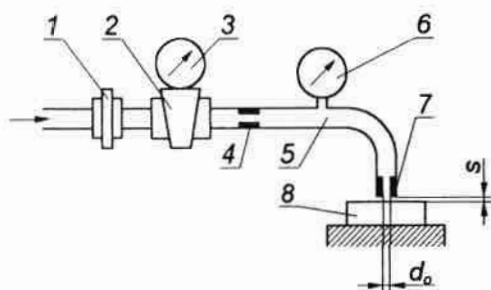
- przyrządy ciśnieniowe,
- przyrządy przepływowe (prędkościowe),
- przyrządy natężeniowe (ilościowe).

Najczęściej są stosowane przyrządy ciśnieniowe i natężeniowe. W przyrządach ciśnieniowych i przepływowych jest wykorzystana zależność między ciśnieniem czynnika przepływającego przez układ a wielkością szczeliny między dyszą pomiarową i przedmiotem mierzonym. W przyrządach natężeniowych wykorzystuje się zależność między natężeniem wypływu a wielkością szczeliny.

2.1. Przyrządy pneumatyczne ciśnieniowe

Przyrządy pneumatyczne ciśnieniowe, w zależności od wartości stosowanego ciśnienia roboczego, dzieli się na niskociśnieniowe o ciśnieniu roboczym $p_r \leq 120$ hPa i wysokociśnieniowe ($p_r = 1500 \div 6000$ hPa).

W przyrządach niskociśnieniowych używa się manometrów wodnych. Wysokość kolumny wodnej nie przekracza 1,2 m. W przyrządach wysokociśnieniowych używa się manometrów mechanicznych, a przy pomiarach metodą różnicową - również manometrów wodnych. Schemat przyrządu ciśnieniowego przedstawiono na rys. 64. Do



Rys. 64. Schemat pneumatycznego przyrządu ciśnieniowego;

s - szczelina pomiarowa, d_o - średnica dyszy pomiarowej, 1 - filtr, 2 - stabilizator, 3 - manometr, 4 - dysza wlotowa, 5 - komora pomiarowa, 6 - manometr, 7 - dysza pomiarowa, 8 - przedmiot mierzony

przyrządu jest doprowadzone sprężone powietrze z butli, kompresora lub sieci pneumatycznej. jest ono podawane przez filtr 1 do stabilizatora 2. Ze stabilizatora powietrze o ciśnieniu roboczym p_r , które jest mierzone za pomocą manometru 3, przepływa poprzez dyszę wlotową 4 do komory pomiarowej 5. Ciśnienie pomiarowe, panujące w komorze pomiarowej, jest mierzone za pomocą manometru 6. Z komory pomiarowej powietrze wypływa przez dyszę pomiarową 7. Wielkość szczeliny s , a przez to i wartość ciśnienia pomiarowego p jest zależna od wymiaru mierzonego przedmiotu 8. Powierzchnia ograniczająca wypływ powietrza jest powierzchnią walcową F_s , obliczoną ze wzoru

$$F_s = \pi d_o s , \quad (41)$$

gdzie d_o oznacza średnicę otworu dyszy pomiarowej.

Zależność pomiędzy ciśnieniem pomiarowym p a wielkością szczeliny s wyraża wzór:

$$p = \frac{p_r}{1 + \alpha \beta A^2 s^2}, \quad (42)$$

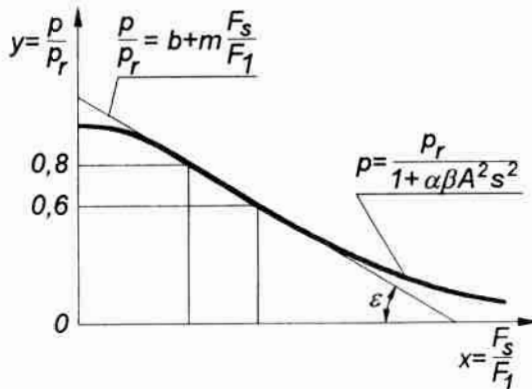
gdzie: p - ciśnienie pomiarowe,

p_r - ciśnienie robocze,

α, β, A - stałe współczynniki zależne od konstrukcji czujnika,

s - szerokość szczeliny między czołem dyszy pomiarowej i powierzchnią przedmiotu mierzonego.

W zakresie ciśnienia $p = (0,6 \div 0,8)p_r$ powyższe równanie można przedstawić graficznie jak na rys. 65. W pomiarach pneumatycznych jest



Rys. 65. Zależność między ciśnieniem a wielkością szczeliny w ciśnieniowych przyrządach pneumatycznych

wykorzystywany tylko ten odcinek charakterystyki statycznej, który z pewnym niewielkim błędem można uznać za prostoliniowy. Dlatego też można przyjąć, że charakterystyka statyczna przyrządu w zakresie pomiarowym wyraża się równaniem

$$\frac{p}{p_r} = b + m \frac{F_s}{F_1}, \quad (43)$$

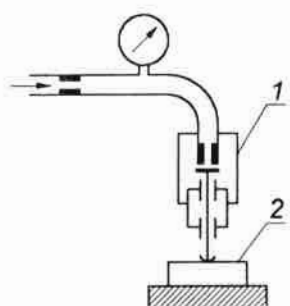
gdzie: b - parametr prostej aproksymującej charakterystykę statyczną,

m - współczynnik kierunkowy prostej aproksymującej charakterystykę statyczną,

F_s - pole powierzchni ograniczającej wypływ powietrza z czujnika,

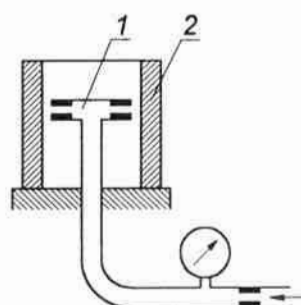
F_1 - pole powierzchni otworu dyszy wlotowej.

Przyrządy pneumatyczne ciśnieniowe można podzielić na pracujące w układzie prostym i różnicowym. Układ różnicowy jest korzystniejszy, ponieważ umożliwia zmniejszenie wrażliwości przyrządu na zmiany ciśnienia zasilania oraz zapewnia szybkie zerowanie przyrządu. W przyrządach pneumatycznych mogą być stosowane czujniki stykowe i bezstykowe. Na rys. 66 przedstawiono schemat pomiaru czujnikiem



Rys. 66. Schemat pomiaru pneumatycznym czujnikiem stykowym;

- 1 - czujnik pneumatyczny,
- 2 - przedmiot mierzony



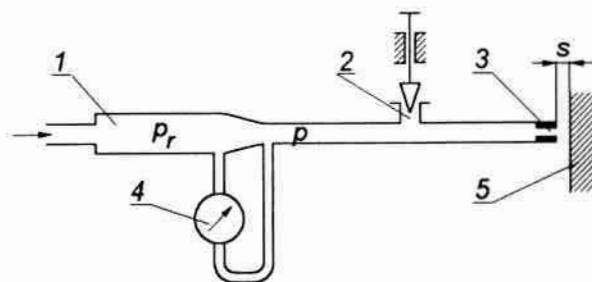
Rys. 67. Schemat pomiaru średnicy otworu czujnikiem bezstykowym;

- 1 - czujnik pneumatyczny,
- 2 - przedmiot (z otworem) mierzony

pneumatycznym stykowym, a na rys. 67 - czujnikiem bezstykowym. W kontroli czynnej największe zastosowanie znalazły przyrządy wysokociśnieniowe z czujnikami bezstykowymi. Umożliwiają one dokładne kontrolowanie wymiarów przedmiotów w czasie trwania procesu technologicznego. Wysokie ciśnienie zapewnia zwiększenie zakresu pomiarowego przyrządu, a jednocześnie powoduje oczyszczenie punktów pomiarowych, będących pod nadmuchem dysz pomiarowych. Z najważniejszych osiągnięć w rozwoju ciśnieniowych przyrządów pneumatycznych należy wymienić zastosowanie w tych przyrządach dysz eżektorowych oraz konstrukcyjne rozwiązanie przetworników ciśnieniowych zmniejszające bezwładność i zwiększające zakres pomiarowy.

2.2. Przyrządy pneumatyczne przepływowe

Przyrządy pneumatyczne przepływowe są stosowane stosunkowo rzadko. Najważniejszym elementem przyrządów przepływowych jest odpowiednio ukształtowana dysza wlotowa. Schemat przyrządu pneumatycznego przepływowego przedstawiono na rys. 68. Powietrze z układu zasilania jest kierowane do dyszy wlotowej 1. Dyszą wlotową stosowaną w tych przypadkach jest często zwężka Venturiego. Powietrze przepływające przez zwężkę zwiększa prędkość, co powoduje spadek



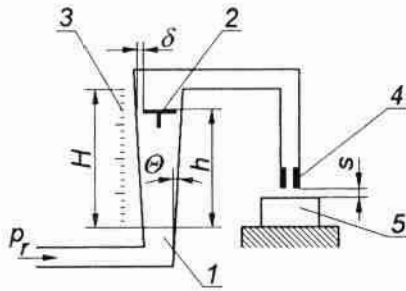
Rys. 68. Schemat pneumatycznego przyrządu przepływowego;

s - szczelina pomiarowa, p_r - ciśnienie powietrza przed zwężką, p - ciśnienie powietrza za zwężką, 1 - dysza wlotowa, 2 - dysza regulacyjna, 3 - dysza pomiarowa, 4 - manometr, 5 - przedmiot badany

ciśnienia za zwężką. Stwierdzono, że istnieje zależność między różnicą ciśnień ($p_r - p$) a wielkością szczeliny s między przedmiotem badanym 5 i dyszą pomiarową 3. Pomiaru różnicy ciśnień za i przed zwężką dokonujemy za pomocą manometru 4. Ustawienia przyrządu na wskazanie zerowe dokonujemy za pomocą dyszy regulacyjnej 2.

2.3. Przyrządy pneumatyczne natężeniowe

Przyrządy pneumatyczne natężeniowe są przyrządami wysokociśnieniowymi. W przyrządach natężeniowych rolę dyszy wlotowej spełnia pierścieniowa szczelina o zmiennej szerokości. W przyrządach



Rys. 69. Schemat pneumatycznego przyrządu natężeniowego;

p_r - ciśnienie robocze powietrza, h - wysokość wzniesienia pływaka, Θ - kąt rozwarcia rurki rotametr, δ - szczelina pierścieniowa, s - szczelina pomiarowa, 1 - rotametr, 2 - pływak, 3 - podziałka, 4 - dysza pomiarowa, 5 - przedmiot badany

natężeniowych, jako przepływomierzy, najczęściej używa się *rotametrów*. Dlatego też przyrządy natężeniowe często są nazywane *przyrządami rotametrycznymi*. Schemat przyrządu natężeniowego przedstawiono na rys. 69. Powietrze z układu zasilającego przepływa przez rurkę rotametr 1 i w zależności od wielkości szczeliny s między dyszą pomiarową 4 a badanym przedmiotem 5 powoduje wyższe lub niższe położenie pływaka 2. Wysokość uniesienia pływaka 2 rotametr może być odczytana na podziałce 3. Natężenie przepływu powietrza Q_1 przez szczelinę pierścieniową między pływakiem i rurką rotametr wynosi

$$Q_1 = \varphi_1 F_1 \sqrt{\frac{2V_p(\gamma_p - \gamma)g\gamma}{F_p}}, \quad (44)$$

gdzie: φ_1 - współczynnik wypływu powietrza przez szczelinę pierścieniową,
 F_1 - pole powierzchni dyszy pierścieniowej,
 V_p - objętość pływaka,
 γ_p - ciężar właściwy materiału pływaka,
 γ - ciężar właściwy powietrza na wlocie rotametr,
 g - przyspieszenie ziemskie,
 F_p - największa powierzchnia pływaka w przekroju poziomym,

przy czym pole przekroju szczeliny pierścieniowej wynosi

$$F_1 = \pi d_p h \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}, \quad (45)$$

gdzie: d_p - największa średnica pływaka,
 h - wysokość unoszenia pływaka,
 Θ - kąt rozwarcia rurki rotametr.

Natężenie wypływu powietrza Q_s z dyszy wylotowej wynosi

$$Q_s = C\varphi_s s, \quad (46)$$

gdzie: C - stała,

φ_s - współczynnik wypływu powietrza przez szczelinę s .

W stanie równowagi pływaka, gdy słuszna jest zależność

$$\frac{V_p(\gamma_p - \gamma)}{F_p} = p_r - p, \quad (47)$$

i przy spełnionym warunku, że liczba Reynoldsa $Re > 10^4$, zachodzi równość $Q_l = Q_s$.

Należy podkreślić, że dla zwiększenia dokładności pomiarów należy każdorazowo przeprowadzić regulowanie rotametry.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Używając przyrządu pneumatycznego niskociśnieniowego i czujnika bezstykowego ustawić przyrząd za pomocą płytek wzorcowych, a następnie dokonać pomiaru wysokości 10 przedmiotów. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Używając przyrządu wysokociśnieniowego i czujnika stykowego ustawić przyrząd za pomocą optimetru oraz wykonać pomiar wysokości 10 przedmiotów. Wyniki zestawić w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Stosując przyrząd natężeniowy dokonać pomiaru średnicy otworu metodą bezstykową. Upřednio należy przyrząd ustawić za pomocą odpowiednich sprawdzianów. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 3 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz karty pomiarów, student powinien zamieścić niezbędne szkice, rysunki i obliczenia. W końcowej części sprawozdania należy także zamieścić wnioski z pomiarów.

10

Ćwiczenie laboratoryjne nr 10. Pomiar długości czujnikami elektrycznymi

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z niektórymi czujnikami elektrycznymi oraz techniką pomiarów za pomocą tych czujników.

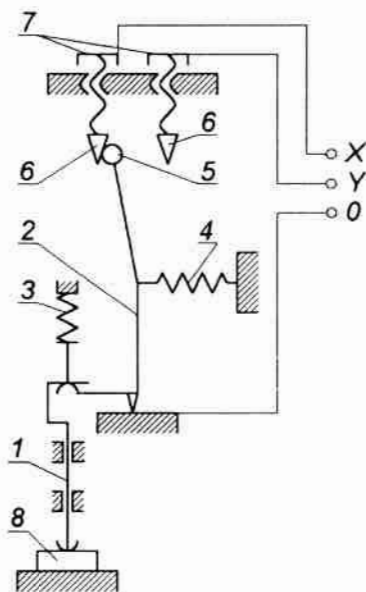
2. Podstawy teoretyczne

Czujniki elektryczne, ze względu na swe własności, są w szerokim zakresie stosowane głównie w urządzeniach kontroli czynnej oraz w urządzeniach kontrolnych i kontrolno-sortujących automatycznych linii obróbkowych i montażowych. Czujniki elektryczne składają się z dwóch zespołów: głowicy zawierającej przetwornik oraz z bloku elektrycznego. Zasada pomiaru polega na tym, że przemieszczenie liniowe lub kątowe końcówki pomiarowej odpowiadające wymiarowi mierzonego przedmiotu jest przetwarzane w głowicy, zawierającej przetwornik, na sygnał elektryczny, który jest przekazywany do bloku elektrycznego. Ze względu na rodzaj przetwarzania informacji pomiarowej w bloku elektrycznym rozróżnia się urządzenia: sygnalizujące, wskazujące, sygnalizacyjno-wskazujące, sygnalizacyjno-sterujące i sygnalizacyjno-wskazująco-sterujące. Ze względu na rodzaj przetwornika rozróżniamy czujniki: elektrostatyczne, elektropneumatyczne, indukcyjne, pojemno-

ściowe i fotoelektryczne. W niniejszym ćwiczeniu zapoznamy się jedynie z trzema pierwszymi rodzajami czujników elektrycznych.

2.1. Czujniki elektrostatyczne

Czujniki elektrostatyczne działają na zasadzie skokowej zmiany oporu (rezystancji) obwodu elektrycznego w wyniku przemieszczenia końcówki pomiarowej. Czujniki elektrostatyczne można podzielić na: jedno-, dwu- i wielostykowe. Ponadto rozróżnia się czujniki elektrostatyczne graniczne i amplitudowe. Pierwsze z nich służą do badania wymiarów, drugie natomiast do badania błędów kształtu. Ciekawą konstrukcją ma czujnik graniczny dwustykowy typu MDDh wcześniej produkowany w kraju. Schemat czujnika pokazano na rys. 70. Na skutek zmiany wymiaru przedmiotu mierzonego 8 następują



przemieszczenia trzpienia pomiarowego 1. W chwili, gdy wymiar przedmiotu 8 osiągnie wartość dolnej lub górnej granicy tolerancji, następuje styk kontaktu 5 z odpowiednim kontaktem 6. Dzięki temu gwałtownie zmniejsza się opór

Rys. 70. Schemat czujnika elektrostatycznego MDDh;
1 - trzpień pomiarowy, 2 - dźwignia, 3 i 4 - sprężyny,
5 i 6 - kontakty elektryczne, 7 - główce mikrometryczne, 8 - przedmiot mierzony

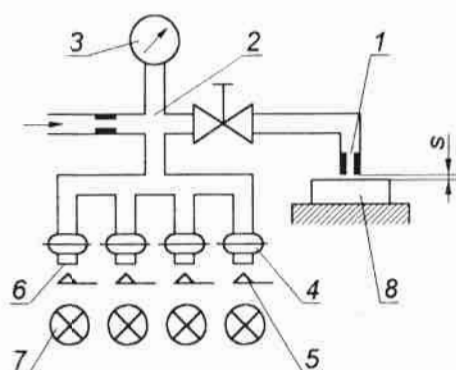
elektryczny obwodu złożonego z przewodu 0, dźwigni 2 i odpowiedniego przewodu (X lub Y), połączonego z kontaktami 6. Główce mikrometryczne 7 służą do nastawiania granic tolerancji. Ukształtowanie kontaktów 6 w postaci stożków powoduje zwiększoną dokładność

nastawienia czujnika. Sprężyny 3 i 4 wytwarzają odpowiedni nacisk pomiarowy oraz umożliwiają ciągły kontakt między trzpieniem pomiarowym 1 a dźwignią 2.

Czujnik elektrostrykowy typu MDDm jest analogicznej konstrukcji z tą różnicą, że ruch roboczy trzpienia pomiarowego jest poprzeczny. Oba czujniki mogą współpracować z urządzeniem sygnalizująco-sterującym MDNa. Zakresy pomiarowe obu czujników wynoszą $0 \div 0,3$ mm, a graniczny błąd wskazań nie przekracza $\pm 0,001$ mm.

2.2. Czujniki elektropneumatyczne

Czujniki elektropneumatyczne są to przyrządy pneumatyczne wysokociśnieniowe z wbudowanymi elementami elektrostrykowymi. Konstrukcje takich czujników są różnego rodzaju. Najczęściej jednak czuły elementami są mieszki sprężyste lub membrany. Schemat czujnika elektropneumatycznego AEROPAN B-IV niemieckiej firmy Massi przedstawiono na rys. 71. Wielkość szczeliny s między przedmiotem



Rys. 71. Schemat czujnika elektropneumatycznego AEROPAN B-IV;

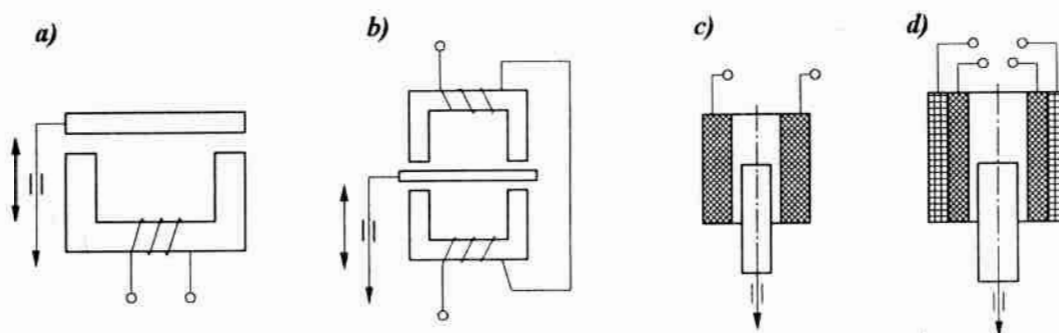
s - szczelina, 1 - dysza pomiarowa, 2 - komora pomiarowa, 3 - manometr, 4 - membrany ciśnieniowe, 5 i 6 - kontakty obwodu elektrycznego, 7 - żarówki, 8 - przedmiot mierzony

mierzonym 8 a dyszą pomiarową 1 jest zależna od wymiaru mierzonego przedmiotu. Zmiana wielkości szczeliny powoduje zmianę ciśnienia w komorze pomiarowej 2. Jednocześnie manometr 3 wskazuje wymiar przedmiotu, a jedna z membran ciśnieniowych 4 powoduje zamknięcie się jednej pary kontaktów 5 i 6 w obwodzie elektrycznym połączonym

z żarówką 7. Zakres pomiarowy przyrządu zależy od rodzaju użytego czujnika pneumatycznego. Maksymalny zakres pomiarowy wynosi $0 \div 200 \mu\text{m}$, a liczba par kontaktów łączących - cztery.

2.3. Czujniki indukcyjne

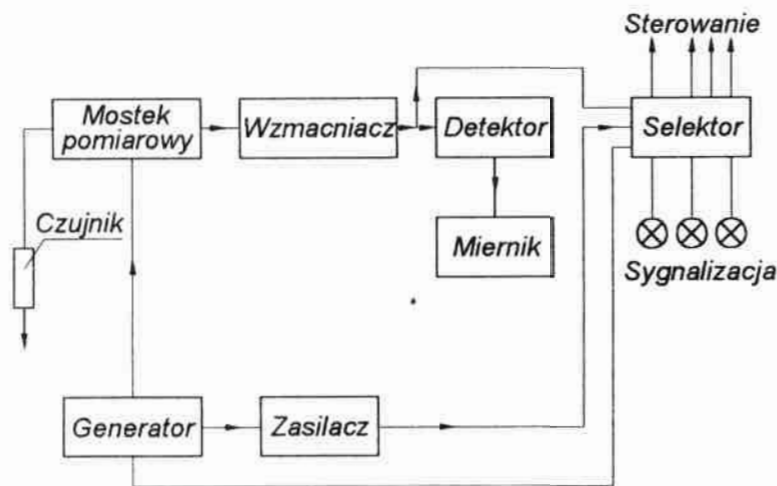
W czujnikach indukcyjnych wykorzystano zmianę indukcyjności L cewek przetwornika pod wpływem przesunięcia trzpienia pomiarowego. Zmiana indukcyjności cewek przetwornika może być realizowana w różny sposób. Na rys. 72 przedstawiono kilka możliwych układów



Rys. 72. Schemat czujników indukcyjnych: a) dławikowy prosty, b) dławikowy różnicowy, c) solenoidalny, d) transformatorowo-solenoidalny

elektrycznych czujników indukcyjnych. Czujniki dławikowe wykorzystują zmianę szczeliny powietrznej, a czujniki solenoidalne zmianę położenia rdzenia magnetycznego. Zaletami czujników indukcyjnych są: stosunkowo duży zakres pomiarowy, możliwość zmiany zakresu pomiarowego, duża dokładność wskazań, możliwość uzyskania kilku sygnałów sterujących, a także małe gabaryty. W Polsce produkowano kilka typów czujników indukcyjnych, wskaźników odczytowo-sygnalizująco-sterujących i przełączników pozycyjnych. Szeroko stosowanym jest czujnik MDKa-C pracujący w układzie transformatorowo-solenoidalnym. Może on współpracować ze wskaźnikami typu MDNf - GIMETR-1,

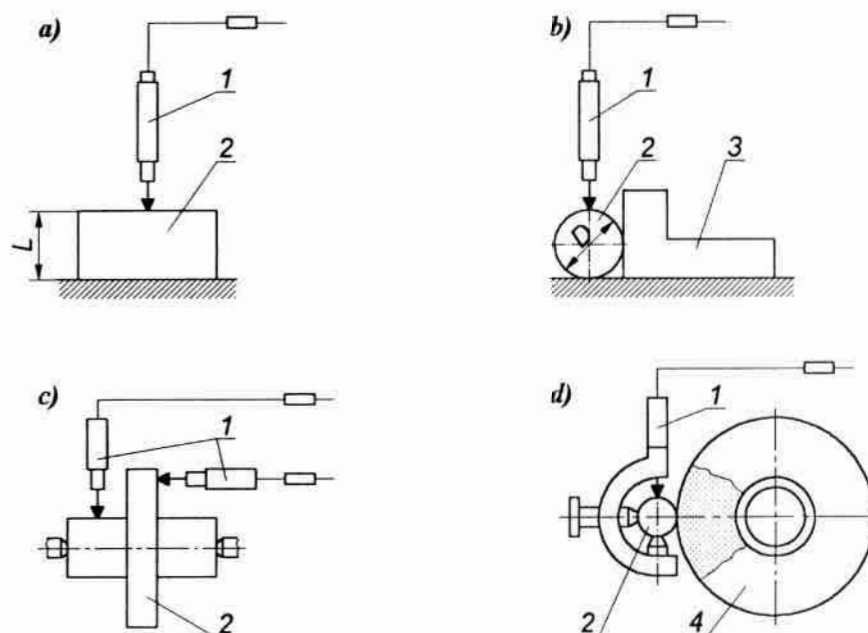
VISTRONIK C1 lub innymi. Umożliwia on dzięki temu dokonywanie kontroli czynnej na obrabiarce. Do prowadzenia kontroli zautomatyzowanej szczególnie nadaje się układ pomiarowy złożony z 10 czujników indukcyjnych MDKa-C i wskaźnika EIMETR-1. Układ ten wyróżnia się dużym zakresem pomiarowym ($\pm 500 \mu\text{m}$). Pozwala on na automatyczne (lub ręczne) przełączanie głowic pomiarowych, z których każda posiada trzy grupy wymiarowe. Schemat blokowy pracy czujnika indukcyjnego i wskaźnika pokazano na rys. 73.



Rys. 73. Schemat blokowy czujnika indukcyjnego z urządzeniem wskazująco-sygnalizująco-sterującym

Mostek pomiarowy, którego częścią jest czujnik indukcyjny, jest zasilany z generatora prądu przemiennego. Przesunięcie trzpienia pomiarowego czujnika wywołuje zmiany stanu mostka i amplitudy sygnału. Sygnał po wzmocnieniu jest przekazywany do detektora fazoczułego, skąd po porównaniu go z sygnałem podstawowym i wyprostowaniu jest doprowadzany jako napięcie stałe do zacisków miernika. Jednocześnie sygnał z detektora jest przekazywany na selektor z przerzutnikami o nastawnych napięciach zadziałania. Przekroczenie tych napięć powoduje zmiany sygnalizacji świetlnej oraz odpowiednie przesterowanie urządzeń współpracujących. Dane czujnika MDKa-C są następujące:

zakres pomiarowy $\pm 500 \mu\text{m}$, powtarzalność ustawień trzpienia $0,1 \mu\text{m}$, nacisk pomiarowy $0,3 \text{ N}$. Przykłady pomiarów czujnikiem indukcyjnym przedstawiono na rys. 74.



Rys. 74. Pomiary czujnikami indukcyjnymi: a) pomiar wysokości przedmiotu, b) pomiar średnicy wałka, c) pomiar bicia czołowego i promieniowego, d) kontrola czynna średnicy szlifowanego wałka;

1 - czujnik pomiarowy, 2 - mierzony przedmiot, 3 - element ustalający, 4 - ściernica

Należy również zaznaczyć, że bardzo korzystne są pomiary czujnikami indukcyjnymi w układzie różnicowym. Krajowe układy pomiarowe pracujące w układzie różnicowym umożliwiają dodawanie i odejmowanie wskazań czujników. Czujniki pracujące w systemie cyfrowym posiadają możliwość rejestracji w postaci wydruku wyników z pomiarów. Do tego celu są przeznaczone drukarki typu VISOPRINT. Nowoczesne cyfrowe czujniki indukcyjne umożliwiają także współpracę z mikrokomputerem.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Przy użyciu czujnika elektrostatycznego MDDh dokonać selekcji 20 wałeczków mierząc ich wysokość i dzieląc na grupy: „brak +”, „brak -”, „sztuka dobra”. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Przy zastosowaniu czujnika elektrostatycznego MDDm dokonać kontroli grubości 10 pierścieni łożyskowych, selekcjonując je w sposób podany w zadaniu 1. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Używając przyrządu pneumatycznego Aeropan BO-9 dokonać pomiaru i selekcji 20 wałeczków, mierząc ich wysokość. Liczba grup selekcyjnych 9. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Za pomocą czujnika indukcyjnego MDKa-C i urządzenia wskazującego GIMETR-1 dokonać pomiaru średnicy 10 wałeczków. Jednocześnie dokonać selekcji wałeczków na 3 grupy, w zależności od wielkości średnicy. Wyniki pomiarów przedstawić w postaci wydruku z drukarki VISOPRINT oraz zapisać w tabeli 4 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, student powinien zamieścić niezbędne szkice, rysunki i obliczenia. W końcowej części sprawozdania należy zamieścić wnioski.

11

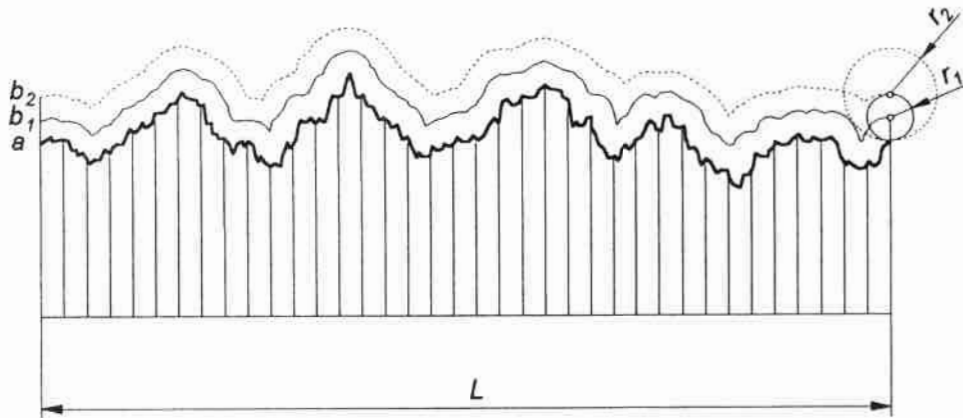
Ćwiczenie laboratoryjne nr 11. Pomiary chropowatości powierzchni

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z metodami określania chropowatości, budową przyrządów pomiarowych i techniką wykonywania pomiarów

2. Podstawy teoretyczne

Chropowatość powierzchni stanowi zbiór nierówności powierzchni rzeczywistej, umownie określanych jako odchyłki profilu zmierzonego od linii odniesienia w granicach odcinka, na którym nie uwzględnia się odchyłek kształtu i falistości. Są to nierówności o stosunkowo małej podziałce i małej wysokości. Można je zmierzyć jako odchylenia zaobserwowanego profilu do przyjętej linii odniesienia na umownie ustalonej długości L . Profil (zarys) powierzchni to linia powstająca w wyniku umownego przecięcia badanej powierzchni odpowiednią płaszczyzną. Na rys. 75 przedstawiono różnicę w odwzorowaniu profilu rzeczywistego a w zależności od promieni ostrza pomiarowego r .



Rys. 75. Schemat odzworowania zarysu rzeczywistego przez ostrze o pewnym promieniu;

a - profil rzeczywisty, b_1 , b_2 - odzworowane profile ostrzami o promieniach r_1 i r_2

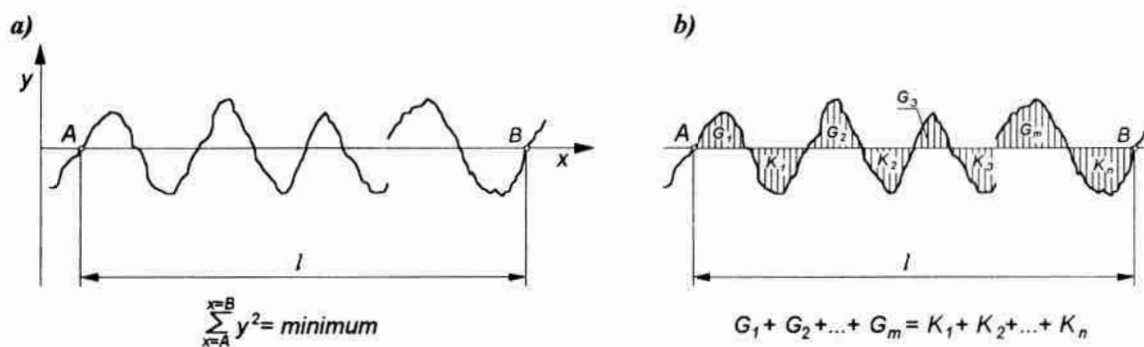
W normach ISO oraz PN przyjęto przy określaniu chropowatości powierzchni tzw. układ odniesienia M, w którym *linią odniesienia* jest linia średnia profilu lub linia położona w stałej odległości od linii średniej. Linia średnia spełnia następujące warunki:

- ma kształt zgodny z profilem powierzchni geometrycznej sprawdzanej (jeżeli na długości odcinka pomiarowego rozpatrywana powierzchnia jest np. płaszczyzną, to linia średnia będzie linią prostą);
- powinna dzielić profil zaobserwowany w ten sposób, aby na ustalonym *odcinku elementarnym* l suma kwadratów odchyień tego profilu względem linii średniej była najmniejsza, co przedstawiono na rys. 76a.

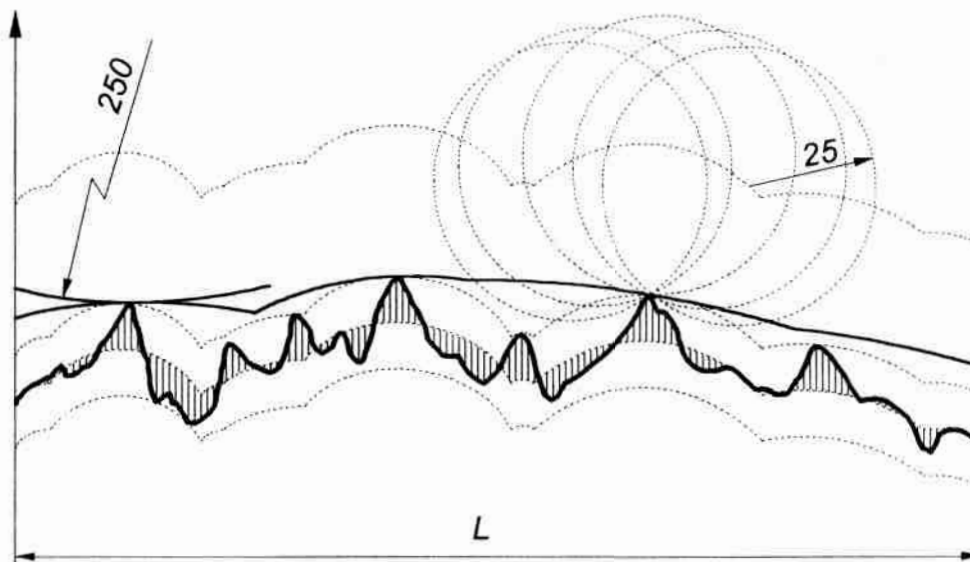
W praktyce ten ostatni warunek jest niekiedy trudny do spełnienia. Wtedy zastępuje się go żądaniem aby sumy pól zawartych między górną i dolną częścią profilu a linią średnią były równe (rys. 76b).

Stosowany jest również tzw. układ odniesienia E, w którym za linię odniesienia przyjmuje się linię obwiedniową, stykającą się z wierzchołkami profilu zaobserwowanego, a wyznaczoną przez środki

okręgów o określonym promieniu ($r = 25$ mm dla określenia chropowości i $r = 250$ mm dla określenia rzeczywistego kształtu powierzchni). Na rys. 77 przedstawiono powstawanie linii odniesienia w układzie E.



Rys. 76. Linia średnia zarysu



Rys. 77. Powstawanie linii odniesienia w układzie E

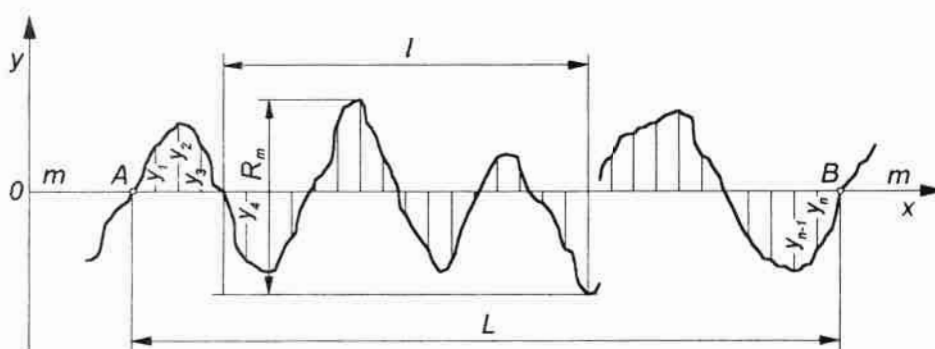
Odpowiednikiem linii średniej w układzie E byłoby przesunięcie linii obwodniowej do położenia, w którym dzieli on profil rzeczywisty w analogiczny sposób, jak linia średnia w systemie M.

W celu wyeliminowania błędu kształtu oraz falistości powierzchni przy pomiarach chropowatości należy dobrać dostatecznie mały odcinek pomiarowy l_n , który zawiera kilka mniejszych odcinków elementarnych. Odcinki elementarne l są normalizowane i wynoszą 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 mm. Dobór długości odcinka pomiarowego l_n zależy od spodziewanej chropowatości powierzchni. Składa się on z kilku (na ogół trzech lub pięciu) odcinków elementarnych l . Odcinek pomiarowy powinien zapewnić prawidłowe scharakteryzowanie chropowatości z możliwym ograniczeniem wpływu rozrzutu wskazań przyrządu.

Przy określaniu chropowatości powierzchni są stosowane zgodnie z PN-87/M-04251 następujące parametry:

- *średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości R_a* - średnia wartość odległości punktów ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$) profilu zaobserwowanego od linii średniej na długości odcinka elementarnego l (rys. 78). Odchylenia od linii średniej sumuje się bez względu na ich znak algebraiczny wg zależności

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad \text{lub w przybliżeniu} \quad R_a \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (48)$$

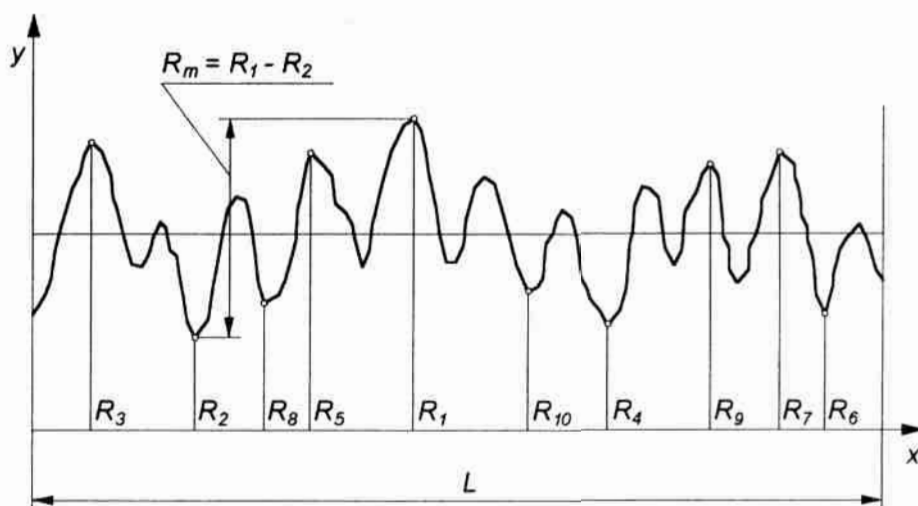


Rys. 78. Wyznaczenie parametru R_a

Parametr R_a określa statystyczne odchylenie linii profilu zaobserwowanego od jej linii średniej i pośrednio informuje o wielkości pól tych odchyień, a więc i rozkładzie nierówności zaobserwowanego profilu.

- *wysokość chropowatości wg dziesięciu punktów R_z* - średnia odległość pięciu najwyżej położonych wzniesień od pięciu najniżej położonych punktów wgłębień zaobserwowanego profilu na długości odcinka elementarnego l , mierzona od linii równoległej do linii średniej (rys. 79), określona równaniem:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (49)$$



Rys. 79. Wyznaczenie parametru R_z

Parametr R_z przyjmuje się do stosowania jako uzupełniający (w drugiej kolejności uprzywilejowania).

- *maksymalna wysokość chropowatości R_m* - odległość między dwiema liniami równoległymi do linii średniej, z których jedna przechodzi przez najwyższe wzniesienie nierówności, a druga przez

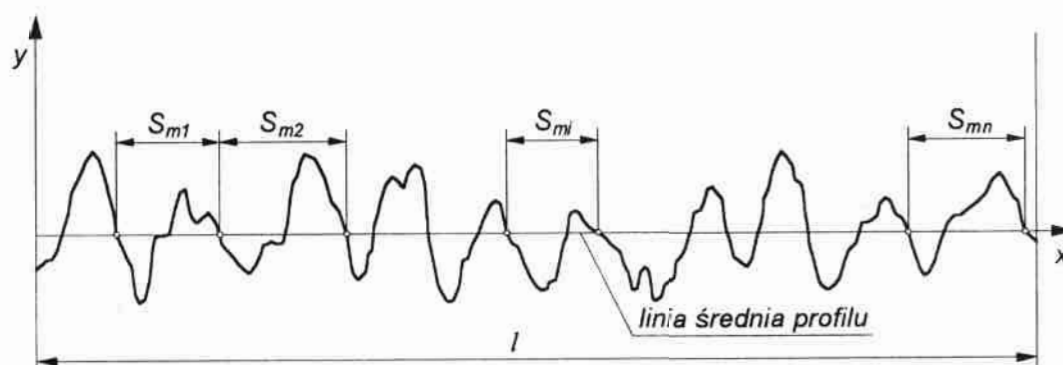
najniższe wgłębienie profilu zaobserwowanego na długości odcinka elementarnego l (rys. 79).

Oprócz tego stosuje się parametry chropowatości:

- *średni odstęp chropowatości* S_m - średnia wartość z odstępów chropowatości S_{mi} występujących w przedziale odcinka elementarnego l

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (50)$$

Odstęp chropowatości S_{mi} jest długością odcinka linii średniej zawierającego wzniesienie i sąsiadujące z nim wgłębienie profilu chropowatości. Pokazuje to rys. 80.



Rys. 80. Wyznaczenie średniego odstępu chropowatości S_m

- *średnie kwadratowe odchylenia profilu chropowatości* R_q .
Parametr ten jest wyrażony równaniem

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2 dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (51)$$

Wartości parametru R_q w zależności od sposobu obróbki powierzchni są o 10 ÷ 40% większe od wartości R_a .

Rozróżniamy następujące metody pomiaru chropowatości:

- metody oceny chropowatości za pomocą wzorców,
- metody przekrojów powierzchni,
- mikrointerferencyjne metody odwzorowania powierzchni,
- stykowe metody odwzorowania lub pomiaru profilu powierzchni.

2.1. Metoda oceny chropowatości za pomocą wzorców

Metoda oceny chropowatości za pomocą wzorców polega na wizualnym (przy powiększeniu lub bez) oraz dotykowym porównaniu stanu powierzchni przedmiotu i wzorca. Muszą tu być spełnione następujące warunki:

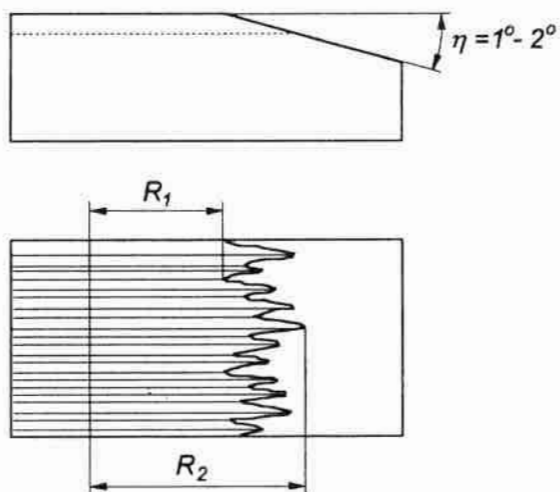
- wzorzec i przedmiot muszą być wykonane z tego samego gatunku materiału (np. stal konstrukcyjna - stal konstrukcyjna);
- kształt powierzchni wzorca i przedmiotu musi być taki sam;
- musi być zachowany ten sam rodzaj obróbki powierzchni wzorca i przedmiotu.

2.2. Metoda przekrojów powierzchni

Do tej grupy metod oceny chropowatości należą *metody przekrojów mechanicznych i świetlnych*.

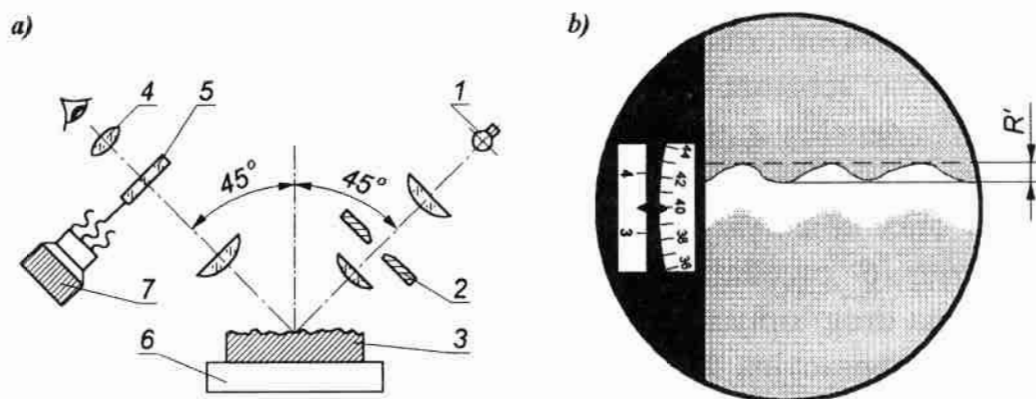
Metoda przekroju mechanicznego (metoda skośnego szlifu) polega na pokryciu badanej powierzchni powłoką galwaniczną i wykonaniu szlifu w płaszczyźnie skośnej do badanej powierzchni. Otrzymany szlif umożliwia zmierzenie, za pomocą mikroskopu, np. parametrów R_m lub R_z . Zasadę pomiaru przedstawiono na rys. 81.

Metoda przekroju świetlnego została przedstawiona na rys. 82. Źródło światła 1 wysyła przez przysłonę szczelinową 2 wiązkę świetlną, która padając pod kątem 45° na badaną powierzchnię 3 (umieszczoną na stoliku 6) dokonuje przekroju świetlnego nierówności badanej powierzchni.



$$R_m = (R_2 - R_1) \operatorname{tg} \eta$$

Rys. 81. Pomiar chropowatości metodą przekroju mechanicznego



Odczyt: 340 dz.el.

Rys. 82. Pomiar chropowatości metodą przekroju świetlnego: a) schemat optyczny mikroskopu podwójnego Schmalza, b) pole widzenia mikroskopu;

1 - źródło światła, 2 - przysłona, 3 - badana powierzchnia, 4 - okular, 5 - płytka z podziałką, 6 - stolik, 7 - pokrętko podziałki

Obserwator za pomocą okularu 4, który wyposażono w płytkę z podziałką i mechanizm mikrometryczny, obserwuje zdeformowany, przez nierówności powierzchni, obraz krawędzi przysłony szczelinowej. Obraz widziany w okularze przedstawia wysokość chropowatości R' , której stosunek do rzeczywistej wartości chropowatości zależy od zastosowanego powiększenia i $\cos 45^\circ$. Stosuje się wiele odmian przyrządów działających wg tej zasady. Do najczęściej stosowanych przyrządów należą: mikroskop podwójny Schmalza niemieckiej firmy

Carl Zeiss-Jena i rosyjski mikroskop Linnika MIŚ-11. Metodę przekroju świetlnego stosuje się do pomiaru chropowatości w zakresie $R_z = 0,4 \div 160 \mu\text{m}$.

2.3. Metoda mikrointerferencyjna

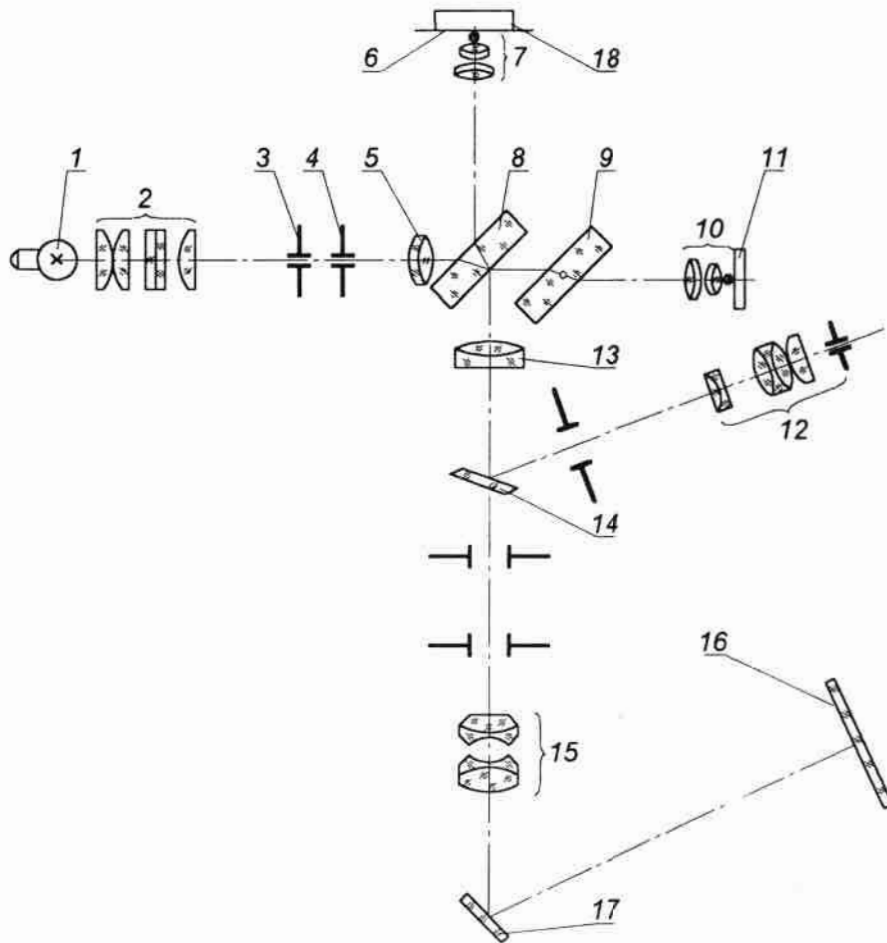
Metody mikrointerferencyjne pomiaru chropowatości należą do najbardziej dokładnych. Pomiar chropowatości metodą mikrointerferencyjną odbywa się na *mikrointerferometrze*, który jest połączeniem interferometru Michelsona i mikroskopu. Stosuje się wiele interferometrów różnych konstrukcji umożliwiających mierzenie chropowatości powierzchni w granicach parametru $R_m = 0,05 \div 2 \mu\text{m}$. Najczęściej jest stosowany mikrointerferometr MII-4 produkcji rosyjskiej. Na rys. 83 przedstawiono schemat optyczny tego przyrządu. Włókno lampy 1 za pomocą kondensora 2 z dwoma przesuwными filtrami jest rzutowane na płaszczyznę przysłony aperturowej 3. Obiektyw 5 przez półprzezroczystą płytkę 8 oraz obiektywy 7 i 10 rzutują obraz przysłony 4 na badaną płaszczyznę 6 przedmiotu 18 i płaszczyznę zwierciadła 11. Dla wyrównania drogi optycznej w obu gałęziach systemu optycznego służy płytka kompensacyjna 9. Promienie po odbiciu się od powierzchni badanej 6 i zwierciadła 11 interferują na powierzchni płytki 8. Obraz interferencyjny może być obserwowany przez zwierciadło wychylne 14, obiektyw 13 i okular 12 lub też, po wychyleniu zwierciadła 14, można go fotografować, dzięki obiektywowi 15 i zwierciadłu 17, na kliszy 16.

Na rys. 84 przedstawiono obraz prążków interferencyjnych. Pomiaru dokonujemy mierząc za pomocą okularu odczytowego 12 wygięcie prążków w stosunku do odległości między prążkami. W mikrointerferometrze MII-4 możemy korzystać ze światła białego lub też ze światła monochromatycznego. W obu przypadkach wysokość nierówności wyrazi się wzorem

$$h = \frac{\lambda}{2} \Delta N \quad \mu\text{m} , \quad (52)$$

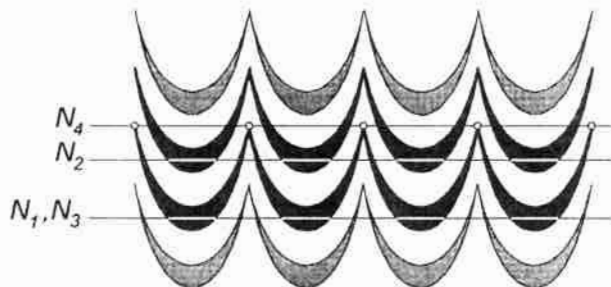
gdzie: $\lambda/2$ - połowa długości fali światła,

ΔN - wielkość określająca zdeformowanie prążka interferencyjnego odniesiona do odległości między prążkami.



Rys. 83. Schemat optyczny mikrointerferometru MII-4;

1 - źródło światła, 2 - kondensator, 3 - przysłona aperturowa, 4 - przysłona polowa, 5 - obiektyw, 6 - badana powierzchnia, 7 - obiektyw, 8 - płytka półprzepuszczalna, 9 - płytka kompensacyjna, 10 - obiektyw, 11 - zwierciadło, 12 - okular, 13 - obiektyw, 14 - zwierciadło wychylne, 15 - obiektyw, 16 - klisza, 17 - zwierciadło, 18 - przedmiot badany

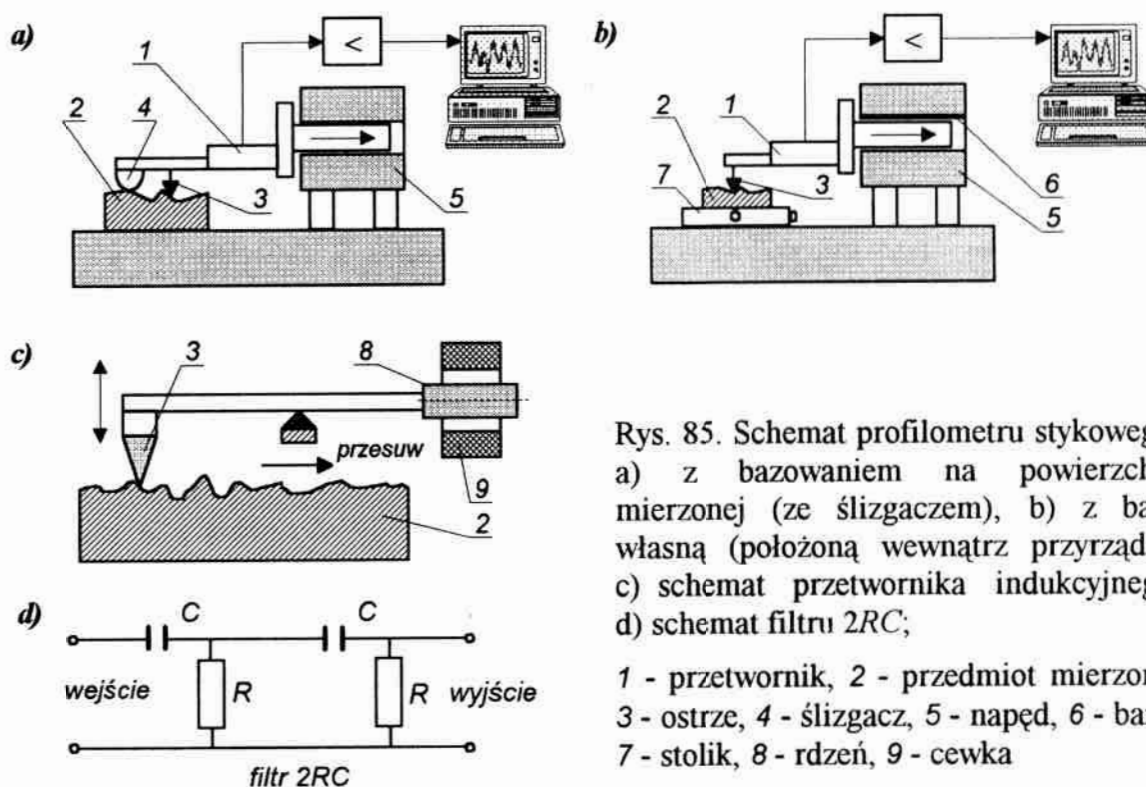


$$\Delta N = \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2}$$

Rys. 84. Obraz prążków interferencyjnych

2.4. Metoda stykowa

Metoda stykowego odwzorowania nierówności powierzchni polega na tym, że po badanej powierzchni przesuwa się ostrze diamentowe lub rubinowe, którego przemieszczenia pionowe są przetwarzane, wzmacniane i rejestrowane. Najczęściej stosowanymi przetwornikami są przetworniki indukcyjne, fotoelektryczne i piezoelektryczne.



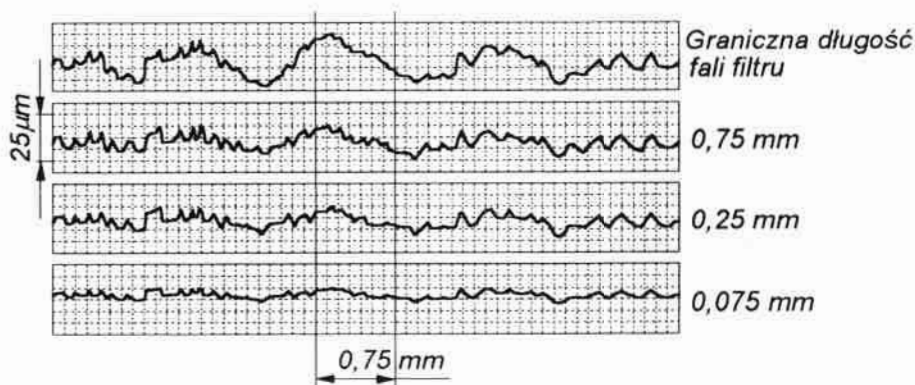
Rys. 85. Schemat profilometru stykowego: a) z bazowaniem na powierzchni mierzonej (ze ślizgaczem), b) z bazą własną (położoną wewnątrz przyrządu), c) schemat przetwornika indukcyjnego, d) schemat filtra 2RC;

1 - przetwornik, 2 - przedmiot mierzony, 3 - ostrze, 4 - ślizgacz, 5 - napęd, 6 - baza, 7 - stolik, 8 - rdzeń, 9 - cewka

Przyrządy służące do pomiarów stykowych nazywają się *profilometrami* lub *profilografami*. Nowoczesne profilometry są często skomputeryzowane (rys. 85). Dokładniejsze z nich dokonują pomiaru chropowatości powierzchni względem powierzchni odniesienia umieszczonej wewnątrz przyrządu. W profilometrach mniejszej dokładności najczęściej bazą odniesienia dla pionowych przemieszczeń ostrza jest ruchoma stopka oporowa o dużym promieniu zaokrąglenia (ślizgacz). W efekcie ruchu ślizgacza następuje wyprostowanie

rejestrowanego profilu, gdyż nie rejestruje się krzywizn większych niż powierzchnia krzywizny ślizgacza. Linia stanowiąca miejsce geometryczne środków krzywizny ślizgacza, przy jego ruchu po badanej powierzchni, staje się w układzie E linią odniesienia rejestrowanych profili. W układ elektroniczny wzmacniaczy profilografów i większości profilometrów są włączone górnoprzepustowe filtry eliminujące z sygnału pomiarowego składowe harmoniczne pochodzące od falistości, o długości fali większej od określonej wartości granicznej.

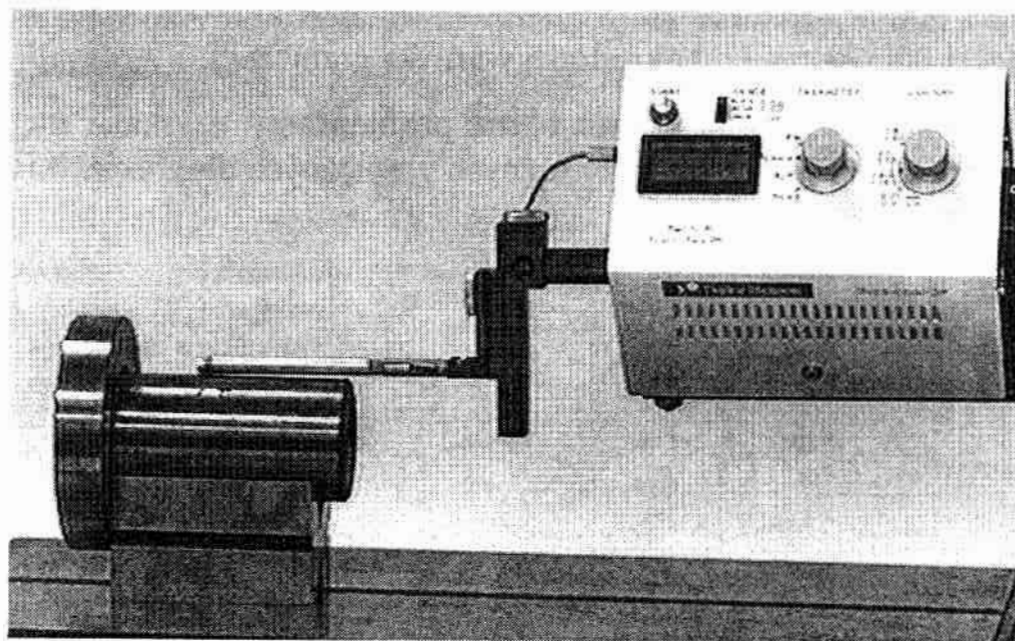
Na rys. 86 przedstawiono różne profilogramy uzyskane na tym samym odcinku powierzchni przy różnych granicznych długościach fali.



Rys. 86. Profilogramy tego samego odcinka pomiarowego powierzchni przy różnych długościach granicznych fali odfiltrowanej

Na rys. 87 pokazano profilometr Surtronic 3P firmy Rank Taylor Hobson Ltd. Jest on przyrządem uniwersalnym, o średniej dokładności, umożliwiającym bezpośrednio uzyskiwanie wskazań wartości R_a , R_{max} , R_{tm} (R_z wg normy DIN) podanych w mikrometrach lub mikrocalach. Wymienne końcówki pomiarowe posiadają ślizgacze o promieniach zaokrąglenia od 6 do 40 mm. Profilometr ma możliwość doboru jednego z trzech odcinków pomiarowych (0,25; 0,8 i 2,5 mm). Cyfrowy wskaźnik umożliwia przy pojedynczym pomiarze odczytu dwóch parametrów chropowatości (w zależności na jaki parametr został nastawiony

przełącznik). Posiada on ponadto możliwość podłączenia dodatkowego wyposażenia umożliwiającego pomiar innych parametrów chropowatości lub rejestracji profilu. Przyrząd umożliwia pomiary powierzchni zewnętrznych płaskich i krzywoliniowych oraz otworów.



Rys. 87. Profilometr SURTRONIC 3P firmy Rank Taylor Hobson Ltd.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Określić chropowatość pięciu próbek przy użyciu wzorców chropowatości. Wyniki pomiarów wpisać do karty pomiarów.

Zadanie 2

Metodą skośnego szlifu określić chropowatość powierzchni dwóch próbek. Wyniki pomiarów wpisać do karty pomiarów.

Zadanie 3

Dla wskazanych próbek zmierzyć na mikroskopie podwójnym wartość parametru R_z .

Sposób wykonania:

- 1° Po pierwsze należy określić wartość działki elementarnej podziałki (rys. 82). Można to uczynić korzystając z tablic zawartych w instrukcji mikroskopu podwójnego. Można też określić wartość działki elementarnej samodzielnie. W tym celu na stoliku pomiarowym 6 zamocowuje się specjalny wzorzec kreskowy z elementarną działką 0,01 mm. Po wstępnym ustawieniu mikroskopu (wysokość, obraz szczeliny, ostrość), stół pomiarowy ustala się w położeniu zapewniającym prostopadłe położenie podziałki kreskowej wzorca i szczeliny świetlnej. Do położenia prostopadłego z podziałką wzorca kreskowego należy doprowadzić również linię przerywaną (widoczną w okularze odczytowym). Linię przerywaną ustawia się na jedną z kresek wzorca notując odczyt a_0 w okienkach odczytowych z lewej strony pola widzenia mikroskopu. Po dokonaniu odczytu przesuwa się linię przerywaną, za pomocą śruby 7, o n działek elementarnych wzorca kreskowego i notuje się odczyt a_n . Wartość działki elementarnej w μm , oblicza się ze wzoru

$$S_w = \frac{10n}{\sqrt{2}(a_n - a_0)}. \quad (53)$$

- 2° Po wyznaczeniu wartości działki elementarnej przyrządu można przystąpić do pomiaru chropowatości powierzchni. W tym celu na stoliku przyrządu należy umieścić przedmiot mierzony. Ustawić ostrość widzenia i dokonać pomiaru chropowatości przesuwając przerywaną kreskę pomiarową z wierzchołka do wgłębienia zarysu, notując odczyty R_1, R_2, \dots . Dla wyliczenia wartości R_z należy skorzystać ze wzoru (49) pamiętając by wstępny wynik R_z' , wyrażony w działkach elementarnych przyrządu, wymnożyć przez wartość działki elementarnej S_w .

$$R_z = R_z' \cdot S_w \quad (54)$$

Wyniki pomiarów wpisać do karty pomiarów.

Zadanie 4

Dla danych próbek określić za pomocą profilometru Surtronic 3P wartości R_a , R_{max} , i R_{tm} (R_z DIN). Przed przystąpieniem do pomiarów należy zapoznać się z instrukcją obsługi przyrządu. Wyniki pomiarów wpisać do karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu student powinien podać: wyniki pomiarów wraz z obliczeniami, krótki opis poszczególnych metod pomiarów poznanych w danym ćwiczeniu, ustaloną na podstawie tablicy II chropowatość poszczególnych próbek oraz wnioski i uwagi dotyczące poznanych metod pomiaru chropowatości.

12

Ćwiczenie laboratoryjne nr 12. Pomiary gwintów

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z metodami sprawdzania i wymaganiami dotyczącymi gwintów

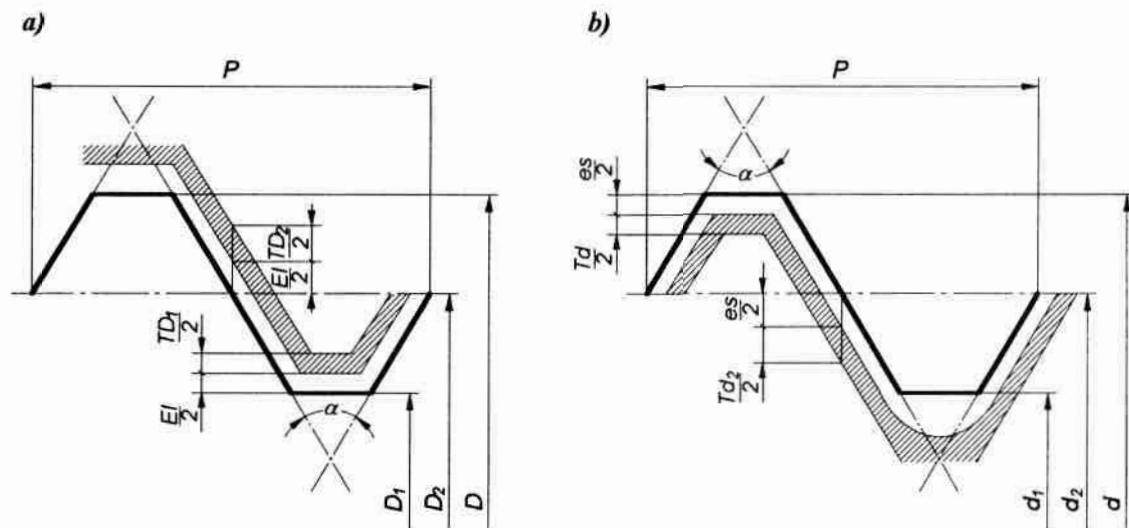
2. Podstawy teoretyczne

Podstawowymi wielkościami, które mierzy się w gwintach, są:

- podziałka gwintu P w mm,
- skok gwintu P_h w mm,
- kąt gwintu α w stopniach,
- średnica podziałowa $d_2 = D_2$ w mm,
- średnica zewnętrzna $d = D$ w mm,
- średnica wewnętrzna $d_1 = D_1$ w mm.

Skok gwintu P_n jest iloczynem podziałki P i krotności gwintu. Dla gwintów jednokrotnych skok P_n jest równy podziałce P .

Wyżej wymienione wielkości przedstawiono na rys. 88 wraz z zaznaczeniem pola tolerancji śruby i nakrętki. Zasadnicze znaczenie w pracy gwintu mają odchyłki: średnicy podziałowej, kąta gwintu i skoku gwintu. Pozostałe średnice mają mniejsze znaczenie pod warunkiem



Rys. 88. Sposób tolerowania gwintów: a) gwintu wewnętrznego,
b) gwintu zewnętrznego;

P - skok gwintu; D, d - średnica zewnętrzna; D_1, d_1 - średnica wewnętrzna;
 D_2, d_2 - średnica podziałowa; EI, es - odchyłki podstawowe pola tolerancji;
 Td, TD_1, TD_2, Td_2 - wartości tolerancji dla poszczególnych średnic; α - kąt gwintu

takiego wykonania gwintu, że zapewniony będzie luz eliminujący możliwość zakleszczenia się śruby i nakrętki. Oprócz gwintów suwliwych PN-83/M-02113 przewiduje także stosowanie gwintów luźnych, których pole tolerancji jest przesunięte względem wymiaru nominalnego włąb materiału. Odchyłki podstawowe dla tych gwintów oznacza się przez EI w przypadku gwintów wewnętrznych i es - w przypadku gwintów zewnętrznych. Dla gwintów suwliwych $es = 0$, oraz $EI = 0$, zaś dla gwintów luźnych $es < 0$, a $EI > 0$.

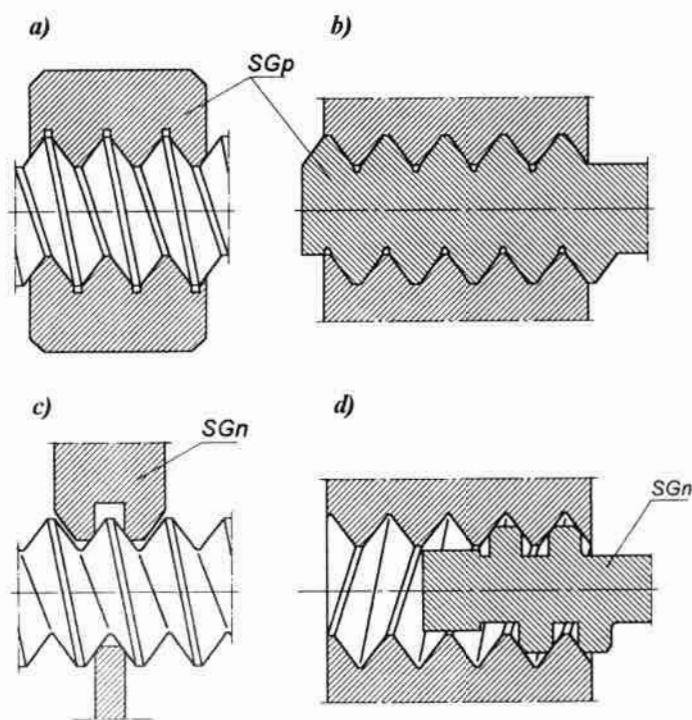
Zgodnie z PN-83/M-02113 dla gwintów metrycznych o średnicach od 1 mm do 600 mm tolerowaniu podlegają następujące elementy gwintów:

- średnica wewnętrzna gwintu wewnętrznego,
- średnica zewnętrzna gwintu zewnętrznego,
- średnica podziałowa.

Tablice wartości tolerancji, a także wzory określające sposób ich obliczania, podane są w ww. normie. Identyfikacja i sprawdzanie gwintów mogą być prowadzone z zastosowaniem różnych metod:

a) Do szybkiego rozpoznania gwintów używa się *wzorców zarysu gwintu* podanych w PN-88/M-53395. Są to komplety cienkich płytek wykonanych ze stali resorowej, z jedną z krawędzi uprofilowaną zgodnie z zarysem gwintu. Rozpoznanie gwintu dokonuje się przez przyłożenie odpowiedniej płytki do zarysu gwintu i stwierdzenie wzajemnego przylegania obu elementów;

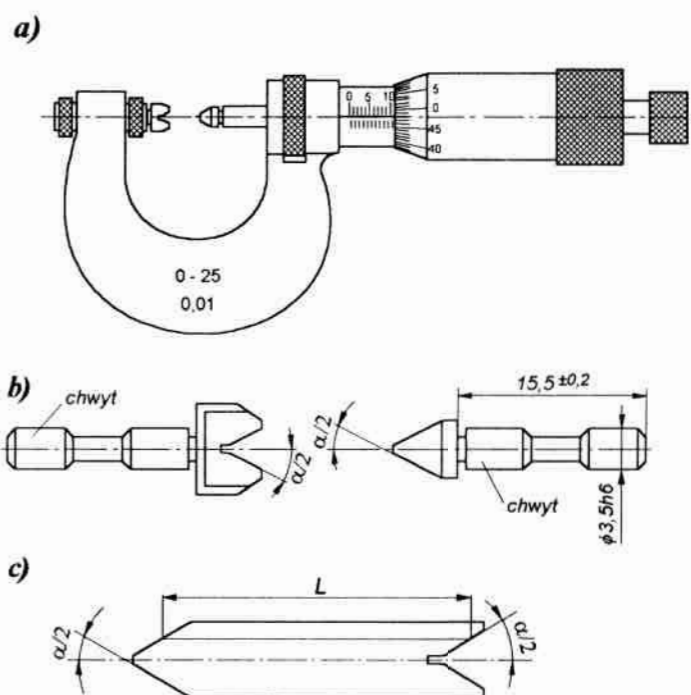
b) W przypadku produkcji seryjnej lub masowej chodzi nam często o stwierdzenie, czy wymiary wykonanego gwintu są zawarte w określonym polu tolerancji. Do tego celu używa się *sprawdzianów do gwintów*. Można używać sprawdzianów, które służą do sprawdzania



Rys. 89. Sprawdziany do gwintów: a) sprawdzian przechodni do gwintu zewnętrznego, b) sprawdzian przechodni do gwintu wewnętrznego, c) sprawdzian nieprzechodni do gwintu zewnętrznego, d) sprawdzian nieprzechodni do gwintu wewnętrznego

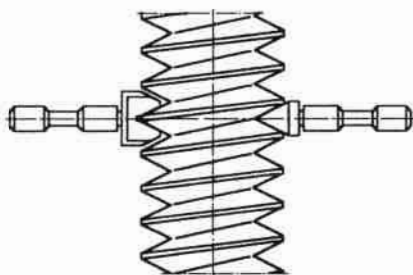
wzajemnego przylegania powierzchni nośnych gwintu „na farbę”, wyczuwalny luz itd. Jeżeli użyjemy *sprawdzianów dwugranicznych* (trzępieniowe do sprawdzania gwintów wewnętrznych i pierścieniowe lub szczękowe do sprawdzania gwintów zewnętrznych), mamy możliwość szybkiego stwierdzenia, czy odchyłki wymiarów sprawdzanego gwintu mieszczą się w polu tolerancji. Na rys. 89 przedstawiono *sprawdziany przechodnie* SGp (rys. 89a, b) i *nieprzechodnie* SGn (rys. 89c, d) do kontroli śrub i nakrętek. Sprawdziany SGp służą do sprawdzania średnicy podziałowej, skoku i kąta gwintu, a sprawdziany SGn tylko do sprawdzania średnicy podziałowej;

c) W przypadku produkcji jednostkowej przy wykonywaniu gwintów mało dokładnych stosuje się metodę kontroli średnicy podziałowej za pomocą *mikrometru do gwintów z wymiennymi końcówkami*. Na rys. 90 przedstawiono taki mikrometr, a na rys. 91



Rys. 90. Mikrometr do gwintów: a) widok ogólny, b) wymienne końcówki, c) wzorzec kontrolno-nastawczy;

α - kąt zarysu gwintu, L - długość wzorca kontrolno-nastawczego



Rys. 91. Sprawdzanie średnicy podziałowej za pomocą mikrometru

sposób sprawdzania gwintu przy użyciu tego mikrometru. Wymienne końcówki pomiarowe umożliwiają pomiary gwintów metrycznych o skoku od 0,4 do 6 mm i gwintów Whithwortha o skoku od 60 do 3 zwojów na cal;

d) Przy wykonywaniu gwintów zewnętrznych dokładniejszych stosuje się często inną metodę pomiaru średnicy podziałowej, tzw. *metodę trójwałeczkową*. Przy tej metodzie używa się zestawu trzech wałeczków pomiarowych o tej samej średnicy d_w (dostosowanej do skoku i półkąta zarysu gwintu). Normalny komplet wałeczków pomiarowych składa się z 21 trójek umożliwiających pomiar: dla gwintu metrycznego w zakresie skoku 0,25 ÷ 6 mm, dla gwintu Whithwortha w zakresie od 85 do 2 zwojów na cal. W czasie pomiarów wałeczki pomiarowe umieszcza się w brzdach gwintu w sposób pokazany na rys. 92, a następnie mierzy się rozstawienie wałeczków M . Pomiaru rozstawienia M można dokonać mikrometrem (rys. 93) albo przy pomiarach dokładniejszych - długościomierzem poziomym lub pionowym. Średnicę podziałową d_2 gwintu oblicza się ze wzoru

$$d_2 = M - d_w \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - \delta_1 + \delta_2, \quad (55)$$

gdzie: M - zmierzone rozstawienie wałeczków pomiarowych,
 d_w - średnica wałeczków pomiarowych,
 α - kąt zarysu gwintu,
 P - podziałka gwintu,
 δ_1 - poprawka na skręcanie wałeczków w brzdach gwintu,
 δ_2 - poprawka na sprężyste odkształcenie pod wpływem nacisku pomiarowego.

Poprawkę δ_1 można obliczyć ze wzoru

$$\delta_1 = \frac{d_w}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} \right)^2 \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (56)$$

Występującą we wzorze (56) wartość średnicy podziałowej d_2 należy przyjąć jako wartość nominalną.

Poprawkę δ_2 oblicza się ze wzoru

$$\delta_2 = 0,004 \sqrt[3]{\frac{F^2}{d}} \text{ mm}, \quad (57)$$

gdzie: F - nacisk pomiarowy, daN,
 d - średnica nominalna śruby, mm.

Wzór (57) obowiązuje dla gwintów o kątach zarysu gwintu 60° i 55° . Można przyjąć dla mikrometru, że $F = 10$ N, zaś dla długościomierza poziomego $F = 2,5$ N. Podane powyżej wzory ogólne można uprościć, doprowadzając je np. dla gwintu metrycznego do postaci:

$$d_2 = M - 3d_w + 0,86602P - \delta_1 + \delta_2, \quad (58)$$

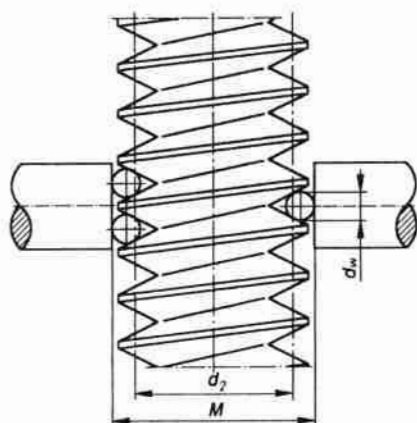
$$\delta_1 = 0,07599 \frac{d_w P^2}{d_2^2}. \quad (59)$$

Niedokładność pomiaru średnicy podziałowej Δd_2 z zastosowaniem metody trzech wałeczków oblicza się ze wzoru

$$\Delta d_2 = \pm \left[|\Delta M| + \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) \cdot |\Delta d_w| + \frac{\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{2} \cdot |\Delta P| + \right. \\ \left. + \frac{2d_w \cos \frac{\alpha}{2} - P}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot \left| \Delta \frac{\alpha}{2} \right| \right], \quad (60)$$

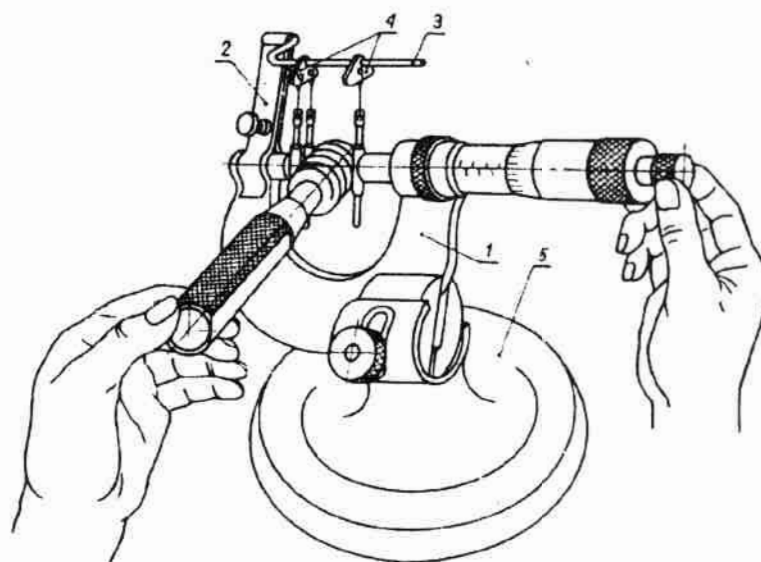
gdzie: ΔM - błąd graniczny pomiaru wymiaru M ,
 Δd_w - błąd graniczny średnicy wałeczków pomiarowych,
 ΔP - błąd graniczny skoku,
 $\Delta\alpha/2$ - błąd graniczny połowy kąta zarysu gwintu.

W pomiarach prowadzonych w laboratorium można przyjąć, że poszczególne błędy graniczne wynoszą: $\Delta M = \pm 0,01$ mm lub $\pm 0,001$ mm, $\Delta d_w = \pm 0,001$ mm, $\Delta P = \pm 0,01$ mm, $\Delta\alpha/2 = \pm 0,0006$ rad.



Rys. 92. Pomiar z zastosowaniem metody trzech wałeczków;

M - zmierzone rozstawienie wałeczków,
 d_w - średnica wałeczków pomiarowych,
 d_2 - średnica podziałowa gwintu



Rys. 93. Pomiar rozstawienia wałeczków mikrometrem;

1 - kabłąk mikrometru, 2 - wieszak do wałeczków pomiarowych, 3 - ramię,
4 - zawieszenie wałeczków, 5 - podstawa do zamocowania mikrometru

Jeżeli średnica użytych do pomiaru wałeczków pomiarowych wynosi

$$d_{w0} = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (61)$$

to wpływ błędu kąta boku gwintu w poprzednim wzorze (60) można pominąć. Wałeczki o takiej średnicy d_{w0} nazywają się *wałeczkami optymalnymi* i stykają się z powierzchniami bocznymi gwintu na średnicy podziałowej;

e) Pomiaru gwintów zewnętrznych można dokonać również na *mikroskopach pomiarowych*. Mamy w tym przypadku możliwość stosowania *metody cienia optycznego*, jak również dokładniejszej *metody stykowej*. Przy pomiarach na mikroskopie należy pamiętać o tym, aby kolumna mikroskopu była pochylona o kąt ρ równy kątowi wzniosu linii śrubowej. Zasadę pomiaru skoku gwintu podano na rys. 94. W celu uniknięcia błędu przekoszenia osi gwintu względem kierunku przesuwu stolika mikroskopu, pomiar wykonuje się w kierunku *I - II (a)* i w kierunku *III - IV (c)*. Wartość średnią oblicza się ze wzoru

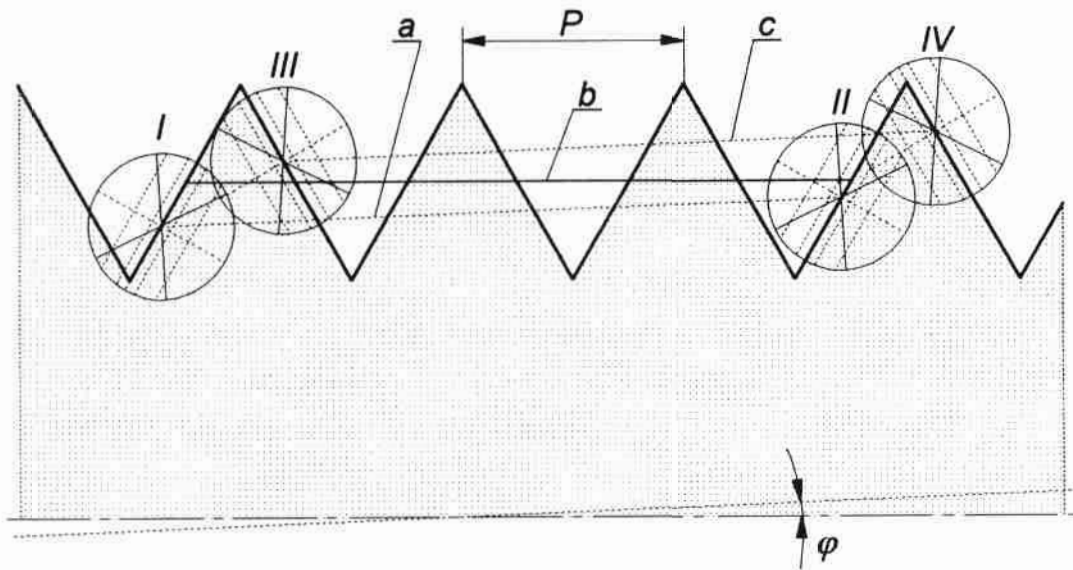
$$b = \frac{a + c}{2}, \quad (62)$$

zaś skok gwintu ze wzoru

$$P = \frac{b}{n}, \quad (63)$$

gdzie n oznacza ilość skoków objętych pomiarem.

Pozostałe elementy gwintu mierzymy w sposób analogiczny.



Rys. 94. Pomiar skoku gwintu na mikroskopie pomiarowym;

P - skok gwintu, a - odległość między punktami pomiarowymi I i II, c - odległość między punktami pomiarowymi III i IV, b - wartość średnia z a i c , φ - kąt pomiędzy osią gwintu a kierunkiem pomiaru

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Rozpoznać rodzaj gwintu przy użyciu wzorców zarysu gwintu.

Sposób wykonania:

Suwmiarką dokonać pomiaru średnicy zewnętrznej śruby i na tej podstawie określić rodzaj gwintu (metryczny czy calowy). Z właściwego kompletu wzorców zarysu gwintu dobrać taką płytkę, aby jej powierzchnie przylegały dokładnie do zarysów sprawdzanego gwintu. Wyniki pomiarów i wnioski należy wpisać do tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Sprawdzić za pomocą sprawdzianów dwugranicznych prawidłowość wykonania wskazanych śrub. Wyselekcjonować części dobre. Wyniki pomiarów i wnioski należy odnotować w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Używając mikrometru do gwintu zmierzyć średnicę podziałową wskazanych części i stwierdzić prawidłowość jej wykonania porównując z wartością nominalną podaną w tabelach wymiarów gwintów. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Wykonać pomiar średnicy podziałowej śruby stosując metodę trzech wałeczków. Użyć do tego celu mikrometru z płaskimi końcówkami lub długościomierza poziomego. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 4 karty pomiarów.

Zadanie 5

Wykonać pomiar skoku gwintu na dużym mikroskopie warsztatowym. Wyniki wpisać do tabeli 5 karty pomiarów.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić krótki opis wykonanych pomiarów, szkice, wypełnioną kartę pomiarów oraz wnioski i spostrzeżenia.

13

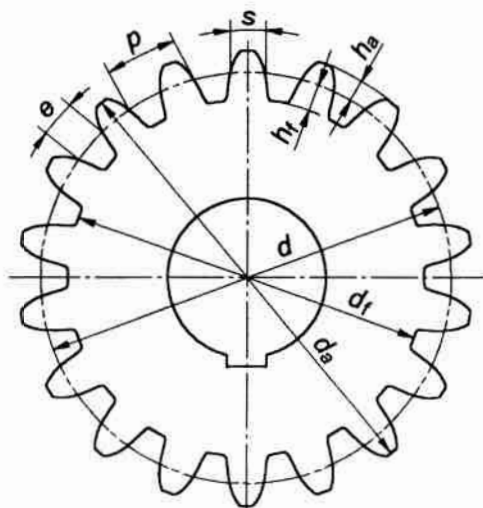
Ćwiczenie laboratoryjne nr 13. Pomiaru uzębienia kół zębatach

1. Cel ćwiczenia:

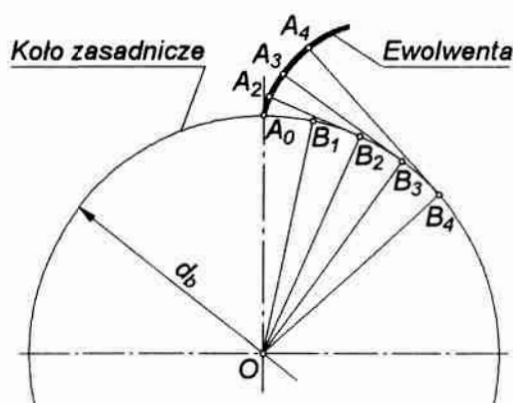
Zapoznanie studentów z metodami pomiarów podstawowych parametrów kół zębatach, budową przyrządów stosowanych do pomiarów, sposobem obsługi tych przyrządów oraz z metodyką oceny dokładności kół zębatach

2. Podstawy teoretyczne

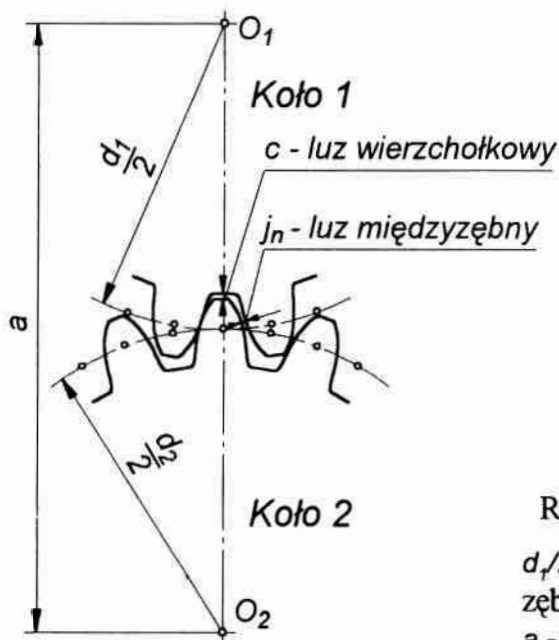
W ćwiczeniu podano zasady pomiaru podstawowych parametrów charakteryzujących uzębienie walcowe kół zębatach. Na rys. 95 przedstawiono wygląd walcowego koła zębatach z zębami prostymi i zaznaczono niektóre jego charakterystyczne parametry. Na rys. 96 podano zasadę powstawania ewolwenty. Na rys. 97 przedstawiono schemat współpracy dwóch kół zębatach z zaznaczeniem luzu wierzchołkowego i normalnego. W celu uzyskania współpracy dwóch kół zębatach powinna występować: zgodność zarysu, równość podziałek oraz luz wierzchołkowy i międzyzębny (obwodowy). Dla uzyskania pełnego zestawu informacji o dokładności wykonania koła zębatach niezbędne jest wykonanie dużej liczby różnych pomiarów.



Rys. 95. Koło zębate o zębach prostych;
 d - średnica podziałowa, d_a - średnica wierzchołkowa, d_f - średnica dna wrębów,
 p - podziałka obwodowa, s - grubość zęba,
 e - szerokość wrębu, h_a - wysokość głowy zęba, h_f - wysokość stopy zęba



Rys. 96. Zasada budowy ewolwenty



Rys. 97. Współpraca dwóch kół zębanych;
 $d_1/2$, $d_2/2$ - połowy średnic podziałowych kół zębanych, O_1 , O_2 - osie obrotu kół zębanych,
 a - rozstaw osi obrotu kół zębanych

W ćwiczeniu tym zajmiemy się pomiarami tylko niektórych podstawowych parametrów koła zębatego, jak:

- pomiar grubości zęba,
- pomiar kąta zarysu,
- pomiar bicia uzębienia,
- pomiar dokładności wykonania podziałek.

W ćwiczeniu nr 14 omówiono pomiary innych parametrów, jak:

- pomiar odchyłek zarysu zębów,
- pomiar błędów współpracy.

2.1. Pomiar grubości zęba przy użyciu suwmiarki modułowej

Zasadę pomiaru przedstawiono na rys. 98. Szczęki suwmiarki modułowej doprowadza się do styku z zębem koła zębatego na średnicy podziałowej. Właściwie dokonujemy pomiaru nie grubości zęba s , lecz cięciwy \bar{s} na średnicy podziałowej. Wielkość \bar{h}_a (nastawianą na suwmiarce) oblicza się dla niekorygowanych zębów prostych o normalnej wysokości ze wzoru:

$$\bar{h}_a = m \left[1 + \frac{z}{2} (1 - \cos \psi) \right], \quad (64)$$

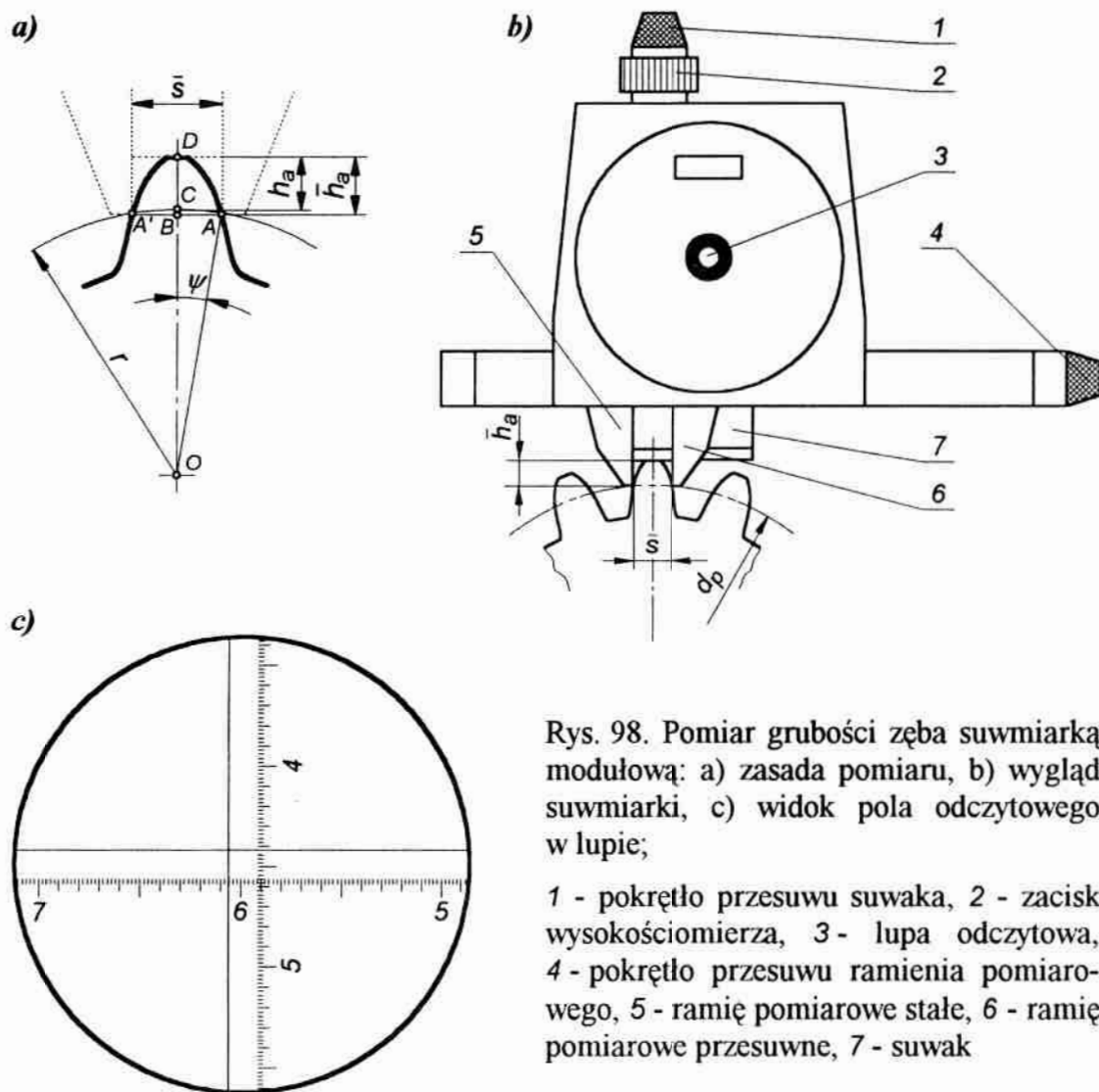
gdzie: m - moduł koła zębatego,
 z - liczba zębów koła zębatego,

przy czym

$$\psi = \frac{90^\circ}{z}. \quad (65)$$

Jeżeli koło ma moduł $m = 1$, wówczas $\bar{h}_a = \bar{h}'_a$ można przyjąć z tablicy XI. Jeżeli $m \neq 1$ to $\bar{h}_a = \bar{h}'_a m$.

Do wymiaru \bar{h}_a należy dodać połowę rzeczywistej odchyłki średnicy wierzchołków koła zębatego od wartości nominalnej. Po zmierzeniu grubości wszystkich zębów należy obliczyć różnicę



Rys. 98. Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową: a) zasada pomiaru, b) wygląd suwmiarki, c) widok pola odczytowego w lupie;

1 - pokrętko przesuwu suwaka, 2 - zacisk wysokościomierza, 3 - lupa odczytowa, 4 - pokrętko przesuwu ramienia pomiarowego, 5 - ramię pomiarowe stałe, 6 - ramię pomiarowe przesuwne, 7 - suwak

$\Delta \bar{s} = \bar{s}_{max} - \bar{s}_{min}$, a następnie porównać ją z dopuszczalną wartością Δg (tabl. XII/4 literatury [4]). Umożliwi to ustalenie klasy dokładności koła zębatego.

W celu znalezienia skojarzenia (pasowania) koła zębatego, należy obliczyć teoretyczną grubość zęba na średnicy podziałowej \bar{s} i porównać ją z wartościami zmierzonymi. Wartość \bar{s} można dla zębów prostych nie korygowanych uzyskać z tabl. VI/1 literatury [4] lub ze wzoru

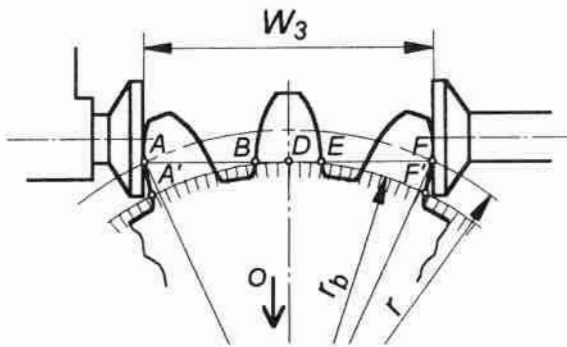
$$\bar{s} = zm \sin \psi . \quad (66)$$

Skojarzenie koła jest określone położeniem pola tolerancji grubości zębów względem linii zerowej. Położenie pola tolerancji można wyrazić górną dopuszczalną odchyłką G_s , i dolną dopuszczalną odchyłką F_s . Wartości tych odchyłek podano w tabelicy III. Rzeczywista grubość zęba \bar{s}_z otrzymana z pomiaru powinna spełniać warunek

$$\bar{s} + G_s \leq \bar{s}_z \leq \bar{s} + F_s . \quad (67)$$

2.2. Pomiar grubości zęba przez n zębów

Zasadę pomiaru przedstawiono na rys. 99. W pomiarze ważne jest takie dobranie (obliczenie) liczby zębów n , aby linia pomiaru stykała się z kołem zasadniczym lub leżała w jego pobliżu (jeżeli z obliczenia okaże się, że n jest liczbą niecałkowitą, to przyjmujemy za n najbliższą liczbę



Rys. 99. Pomiar grubości zęba przez n zębów;

W_3 - długość pomiarowa przez trzy zęby, r_b - promień koła zasadniczego, r - promień koła podziałowego, O - oś obrotu koła

całkowitą). Liczbę n zębów, przez które wykonuje się pomiar, oblicza się ze wzorów:

$$n = \frac{z}{12} + 0,5 - 0,342x ; \quad \text{dla} \quad \alpha = 15^\circ \text{ i } \beta = 0, \quad (68)$$

$$n = \frac{z}{9} + 0,5 - 0,463x ; \quad \text{dla} \quad \alpha = 20^\circ \text{ i } \beta = 0, \quad (69)$$

$$n = \frac{z}{12 \cos^3 \beta} + 0,5 - 0,342x_n; \quad \text{dla } \alpha = 15^\circ \text{ i } \beta \neq 0, \quad (70)$$

$$n = \frac{z}{9 \cos^3 \beta} + 0,5 - 0,463x_n; \quad \text{dla } \alpha = 20^\circ \text{ i } \beta \neq 0, \quad (71)$$

gdzie: x - współczynnik korekcji zęba,
 x_n - współczynnik korekcji zęba w przekroju normalnym,
 α - kąt zarysu,
 β - kąt pochylenia linii zęba.

Liczbę n można też ustalić z wykresów lub tablic podanych w specjalistycznej literaturze [4]. Długość pomiarową W dla kół zębatych prostych normalnych (bez luzu) można obliczyć ze wzoru

$$W = m \cos \alpha \left[(n - 0,5)\pi + z(\operatorname{tg} \alpha - \bar{\alpha}) \right] + 2xm \sin \alpha, \quad (72)$$

gdzie: $\operatorname{tg} \alpha - \bar{\alpha} = \operatorname{inv} \alpha$; dla najczęściej stosowanych kątów tj. $\alpha = 15^\circ$ $\operatorname{inv} \alpha = 0,0061498$, $\alpha = 20^\circ$ $\operatorname{inv} \alpha = 0,014904$.

Dla kół o zębach śrubowych korygowanych wartość W można obliczyć ze wzoru

$$W = m_n \left[(n - 0,5)\pi \cos \alpha + z(\operatorname{tg} \alpha_t - \bar{\alpha}_t) \cos \alpha \right] + 2x_n m_n \sin \alpha, \quad (73)$$

gdzie: m_n - moduł normalny,
 α_t - kąt zarysu zęba w przekroju czołowym,

przy czym

$$\operatorname{tg} \alpha_t - \bar{\alpha}_t = \operatorname{inv} \alpha_t, \quad \text{oraz} \quad \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}. \quad (74)$$

Znając teoretyczną wartość W i dokonując pomiaru tej wielkości na kole zębatym n razy można ustalić klasę i pasowanie koła zębatego. Najwygodniej jest w tym celu posłużyć się literaturą [4] (tabl. XII/8 i XII/9). Należy przy tym uwzględnić, że:

$$\Delta \bar{s} = \frac{\Delta W}{\cos \alpha}, \quad (75)$$

gdzie: ΔW - największa różnica między zmierzonymi wymiarami W , lub różnica między zmierzoną i teoretyczną wartością wymiaru W .

Jeżeli ΔW wyznaczymy jako różnicę między zmierzoną i teoretyczną wartością wymiaru W , to równanie (75) może posłużyć do określenia rzeczywistych odchyłek grubości zęba i skojarzenia koła zębatego.

2.3. Pomiar bicia uzębienia

Schemat pomiaru bicia uzębienia przedstawiono na rys. 100. Średnicę wałka lub kulki, stykającej się z kołem w pobliżu średnicy podziałowej, oblicza się ze wzoru

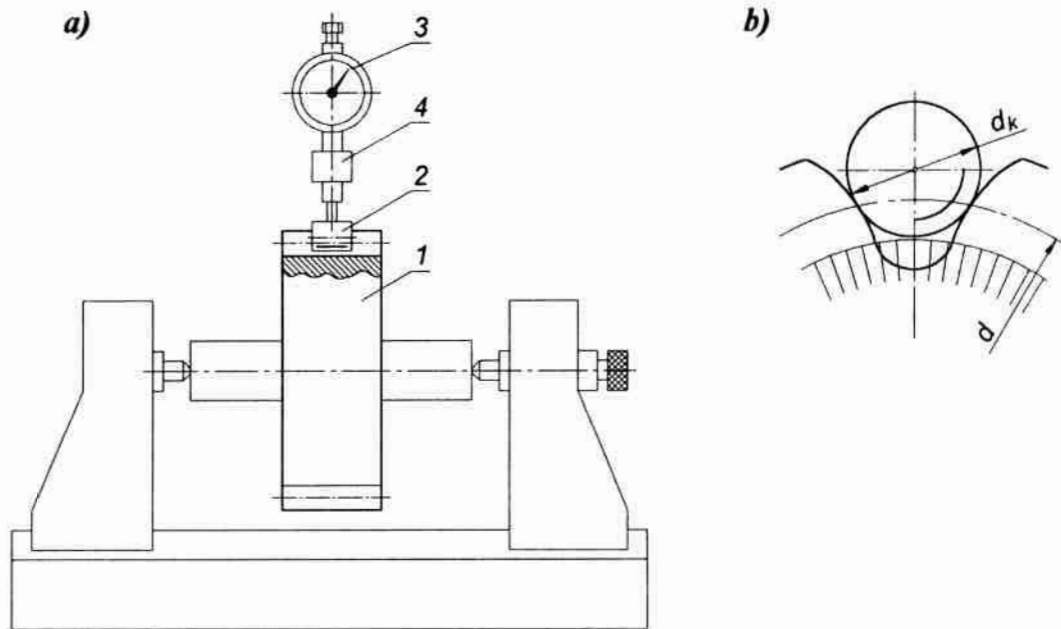
$$d_k = d(\cos \alpha \operatorname{tg} \alpha_r - \sin \alpha), \quad (76)$$

przy czym kąt α_r w stopniach wynosi

$$\alpha_r = \alpha + (m_n \pi - s) \frac{180}{\pi d}. \quad (77)$$

Ze względu na ograniczoną ilość wałków lub kulek pomiarowych w komplecie, na ogół wałek lub kulka o dobranej średnicy nie styka się z uzębieniem na średnicy podziałowej lecz w jej pobliżu. Najczęściej przyjmuje się w praktyce wałek czy kulkę o średnicy nieco większej od obliczeniowej. Maksymalną różnicę wskazań czujnika nazywa się *biciem średnicy podziałowej*. Wartość bicia nie powinna przekraczać odchyłek dopuszczalnych Δr dla danej średnicy koła podziałowego i określonej

klasy dokładności. Wartość odchyłek dopuszczalnych Δr dla kół walcowych można zaczerpnąć z tabl. XII/4 literatura [4].



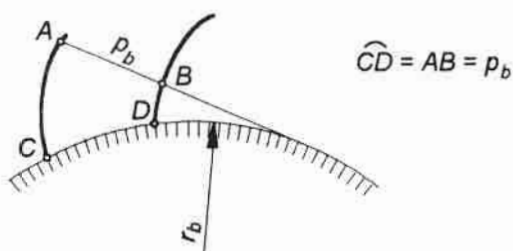
Rys. 100. Pomiar bicia uzębienia;

d_k - średnica elementu pomiarowego, d - średnica podziałowa koła zębatego,
1 - sprawdzane koło, 2 - element pomiarowy, 3 - czujnik, 4 - uchwyt czujnika

2.4. Pomiar podziałki zasadniczej

Pomiar podziałki zasadniczej może odbywać się wieloma sposobami. Poniżej przedstawiono dwa sposoby pomiaru:

- za pomocą przyrządu uniwersalnego firmy Carl Zeiss Jena,
- za pomocą przyrządu ręcznego z płytką pomiarową.



Rys. 101. Podziałka zasadnicza

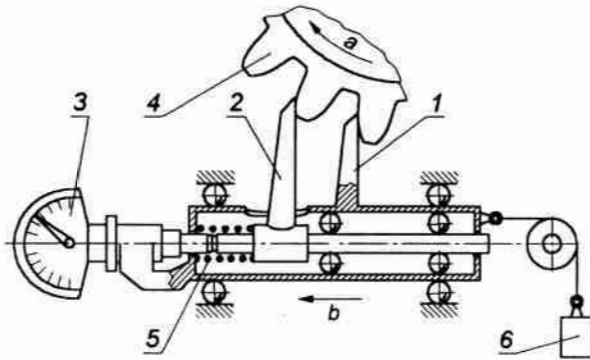
Podziałkę zasadniczą można zdefiniować jako długość łuku okręgu zasadniczego zawartego między jednoimiennymi zarysami sąsiednich zębów. Jest ona równa odległości między takimi zarysami (rys. 101). Wartość jej można obliczyć, korzystając ze wzoru

$$p_b = p \cos \alpha_t \cos \beta, \quad (78)$$

gdzie: p_b - podziałka zasadnicza,
 p - podziałka,
 α_t - kąt zarysu zęba w przekroju czołowym,
 β - kąt pochylenia linii zęba.

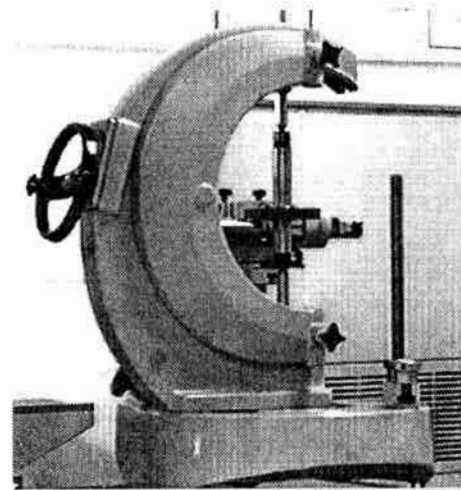
Schemat pomiaru podziałki zasadniczej uniwersalnym przyrządem firmy Carl Zeiss Jena przedstawiono na rys. 102. Widok ogólny tego przyrządu pokazano na rys. 103. Odległość między odpowiednimi powierzchniami końcówek pomiarowych 1 i 2 powinna być uprzednio ustawiona za pomocą płytek wzorcowych. Odległość ta powinna być równa teoretycznej podziałce zasadniczej przy ustawieniu czujnika 3 na wskazanie zerowe. Po ustawieniu przyrządu za pomocą płytek wzorcowych szczęki 1 i 2 doprowadza się do zetknięcia z odpowiednimi zarysami zębów i rejestruje się wskazania czujnika 3. Wskazania te, uzyskane w kolejnych pomiarach, stanowią wartości odchyłek podziałki zasadniczej.

Na rys. 104 pokazano schemat pomiaru podziałki zasadniczej ręcznym przyrządem z płytką pomiarową. Przed przystąpieniem do pomiarów przyrząd należy ustawić na wskazanie zerowe za pomocą wzorca. W tym celu końcówkę 1 należy oprzeć o jedną z powierzchni wzorca i doprowadzić końcówkę 2 do zetknięcia z drugą powierzchnią

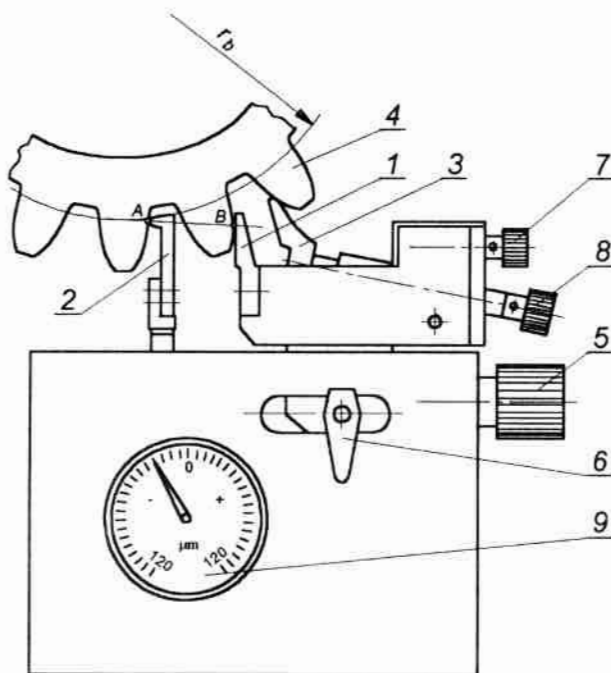


Rys. 102. Schemat pomiaru podziałki przy-
poru przyrządem uniwersalnym firmy Carl
Zeiss Jena;

1 - szczęka stała, 2 - szczęka ruchoma,
3 - czujnik, 4 - sprawdzane koło, 5 - spręży-
na dociskająca nóżkę ruchomą, 6 - obciążnik



Rys. 103. Widok ogólny przyrządu
uniwersalnego do pomiaru kół zęba-
tych firmy Carl Zeiss Jena



Rys. 104. Pomiar podziałki przy-
poru ręcznym przyrządem czujni-
kowym firmy Carl Zeiss Jena;

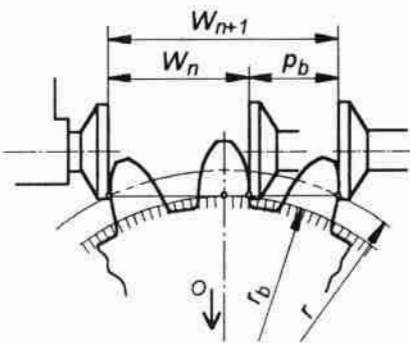
A-B - wielkość podziałki zasadniczej
 r_b - promień koła zasadniczego
1 - szczęka pomiarowa stała,
2 - szczęka pomiarowa ruchoma,
3 - szczęka pomocnicza, 4 - sprawdzane koło zębate, 5 - pokrętko regu-
lacyjne odległości szczęki ruchomej
od stałej, 6 - zacisk, 7 - pokrętko
regulacji wysokości szczęki pomo-
cniczej, 8 - pokrętko wysuwu szczęki
pomocniczej, 9 - czujnik

wzorca. Podziałkę czujnika należy przy tym ustawić na wskazanie zerowe. Przystępując do pomiarów koła zębatego, ustawiamy przyrząd w sposób pokazany na rys. 104 i notujemy wskazania czujnika. Otrzymane wartości są odchyłkami podziałki zasadniczej. Wartość odchyłek należy porównać z wartościami dopuszczalnymi, znajdującymi się w tabl. XII/13 literatura [4].

2.5. Pomiar kąta zarysu

Najłatwiej wykonać ten pomiar w taki sam sposób, jak pomiar grubości zębów przez n zębów. W tym przypadku dokonujemy pomiaru najpierw przez $n + 1$ zębów, a potem przez n zębów (rys. 105). Wartość kąta α oblicza się ze wzoru

$$\cos \alpha = \frac{W_{n+1} - W_n}{\pi m} \quad (79)$$



Rys. 105. Pomiar kąta zarysu;

W_{n+1} - długość pomiarowa przez $n+1$ zębów,
 W_n - długość pomiarowa przez n zębów,
 p_b - podziałka zasadnicza, r - promień koła podziałowego, r_b - promień koła zasadniczego, O - oś obrotu koła

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Przy użyciu suwmiarki modułowej optycznej zmierzyć grubość zębów koła zębatego.

Sposób wykonania:

- obliczyć wartość \bar{h}_a i ustawić przyrząd na to wskazanie,
- obliczyć teoretyczną grubość zęba \bar{s} ,
- zbliżając obie szczęki pomiarowe suwmiarki zmierzyć grubość zębów koła zębatego,
- obliczyć maksymalną różnicę grubości zębów, określić klasę koła oraz jego pasowanie.

Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1 karty pomiarów.

Zadanie 2

Używając mikrometru z talerzykami, dokonać pomiaru grubości zębów przez n zębów.

Sposób wykonania:

- obliczyć liczbę zębów n , przez którą należy wykonać pomiar;
- obliczyć teoretyczną wartość W ;
- dokonać pomiaru wartości W ;
- określić klasę dokładności i pasowania koła zębatego.

Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli 2 karty pomiarów.

Zadanie 3

Używając mikrometru z końcówkami talerzykowymi, wykonać pomiar przez $n + 1$ i n zębów oraz obliczyć wartość kąta α . Wyniki wpisać do tabeli 3 karty pomiarów.

Zadanie 4

Wykonać pomiar bicia uzębienia za pomocą uniwersalnego przyrządu do pomiaru kół zębatach.

Sposób wykonania:

- ustawić badane koło w przyrządzie i zablokować w określonym położeniu za pomocą urządzenia ustalającego,
- założyć karetkę do pomiaru bicia,
- obliczyć optymalną wielkość kulki pomiarowej i zamontować ją do przyrządu,
- ustawić przyrząd we właściwym miejscu zgodnie z instrukcją i zaznaczyć ząb,

- wykonać pomiar bicia obracając koło co 1 podziałkę,
- obliczyć maksymalną wartość bicia i wg niej określić dopuszczalną wartość bicia oraz klasę dokładności.

Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać w tabeli 4 karty pomiarów.

Zadanie 5

Wykonać pomiar podziałki zasadniczej i jej nierównomierności na obwodzie koła, używając uniwersalnego przyrządu do pomiarów kół zębatych.

Sposób pomiaru:

- używając specjalnego uchwytu, należy za pomocą płytek wzorcowych ustawić przyrząd na obliczoną teoretyczną dla danego koła wartość podziałki,
- ustawia się przyrząd pomiarowy tak, aby końcówki pomiarowe stykały się na linii przyporu zgodnie z rys. 102 (przy tym ustawieniu występuje po obu stronach stykających się końcówek pomiarowych prześwit); prawidłowość ustawienia sprawdzamy, przesuwając cały przyrząd w stronę osi koła (w głąb uzębienia) i obserwując czujnik (przy prawidłowo ustawionym przyrządzie czujnik nie zmieni swego wskazania),
- odsuwając całą karetkę przyrządu i zwalniając ją, należy następnie odczytać wskazania przyrządu oraz zanotować je w tabeli 5 karty pomiarów.

Na podstawie maksymalnej różnicy między podziałkami teoretyczną a zmierzoną określić klasę dokładności koła.

Zadanie 6

Używając ręcznego przyrządu czujnikowego, dokonać ponownego pomiaru podziałki zasadniczej. Otrzymane wyniki porównać z wynikami uzyskanymi w zadaniu 5.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić: wypełnioną kartę pomiarów, obliczenia, szkice pomiarów, wykresy wskazań czujnika w funkcji kąta obrotu oraz wnioski i uwagi dotyczące poznanych metod pomiaru.

14

Ćwiczenie laboratoryjne nr 14. Pomiar odchyłek zarysu i współpracy kół zębatach

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów ze sposobami sprawdzania zarysu zęba, oraz współpracy kół zębatach, a także z budową przyrządów pomiarowych i sposobem określania klasy dokładności kół

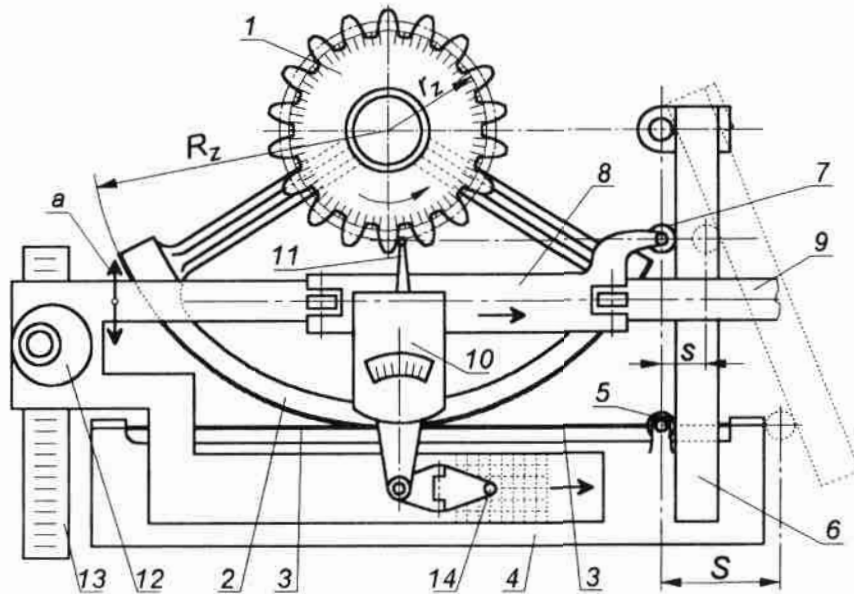
2. Podstawy teoretyczne

W przypadku dokładnych kół zębatach wymaga się odpowiedniej gładkości boków zębów, poprawności zarysu, a także minimalnego bicia średnicy podziałowej i minimalnych odchyłek podziałki przyporu. Wszystkie większe odstępstwa w tym zakresie wpływają niekorzystnie na równomierność pracy, a przez to na głośność pracy i trwałość przekładni.

2.1. Sprawdzanie zarysu zęba

We wszystkich metodach sprawdzania zarysu zęba kół ewolwentowych wykorzystano zasadę powstawania ewolwenty. W tym ćwiczeniu omówiono jedynie dość rozpowszechnioną w Polsce metodę sprawdzania zarysu zębów kół zębatach za pomocą ewolwentiomierza

uniwersalnego, typu VG 450, produkcji Carl Zeiss Jena. Schemat tego ewolwentomierza pokazany został na rys. 106.



Rys. 106. Schemat ewolwentomierza uniwersalnego VG 450;

1 - sprawdzane koło, 2 - segment, 3 - taśma, 4 - sanie poprzeczne, 5 - rolka, 6 - listwa sterująca, 7 - rolka, 8 - sanie pomiarowe, 9 - listwa wodząca, 10 - czujnik, 11 - końcówka pomiarowa, 12 - mikroskop z noniusem spiralnym, 13 - podziałka, 14 - rysik rejestratora

Sprawdzane koło 1 jest osadzone współosiowo na trzpieniu wspólnym z segmentem 2 o promieniu R_z . Do segmentu przymocowano jeden koniec każdej, z obu taśm 3. Drugi koniec obu taśm przymocowano do sań poprzecznych 4. Do rolki 5 sań przylega listwa sterująca 6. Listwa 6 poprzez rolkę 7 styka się z saniami pomiarowymi 8 przesuwającymi się wzdłuż listwy wodzącej 9. Na saniach pomiarowych 8 jest osadzony czujnik 10 z końcówką pomiarową 11 i rysikiem 14. Końcówka 11 powinna stykać się z bokiem zęba. Przed przystąpieniem do pomiarów należy za pomocą mikroskopu z noniusem spiralnym 12

ustawić wartość promienia zasadniczego r_z na podziałce 13. Uzyskuje się dzięki temu dobór odpowiedniego przełożenia przy odtaczaniu. Przystępując do odtaczania w czasie pomiaru, przesuwamy sanie 4. Obraca się jednocześnie koło sprawdzane 1 i przesuwają się sanie 8. Zachodzi przy tym zależność

$$\frac{s}{S} = \frac{r_z}{R_z}, \quad (80)$$

gdzie: s - przemieszczenie sań pomiarowych 8,
 S - przemieszczenie sań pomiarowych 4,
 r_z - promień zasadniczy koła zębatego,
 R_z - promień segmentu 2.

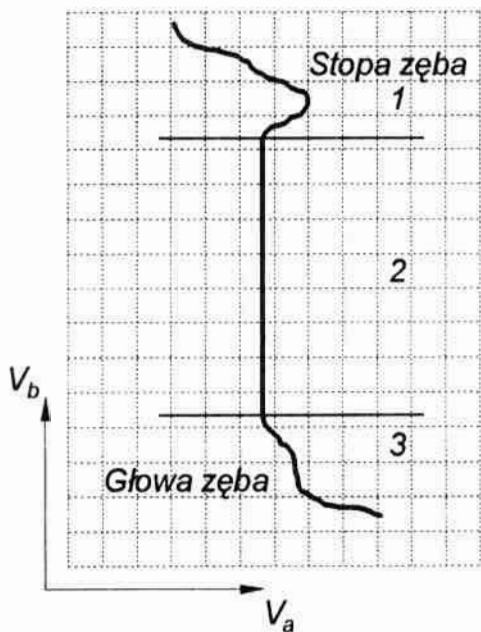
Odchylenia zarysu boku zęba od idealnego kształtu ewolwenty są przekazywane poprzez końcówkę 11 na czujnik 10 i rysik 14. Wykres prawidłowej ewolwenty jest linią prostą, równoległą do kierunku przesuwu stolika. Część 1 wykresu (rys. 107) dotyczy stopy zęba, część 2 przedstawia właściwy odcinek profilu ewolwentowego, natomiast część 3 dotyczy głowy zęba (między odcinkiem 2 a ostrym załamaniem występuje modyfikacja zarysu). Odchyłki wykresu od idealnie prostej linii mogą pochodzić od falistości lub chropowatości powierzchni zęba. Nie dopuszcza się powierzchni zębów o profilu wklęsłym w okolicy koła podziałowego i wypukłym przy wierzchołku. Pochylenie linii wykresu na rys. 108 wykazuje na źle dobrany promień koła zasadniczego lub odchyłkę kąta zarysu. Poprawkę promienia Δr_z oblicza się ze wzoru

$$\Delta r_z = \frac{1}{2} r_z \frac{a}{b} V_b \quad [\mu\text{m}], \quad (81)$$

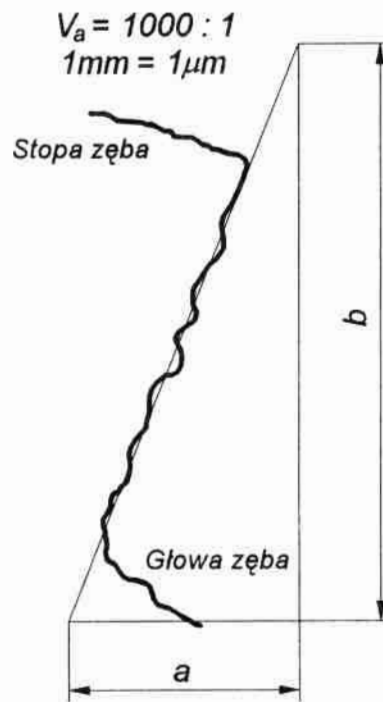
gdzie: a, b - parametry charakteryzujące pochylenie wykresu (rys. 108) mm,
 V_b - powiększenie wykresu w kierunku b .

Błąd kąta zarysu oblicza się ze wzoru

$$\Delta \alpha = -3,44 \frac{a V_b}{b \operatorname{tg} \alpha}. \quad (82)$$



Rys. 107. Wykres idealnego zarysu zęba;
 1 - błędy stopy zęba, 2 - odcinek linii prostej odpowiadającej właściwej ewolwencji, 3 - błędy głowy zęba,
 V_a - powiększenie wykresu w kierunku błędu ewolwenty, V_b - powiększenie wykresu w kierunku wysokości zęba



Rys. 108. Typowy wykres zarysu boku zęba

Promień zasadniczy r_z dla kół o zębach prostych obliczamy z równania

$$r_z = \frac{zm}{2} \cos \alpha, \quad (83)$$

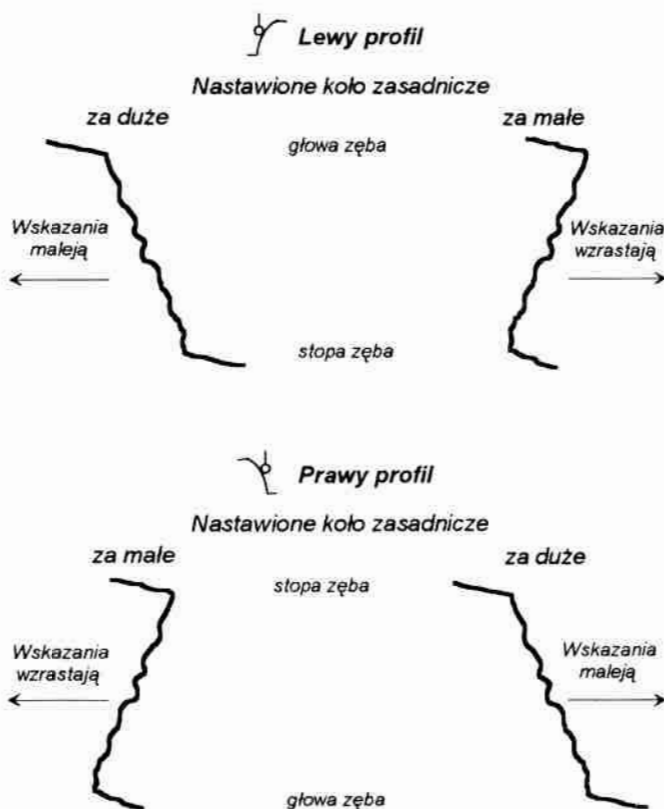
gdzie: z - liczba zębów koła zębatego,
 m - moduł koła zębatego,
 α - kąt zarysu koła zębatego,

zaś dla kół o zębach śrubowych wg zależności

$$r_z = \frac{zm_t}{2} \cos \alpha_t = \frac{zm_n}{2\sqrt{\cos^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}}, \quad (84)$$

gdzie: m_t - moduł czołowy,
 α_t - kąt zarysu w przekroju czołowym,
 m_n - moduł normalny,
 β - kąt pochylenia linii zęba.

Na rys. 109 przedstawiono kierunek zmian wskazań wskutek nieprawidłowo dobranego promienia koła zasadniczego (w czasie obróbki źle ustawiono narzędzie w stosunku do osi koła). Całkowita



Rys. 109. Schemat wyjaśniający wprowadzenie poprawki Δr_z

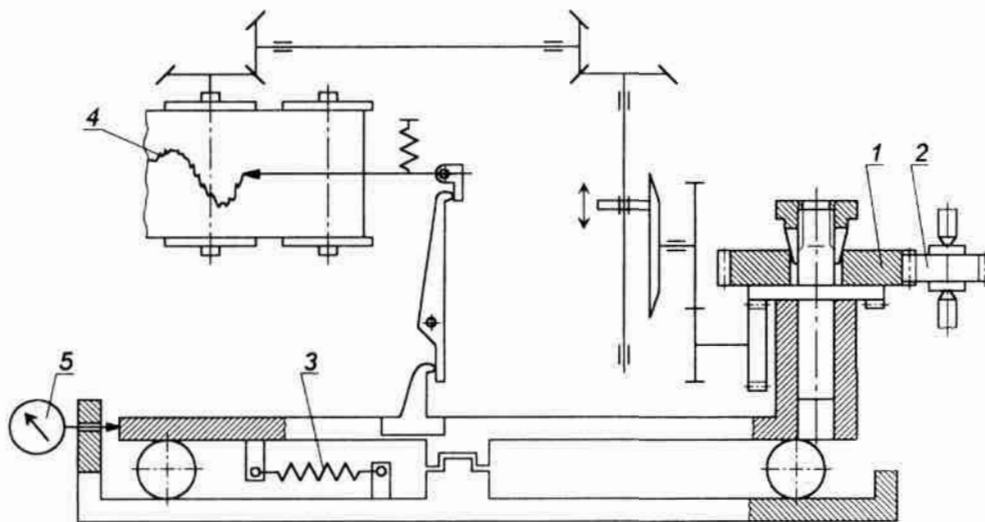
odchyłka wskutek nieprawidłowo wykonanego kąta zarysu oraz błędów ewolwenty powinna być zawarta w dopuszczalnej odchyłce Δe , określonej dla zadanej klasy w tabl. XII/4 lit. [4]. Rzeczywisty błąd ewolwenty otrzymuje się odczytując wskazania czujnika na przyrządzie lub z wykresu. W tym celu wyznacza się różnicę odciętych dla granicznych punktów wykresu (w kierunku a), przy czym 1 mm na wykresie równa się $1 \mu\text{m}$ na ewolwencie. Jeżeli linia wykresu jest pochylona, to można wprowadzić poprawkę Δr_z i wówczas otrzymany rozrzut w kierunku a stanowi sumę błędów ewolwenty oraz chropowatości i falistości powierzchni bez błędu promienia zasadniczego.

2.2. Współpraca kół zębatach

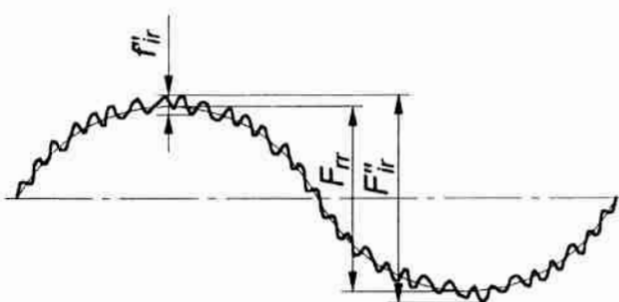
Często nie interesują nas poszczególne odchyłki wymiarów kół zębatach, interesują nas natomiast błędy współpracy - błędy zazębienia. W celu wyznaczenia tych błędów stosuje się przyrządy do sprawdzania współpracy koła badanego z kołem wzorcowym lub dwu kół, które mają ze sobą współpracować. Wszystkie znane przyrządy do sprawdzania współpracy można podzielić na dwie grupy:

- do sprawdzania współpracy z *jednostronnym przyleganiem*; zaletą tej metody jest to, że sprawdzanie odbywa się w takich samych warunkach, w jakich te koła będą pracowały po ich zmontowaniu;
- do sprawdzania współpracy z *obustronnym przyleganiem*; cechą charakterystyczną tej metody jest to, że uzyskuje się wyniki zniekształcone odchyłkami normalnie nie pracującej strony zębów.

Na rys. 110 przedstawiono schemat przyrządu do sprawdzania współpracy obustronnej. Koło wzorcowe 1 jest zazębione z kołem sprawdzanym 2 i dociskane do niego sprężyną 3. Koło sprawdzane jest napędzane za pośrednictwem przekładni ślimakowej; powinno ono wykonać co najmniej jeden pełny obrót. Powstające podczas obrotu różnice odległości osi są przenoszone za pomocą rejestratora na wykres 4 lub czujnik 5. Przykładowy wykres pokazano na rys. 111. Na wykresie

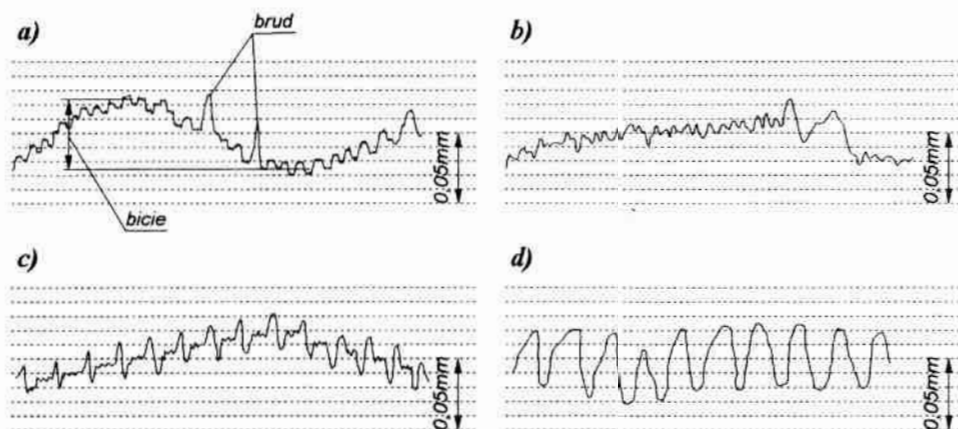


Rys. 110. Schemat przyrządu do sprawdzania współpracy obustronnej;
 1 - koło wzorcowe, 2 - koło sprawdzane, 3 - sprężyna dociskająca,
 4 - wykres, 5 - czujnik



Rys. 111. Typowy wykres błędów współpracy obustronnej;

f''_r - nierównomierność pomiarowej odległości osi na podziałce koła zębatego, F''_r - nierównomierność pomiarowej odległości osi koła zębatego, F_r - bicie promieniowe uzębienia koła zębatego



Rys. 112. Wykres współpracy kół zębatych z różnymi błędami zazębienia

podziałce koła zębatego, zaś symbolem F''_{ir} odchyłkę promieniową całego sprawdzanego koła. F_{rr} oznacza bicie promieniowe uzębienia. Dopuszczalne odchyłki promieniowe oraz odchyłki bicia można znaleźć w tabl. XII/1 i XII/4 lit. [4]. Na rys. 112a przedstawiono wykres współpracy obustronnej charakterystyczny dla odchyłki kąta zarysu. Na rys. 112b uwidocznił błąd podziałki. Na rys. 112c wykres charakteryzuje się gwałtownym przejściem od zęba do zęba, co jest wpływem niedoszlifowania wierzchołków zębów. Na rys. 112d wykres wskazuje na brak luzu wierzchołkowego.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Używając ewolwentomierza uniwersalnego VG 450, wykonać pomiar zarysu wybranego zęba koła zębatego.

Sposób wykonania:

Badane koło umocować wraz z trzpieniem w kłach ewolwentomierza. Zamocować właściwą końcówkę, ustawić wybraną stronę profilu i nastawić wysokość końcówki pomiarowej na 1/2 wysokości badanego koła. Wybrać i nastawić właściwą krzywkę. Obliczyć i nastawić promień zasadniczy r_z . Przygotować rejestrator do pracy. Regulując zabierakiem, ustawić czujnik na wskazanie zerowe. Wykonać pomiar wraz z wykresem. W miarę potrzeby powtórzyć pomiar z poprawionym promieniem zasadniczym r_z . Wyniki pomiaru oraz ocenę klasy dokładności koła podać w sprawozdaniu.

Zadanie 2

Używając ewolwentomierza uniwersalnego VG 450, wykonać pomiar zarysu zęba dłutaka Fellowsa. Sposób wykonania jak w zadaniu 1.

Zadanie 3

Sprawdzić współpracę dwóch kół zębatach. Sposób wykonania jest następujący: Zamocować sprawdzane koło na przyrządzie do sprawdza-

nia współpracy i zazębić z drugim kołem z pewnym dociskiem. Uruchomić napęd ślimakowy i obserwować wskazania czujnika w celu określenia zakresu bicia uzębienia przy współpracy kół. Uwzględniając te wskazania, ustalić powiększenie oraz prędkość przesuwu taśmy papierowej (ewentualnie wyregulować napęd). Włączyć rejestrator, uruchomić napęd i wykonać wykres. Wykorzystując wykres oraz uwzględniając powiększenia, określić f''_{ir} , F''_{ir} i F_{rr} , podać wnioski oraz odpowiedzieć na niżej postawione pytania:

- a) czy koło spełnia warunki zadanej klasy (wg normy) ?
- b) jakiego typu błędy występują w kole na podstawie porównania otrzymanego wykresu z rys. 112 ?

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić niezbędne szkice, obliczenia i wykresy dotyczące sposobu wykonania ćwiczenia. W końcowej części sprawozdania powinny również być zamieszczone wnioski oraz ustalenia dotyczące klasy dokładności sprawdzanych kół zębatach.

15

Ćwiczenie laboratoryjne nr 15. Pomiar błędów kształtu

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z najczęściej występującymi błędami kształtu przedmiotów oraz zasadami ich pomiaru

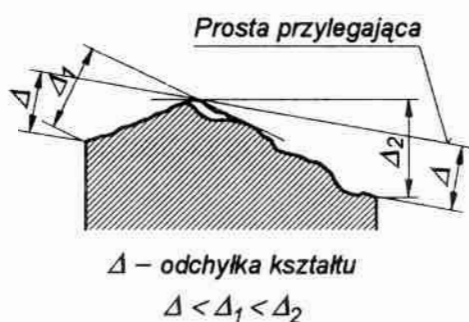
2. Podstawy teoretyczne

Rzeczywisty kształt powierzchni i linii zarysów przedmiotów różni się zazwyczaj od ich teoretycznego kształtu podanego na rysunku. Miarą *nieprawidłowości kształtu* są *odchyłki kształtu* rozumiane jako największe odległości pomiędzy powierzchnią lub linią rzeczywistą, a powierzchnią lub linią idealną. Jako idealne przyjmuje się na ogół linie i powierzchnie przylegające lub linie i powierzchnie średnie. *Linie* lub *powierzchnie przylegające* są to linie lub powierzchnie o prawidłowym kształcie teoretycznym, położone na zewnątrz materiału możliwie blisko linii i powierzchni rzeczywistych. *Linia* lub *powierzchnia średnia* to elementy geometryczne o kształcie nominalnym, położone względem elementów rzeczywistych w ten sposób, że suma kwadratów odległości punktów rzeczywistych od linii lub powierzchni średniej jest najmniejsza. Najczęściej spotykanymi rodzajami powierzchni i linii zarysów części maszynowych są powierzchnie płaskie i walcowe oraz linie proste i łuki kołowe. Przy określaniu odchyłek kształtu porównuje się je odpowiednio

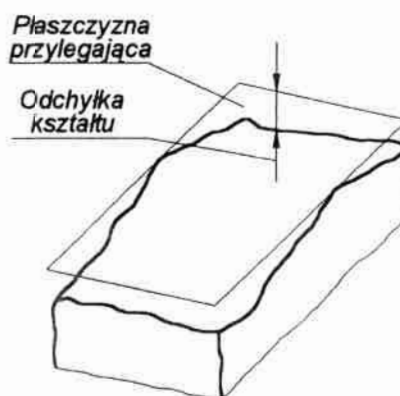
z płaszczyznami, powierzchniami walcowymi, liniami prostymi i kołami przylegającymi lub średnimi.

Prosta przylegająca (rys. 113) jest to prosta stykająca się z linią rzeczywistą, położona na zewnątrz materiału i ustawiona tak, aby największa odległość pomiędzy nią a linią rzeczywistą była najmniejsza spośród wszystkich możliwych odpowiadających różnym ustawieniom.

Płaszczyzna przylegająca (rys. 114) jest to płaszczyna stykająca się z powierzchnią rzeczywistą, położona na zewnątrz materiału i ustawiona tak, aby największa odległość między nią a powierzchnią rzeczywistą była najmniejsza spośród wszystkich możliwych odpowiadających różnym ustawieniom.



Rys. 113. Prosta przylegająca

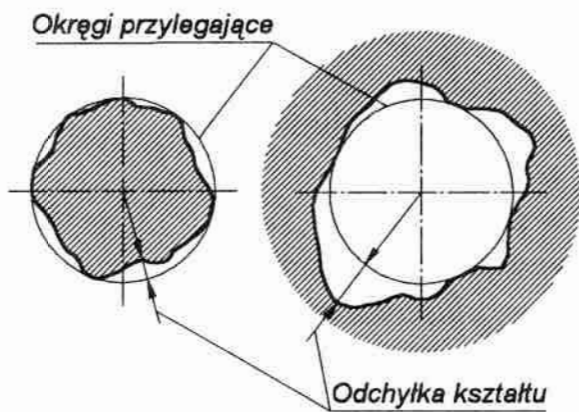


Rys. 114. Płaszczyzna przylegająca

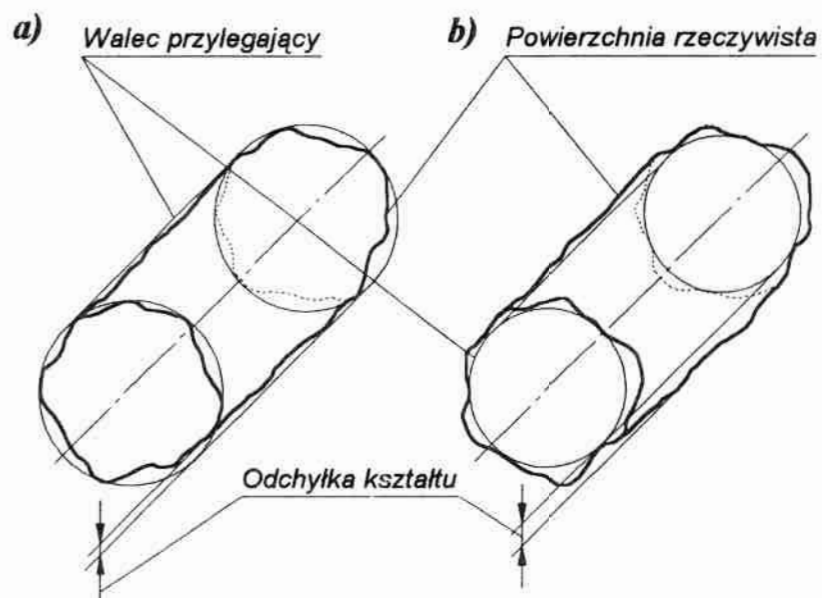
Okrag przylegający (rys. 115) jest to okrag o najmniejszej średnicy opisany na zarysie wałka lub okrag o największej średnicy wpisany w zarys otworu.

Walec przylegający (rys. 116) jest to walec o najmniejszej średnicy opisany na powierzchni wałka lub walec o największej średnicy wpisany w powierzchnię otworu.

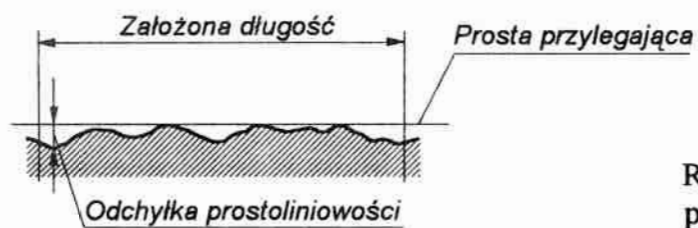
Przy rozpatrywaniu odchyłek kształtu nie bierze się pod uwagę chropowatości powierzchni.



Rys. 115. Okrąg przylegający



Rys. 116. Walec przylegający; a) na powierzchni wałka, b) na powierzchni otworu



Rys. 117. Określenie odchyłki prostoliniowości w płaszczyźnie

Wyróżnia się trzy rodzaje odchyłek prostoliniowości:

- odchyłki prostoliniowości w płaszczyźnie,
- odchyłki prostoliniowości w przestrzeni,
- odchyłki prostoliniowości w wyznaczonym kierunku.

Odchyłka prostoliniowości w płaszczyźnie (rys. 117) jest to największa odległość między linią rzeczywistą a prostą przylegającą.

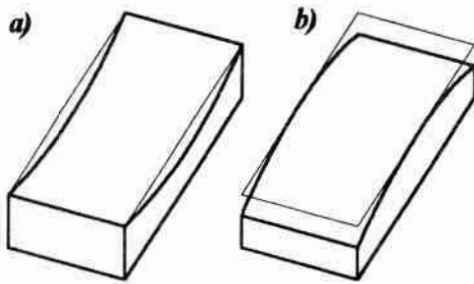
Odchyłka prostoliniowości w przestrzeni jest najmniejszą średnicą walca obejmującego linię rzeczywistą.

Odchyłka prostoliniowości w wyznaczonym kierunku jest największą odległością między rzutem linii rzeczywistej na wyznaczoną płaszczyznę a prostą przylegającą.

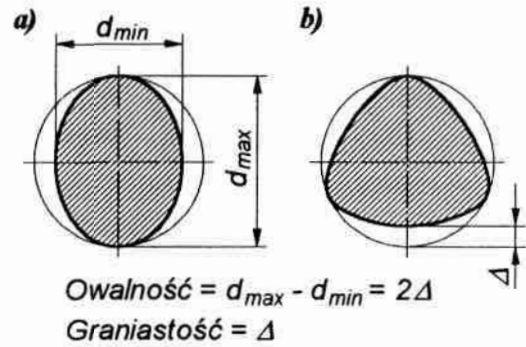
Odchyłka płaskości (rys. 114) jest to największa odległość między powierzchnią rzeczywistą a płaszczyzną przylegającą. Rozróżnia się tutaj dwa rodzaje typowych odchyłek: wklęsłość i wypukłość powierzchni. *Wklęsłość* jest to nieprawidłowość kształtu powierzchni teoretycznie płaskich (lub zarysów teoretycznie prostoliniowych), przy której odległość punktów powierzchni rzeczywistej od płaszczyzny przylegającej wzrasta w miarę zbliżania się ku środkowi (rys. 118a). *Wypukłość* jest to nieprawidłowość kształtu powierzchni teoretycznie płaskich (lub zarysów teoretycznie prostoliniowych), przy której odległość punktów powierzchni rzeczywistej od płaszczyzny przylegającej maleje w miarę zbliżania się ku środkowi (rys. 118b).

Odchyłka okrągłości (rys. 119) może występować w dwóch typowych odmianach: owalność i graniastość. *Owalność* (rys. 119a) jest to nieprawidłowość zarysu teoretycznie kołowego, przy której zarys rzeczywisty jest figurą owalną o średnicach do siebie prostopadłych. Miarą owalności jest połowa różnicy najmniejszej i największej średnicy. *Graniastość* (rys. 119b) jest to nieprawidłowość kształtu zarysu teoretycznie kołowego, przy której zarys rzeczywisty jest zbliżony do wielokąta. Miarą graniastości jest odchyłka okrągłości, określona jako największa różnica między zarysem rzeczywistym a okręgiem przylegającym lub okręgiem średnim.

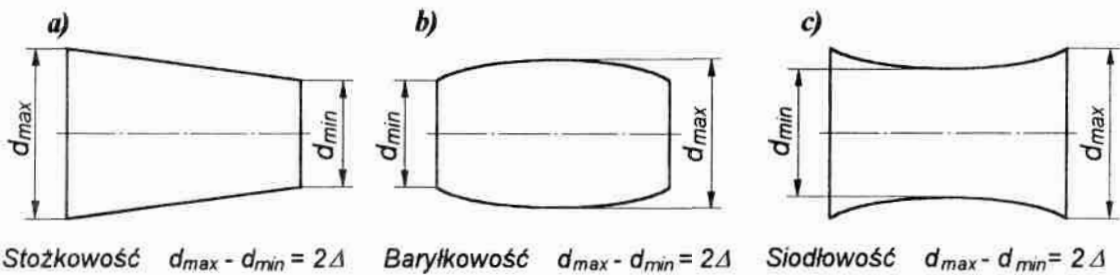
Odchyłka walcowości (rys. 116) jest największą odległością między rzeczywistą powierzchnią a walcem przylegającym. Rozróżniamy



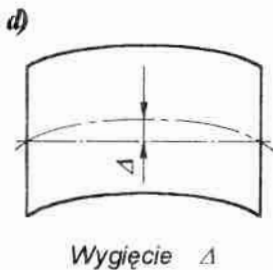
Rys. 118. Przykład powierzchni:
a) wklęsłej, b) wypukłej



Rys. 119. Błędy okrągłości:
a) owalność, b) graniastość



Stożkowatość $d_{max} - d_{min} = 2\Delta$ Baryłkowość $d_{max} - d_{min} = 2\Delta$ Siodłowość $d_{max} - d_{min} = 2\Delta$



Wygięcie Δ

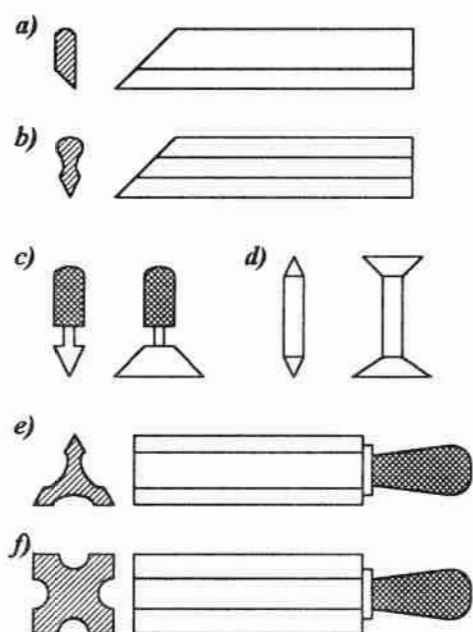
Rys. 120. Typowe błędy walcowości

typowe błędy walcowości: stożkowatość, baryłkowość, siodłowość i wygięcie (rys. 120). *Stożkowatość* jest to nieprawidłowość kształtu powierzchni teoretycznie walcowej, przy której tworzące są prostoliniowe lecz nie są równoległe. *Baryłkowość* - nieprawidłowość kształtu powierzchni teoretycznie walcowej, przy której tworzące są wypukłe. *Siodłowość* jest to nieprawidłowość kształtu powierzchni teoretycznie walcowej, przy której tworzące są wklęsłe. Miarą stożkowatości, baryłkowości i siodłowości jest różnica średnic największej

i najmniejszej powierzchni walcowej, liczbowo równa podwójnej odchyłce walcowości.

Do pomiarów błędów kształtu używa się przyrządów uniwersalnych, jak również przyrządów specjalnych. Z przyrządów uniwersalnych najczęściej są stosowane: linały krawędziowe, linały powierzchniowe, płyty pomiarowe i przyrządy kłowe różnych typów. Do dokładnych pomiarów błędów kształtu używa się również m. in. autokolimatorów, okągłościomierzy, głowic optycznych wyposażonych w urządzenia do pomiarów wałów krzywkowych. Zasada pomiaru przy użyciu autokolimatora oraz przy użyciu optycznej głowicy podziałowej została omówiona w ćwiczeniach poprzednich. Dlatego też w tym ćwiczeniu ograniczymy się do omówienia linałów krawędziowych, powierzchniowych oraz płyt pomiarowych.

2.1. Linały krawędziowe

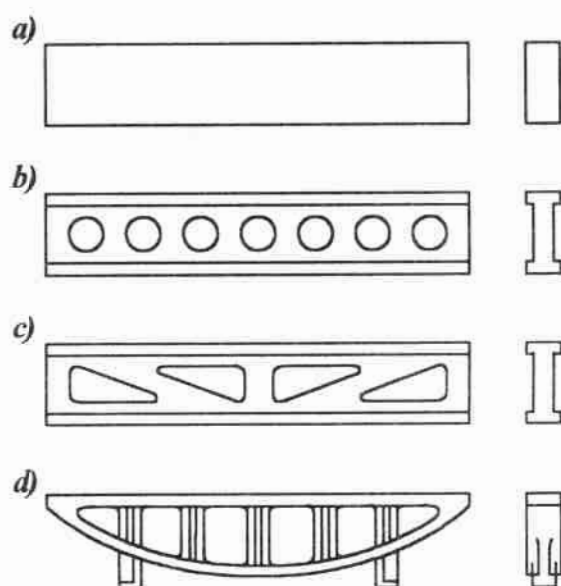


Rys. 121. Linały krawędziowe

Kształty *linałów krawędziowych* podano na rys. 121. Linały są wykonane ze stali narzędziowej lub stopowej o twardości krawędzi pomiarowych 60 HRC. Promień zaokrąglenia krawędzi pomiarowych powinien zawierać się w granicach $0,1 \div 0,2$ mm. Rozróżnia się dwie klasy dokładności wykonania linałów, klasę 0 i 1. Długość krawędzi pomiarowych wynosi $30 \div 500$ mm. Linały krawędziowe są przeznaczone do sprawdzania prostoliniowości i płaskości powierzchni przez obserwację szczelin świetlnych w świetle przechodzącym.

2.2. Liniały powierzchniowe

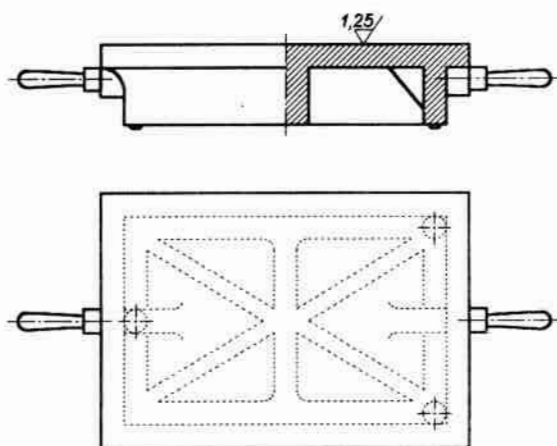
Liniały powierzchniowe o kształtach podanych na rys. 122 o długości od 250 do 4000 mm (zależnie od typu) są wykonane ze stali narzędziowej lub żeliwa. Pod względem dokładności wykonania liniały powierzchniowe dzielimy na pięć klas: 00, 0, 1, 2, 3. Przy klasyfikacji klasę liniału określa klasa jego mniej dokładnej powierzchni. Liniały powierzchniowe służą do sprawdzania prostoliniowości i płaskości powierzchni przez pomiar odchyłeń od powierzchni wzorcowej lub przez dotarcie na farbę. Według liczby punktów przylegania (plam) w kwadracie 25×25 mm określa się klasę płaskości powierzchni skrobanej w sposób następujący: kl. 00 ponad 30 punktów, kl. 0 do 25 punktów, kl. 1 do 20 punktów, kl. 2 do 16 punktów i kl. 3 do 12 punktów.



Rys. 122. Liniały powierzchniowe

2.3. Płyty pomiarowe

Płyty pomiarowe i traserskie mogą być wykonane z żeliwa, staliwa lub granitu. Wygląd płyty pomiarowej pokazano na rys. 123. Żeliwne płyty pomiarowe i płyty traserskie są określone normami PN/M-53099 i PN/M-53191. Zbudowane są one z drobnoziarnistego żeliwa



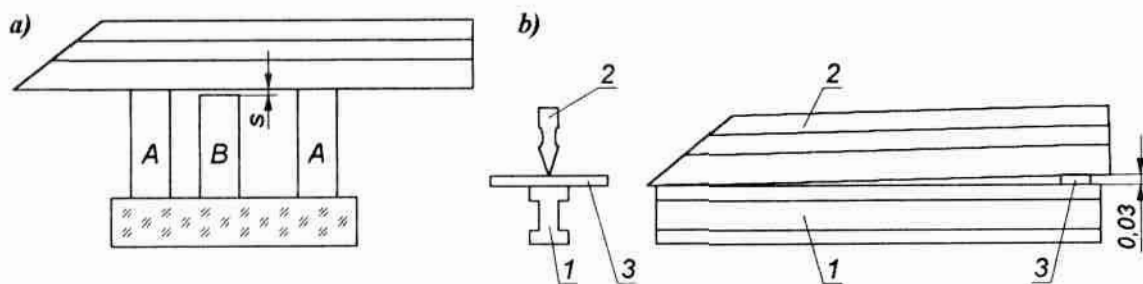
Rys. 123. Płyta pomiarowa

o twardości 150 HB. Powierzchnia robocza płyt ma kształt prostokąta. Płyty o wymiarach dłuższego boku do 1000 mm są podparte tylko w trzech punktach. Płyty o większych wymiarach wobec możliwości ugięć i pomiarów ciężkich przedmiotów, mogących spowodować przechylenie płyty, mają cztery punkty podparcia. Rozróżniamy pięć klas dokładności płyt: 00, 0, 1, 2, 3. W polskich normach przewiduje się płyty o powierzchniach szlifowanych, skrobanych lub dokładnie struganych. Żeliwne płyty pomiarowe są stosowane jako płaszczyzny podstawowe przy pomiarach błędów kształtu i położenia.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Sprawdzić prostoliniowość wskazanego płaskownika za pomocą liniału krawędziowego na prześwit w świetle przechodzącym. Sposób wykonania: wielkość odchylenia określić przez porównanie szczelin ze szczelinami wzorcowymi. Określić odchyłkę prostoliniowości i zgodnie z tablicą IV wyznaczyć klasę dokładności kształtu. Szczeliny wzorcowe można utworzyć zestawiając na płaskiej płytce interferencyjnej obok siebie trzy stosy płytek *A*, *B* i *A* tak, aby płytki przywierały do siebie (rys. 124a). Stosy *A* mają tę samą wysokość, a wysokość stosu *B* zmienia się przez wymianę płytek wzorcowych. Przystawiając liniał krawędziowy



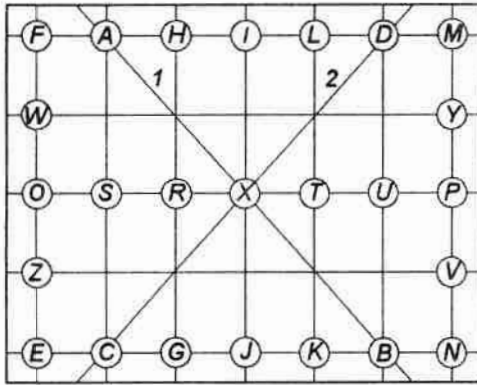
Rys. 124. Ustawienie wzorcowej szczeliny świetlnej: a) przy pomocy stosów z płytek wzorcowych, b) przy pomocy płytki szczelinomierza;

1 - linał powierzchniowy, 2 - linał krawędziowy, 3 - płytka szczelinomierza

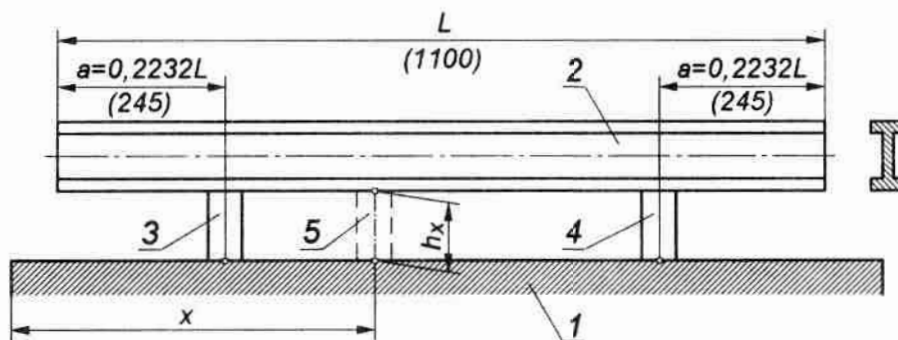
do stosów A otrzymamy szczelinę świetlną między krawędzią linału a stosem B. Z nią porównujemy szczelinę powstałą między krawędzią linału a powierzchnią przedmiotu sprawdzanego. Przy większych szczelinach świetlnych można szczelinę wzorcową budować wg rys. 124b, posługując się szczelinomierzem. Linał krawędziowy 2 opieramy na płytce szczelinomierza 3 o grubości np. 0,03 mm, usytuowanego na linał powierzchniowym 1. Tworzy się w ten sposób szczelina świetlna, której wysokość jest proporcjonalna do odległości od końca linału 1.

Zadanie 2

Sprawdzić płaskość płyty przez pomiar odchyłeń od linii wzorcowej. Sposób wykonania: powierzchnię badanej płyty dzielimy wzdłuż i w szerz na poszczególne pola. Sposób podziału pokazuje rys. 125. Linał 2 o długości L ustawiamy na dwóch płytkach wzorcowych 3 i 4 o tym samym wymiarze w odległości a od jego końców, tak jak pokazano to na rys. 126. Wielkość a wynosi $0,2232 L$. Przy tak dobranych punktach podparcia (zwanych *punktami Granta*), dolna powierzchnia linału 2 ulega najmniejszym odkształceniom. Następnie w kilku miejscach w określonej odległości od krawędzi płyty 1 ustawiamy stos płytek wzorcowych 5 i mierzymy odległość linału od powierzchni płyty. Po wykonaniu pomiarów wzdłuż linii AC i DB, następnie w kierunkach AD i CB itd. należy połączyć punkty o jednakowych odchyleniach od linii wzorcowej. W ten sposób otrzymamy tzw. *warstwiczny plan badanej*



Rys. 125. Przykład podziału powierzchni płyty; 1, 2 - linie pomiarowe



Rys. 126. Sposób podparcia liniału powierzchniowego;

L - długość liniału, a - odległość do punktu podparcia, h_x - odległość liniału od powierzchni płyty, 1 - sprawdzana płyta pomiarowa, 2 - liniał powierzchniowy, 3, 4 - płytki wzorcowe, 5 - stos płytek wzorcowych

powierzchni. Im bardziej będą zagęszczone linie na rys. 125, tym bardziej dokładny będzie otrzymany plan warstwicowy. Na podstawie planu warstwicowego możemy wyznaczyć te miejsca powierzchni, w których występuje największy błąd płaskości.

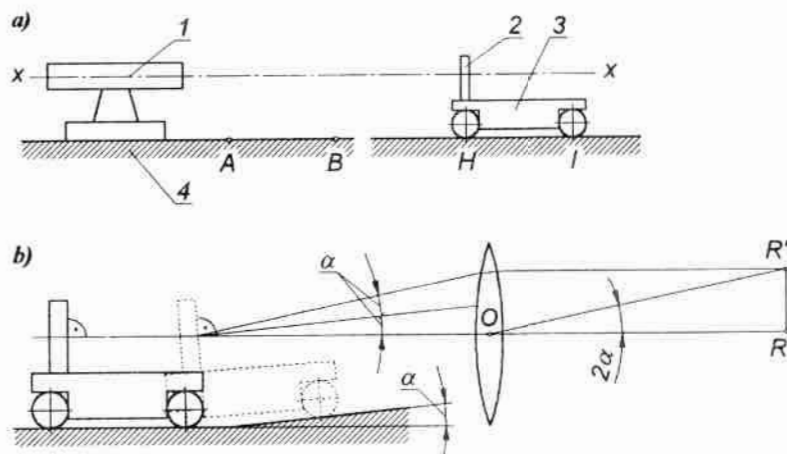
Zadanie 3

Sprawdzić płaskość powierzchni wskazanego przedmiotu za pomocą liniału powierzchniowego. Sposób wykonania: powierzchnię badanego przedmiotu lub powierzchnię liniału pokryć cienką warstwą farby. Następnie należy przyłożyć liniał do sprawdzanej powierzchni

(powierzchnią pokrytą farbą) i dociskając go przesunąć go po tej powierzchni. Używając wziernika kwadratowego - ramki o wymiarach 25×25 mm - określić liczbę punktów przylegania w kilku miejscach na danej powierzchni. Położenie tych miejsc A, B, C, D, E, F, G, H należy określić współrzędnymi x i y w wybranym układzie odniesienia. Na podstawie liczby punktów przylegania należy określić klasę płaskości powierzchni.

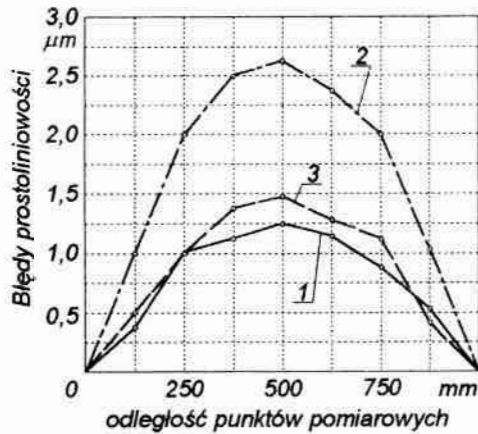
Zadanie 4

Określić odchyłkę prostoliniowości danego przedmiotu przy zastosowaniu autokolimatora. Zasadę pomiaru przedstawiono na rys. 127. Sposób wykonania: lustro 2 autokolimatora 1 zamontowane na liniale sinusowym 3 ustawia się wraz z liniałem na powierzchni sprawdzanego przedmiotu 4 w punktach pomiarowych A, B, \dots linii pomiarowej. Na jednym z końców linii pomiarowej ustawia się autokolimator 1. Przesuwając lustro 2 wzdłuż linii pomiarowej odczytuje się wskazania autokolimatora. W przypadku wybrania do sprawdzania małego przedmiotu autokolimator ustawia się poza przedmiotem - na sztywnym korpusie lub płycie. Wyniki pomiarów należy przedstawić na wykresie (przykład takiego wykresu zamieszczono na rys. 128).



Rys. 127. Pomiar odchyłki prostoliniowości autokolimatorem;

A, B, \dots, H, I - punkty pomiarowe, α - kąt powstały z nierówności płaszczyzny;
 1 - autokolimator, 2 - lustro autokolimatora, 3 - liniał sinusowy, 4 - powierzchnia sprawdzanego przedmiotu

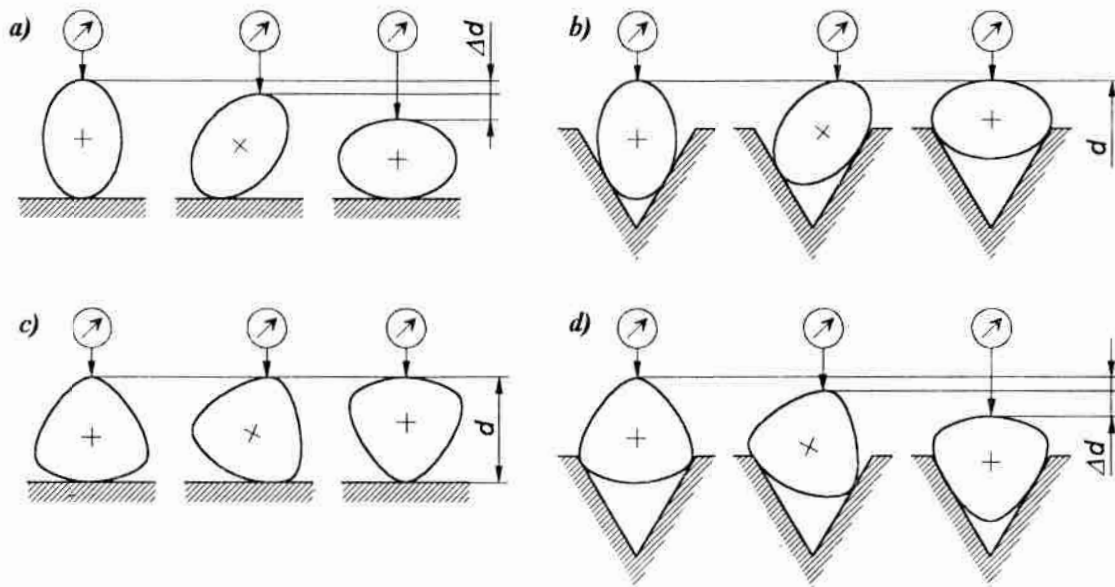


Rys. 128. Wykres odchyłek prostoliniowości

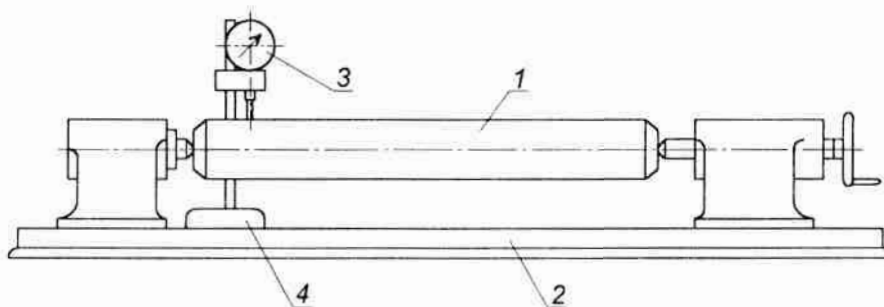
Zadanie 5

Określić odchyłki okrągłości wskazanego wałka i zgodnie z tablicą V - klasę dokładności wykonania kształtu. Sposób wykonania: Ponieważ warunki wykrywania owalności i graniastości są odmienne, należy wykonać podwójną kontrolę okrągłości w celu wykrycia owalności lub graniastości. Potrzeba dokonania podwójnej kontroli uzasadniona jest tym, że owalność przekroju kołowego może być wykryta przez pomiar stykowy o styku dwupunktowym. Natomiast może być ona nie wykryta przez pomiar stykowy o styku trzypunktowym, gdy zarys przekroju jest zbliżony do elipsy, a kąt między powierzchniami pryzmy wynosi 60° . Odwrotnie w przypadku kontroli graniastości, gdy zastosuje się styk dwupunktowy, błąd może zostać nie wykryty.

Na rys. 129 przedstawiono schemat przydatności różnych sposobów pomiaru błędu okrągłości. Najprościej kontroli owalności można dokonać przez pomiar dwu dowolnych, lecz wzajemnie prostopadłych średnic przedmiotu. Dokładność kontroli można zwiększyć przez pomiar kilku średnic wzajemnie przestawionych o odpowiednie kąty. Pomiar owalności wałków z nakiełkami najwygodniej jest wykonać na przyrządzie kłowym za pomocą czujnika zegarowego zamocowanego na podstawie (rys. 130). Aby uprościć dokonanie pomiaru, można przez obrót przedmiotu dookoła jego osi znaleźć najmniejszą odległość powierzchni od osi i w tym położeniu nastawić czujnik na wskazanie zerowe. Obracając przedmiot co 90° , należy



Rys. 129. Schemat przydatności różnych sposobów pomiaru błędu okrągłości



Rys. 130. Pomiar owalności wałków w przyrządzie kłowym;
1 - wałek, 2 - przyrząd kłowy, 3 - czujnik zegarowy, 4 - podstawa czujnika

odczytać wskazania a_{90} , a_{180} , a_{270} . Odchyłkę okrągłości w przypadku owalności oblicza się wg wzoru

$$2\Delta d = a_{90} + a_{270} - a_{180} \quad (85)$$

W przypadku gdy błąd okrągłości wykazuje charakter odmienny od graniastości i owalności, wygodnie jest posłużyć się okrągłościomierzem lub głowicą optyczną oraz urządzeniem do badań wałów krzywkowych. Możemy wtedy sporządzić dokładny wykres błędów okrągłości w funkcji kąta obrotu.

Zadanie 6

Określić odchyłkę walcowości wskazanego przedmiotu przy użyciu liniału krawędziowego, oraz przez pomiar jego średnicy w kilku przekrojach. Zgodnie z tablicą V wyznaczyć klasę dokładności kształtu. Sposób pomiaru: przed przystąpieniem do pomiaru średnicy sprawdzanego przedmiotu w kilku przekrojach należy sprawdzić, czy wałek nie jest wygięty, używając do tego celu liniału krawędziowego. Następnie wykonać pomiar średnic co najmniej w pięciu płaszczyznach prostopadłych do osi wałka i obliczyć odchyłkę walcowości jako

$$\Delta w = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \quad (86)$$

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać: wyniki pomiarów, obliczenia, rysunki i szkice odnoszące się do poszczególnych metod pomiaru. Korzystając z tablic należy określić klasy dokładności kształtu mierzonych przedmiotów.

16

Ćwiczenie laboratoryjne nr 16. Pomiary błędów położenia

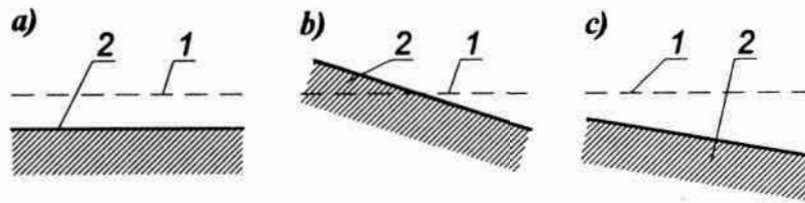
1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z najczęściej spotykanymi odchyłkami położenia oraz sposobami i zasadami pomiaru tych odchyłek

2. Podstawy teoretyczne

Miarą nieprawidłowości położenia są *odchyłki położenia* rozumiane jako odchylenia rozpatrywanych powierzchni (ich osi lub płaszczyzn symetrii) do nominalnego położenia względem elementu odniesienia. Przy rozpatrywaniu odchyłek położenia nie bierze się pod uwagę odchyłek kształtu, zastępując powierzchnie rzeczywiste powierzchniami przylegającymi. Za *środki* lub *osie powierzchni rzeczywistych* uważa się *środki* lub *osie powierzchni przylegających*. Wielkość odchyłek położenia określa się w jednostkach długości na założonym obszarze.

Na rys. 131 przedstawiono składowe błędy położenia. Błąd położenia w przypadku ogólnym składać się może z *błędów przesunięcia* i *skręcenia* rozpatrywanych elementów 1 i 2. Dlatego wśród odmian błędów położenia występują takie, do których należą obie składowe błędy położenia (przemieszczenie osi otworów, przemieszczenie osi albo



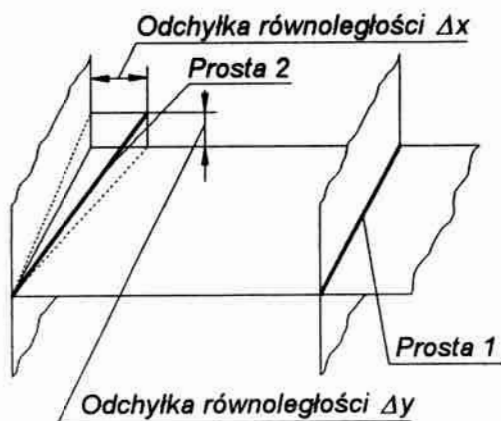
Rys. 131. Składowe błędy położenia: a) przesunięcie, b) skręcenie, c) suma przesunięcia i skręcenia;
1, 2 - rozpatrywane elementy

płaszczyzny symetrii) lub też jedną składową (mimośrodowość, pochylenie osi, przesunięcie osi albo płaszczyzny symetrii). Błędy te można odnosić do elementów strukturalnych powierzchni jednego przedmiotu lub też - w przypadku błędów montażowych - do elementów powierzchni różnych przedmiotów. Błędy położenia ogranicza się przez podanie dopuszczalnej odchyłki położenia. *Odchyłka położenia* jest to wartość liczbowa największego błędu położenia z uwzględnieniem jego kierunku. Różnica między górną i dolną wartością dopuszczalnej odchyłki położenia nazywa się *tolerancją położenia*. W przeważającej większości przypadków odchyłki te są symetryczne i tolerancja położenia równa się podwójnej wartości odchyłki dopuszczalnej.

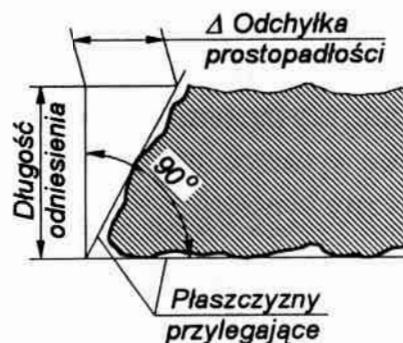
Rozróżniamy między innymi następujące rodzaje typowych błędów położenia:

a) *odchyłka równoległości* dwóch rzeczywistych płaszczyzn, prostych lub prostej i płaszczyzny, jest to różnica największej i najmniejszej odległości między płaszczyznami i prostymi; jeżeli proste nie leżą w jednej płaszczyźnie, rozpatruje się różnice odległości ich rzutów na dwie odpowiednio wybrane płaszczyzny do siebie prostopadłe (rys. 132);

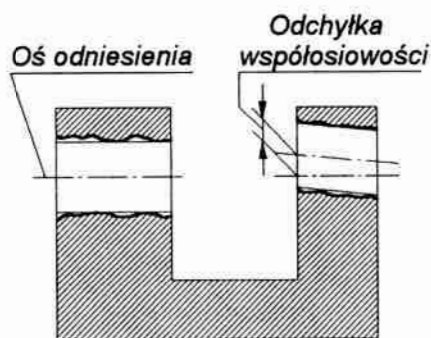
b) *odchyłka prostopadłości* dwóch rzeczywistych płaszczyzn, dwóch prostych lub prostej i płaszczyzny, jest to różnica kąta między płaszczyznami, prostymi lub prostą i płaszczyzną i kąta 90° , określona w jednostkach długości w ustalonym miejscu (rys. 133); przez odchyłki



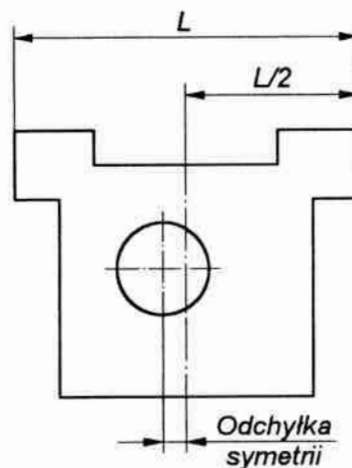
Rys. 132. Wyznaczanie odchyłki równoległości



Rys. 133. Wyznaczanie odchyłki prostopadłości



Rys. 134. Wyznaczanie odchyłki współosiowości



Rys. 135. Odchyłka symetrii

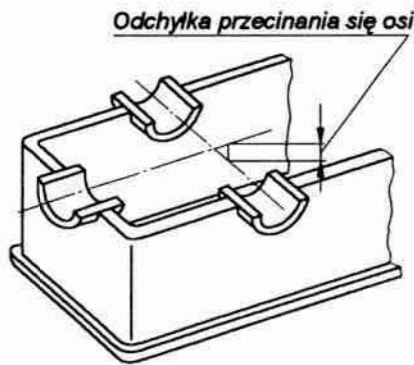
równoległości i prostopadłości powierzchni obrotowych rozumie się odchyłki położenia osi powierzchni przylegających;

c) *odchyłka współosiowości* jest to największa odległość pomiędzy osią rozpatrywanej powierzchni a osią odniesienia na całej długości między tymi osiami w rozpatrywanym przekroju (rys. 134). Oś odniesienia może być oś innego elementu np. otworu lub tzw. *oś wspólna*, wyznaczona dla kilku rozpatrywanych elementów. Jeżeli odchyłkę współosiowości rozpatruje się w wybranej płaszczyźnie,

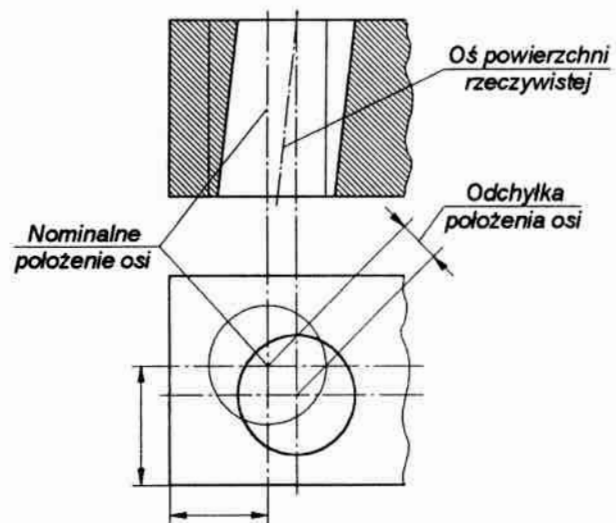
prostopadłej do jednej z osi to odchyłkę tę nazywa się *odchyłką współśrodkowości*;

d) *odchyłka symetrii* jest to największa odległość pomiędzy osiami lub płaszczyznami symetrii rozpatrywanych elementów (rys. 135). Odchyłkę symetrii można także wyznaczyć względem wspólnej osi lub płaszczyzny symetrii;

e) *odchyłka przecinania się osi* jest to największa odległość między tymi osiami (rys. 136),



Rys. 136. Wyznaczanie odchyłki przecinania się prostych



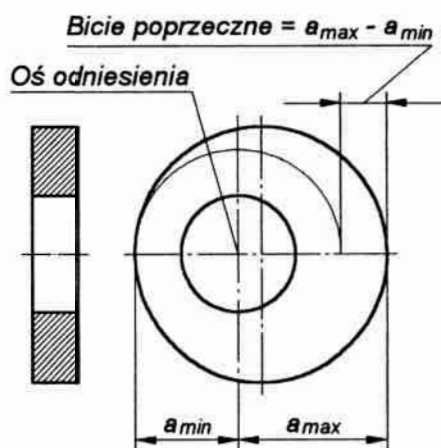
Rys. 137. Odchyłka położenia osi symetrii

f) *odchyłka pozycji*, nazywana też *odchyłką położenia osi* lub *płaszczyzn symetrii*, jest to największa odległość między osią rzeczywistą a osią w położeniu nominalnym (rys. 137).

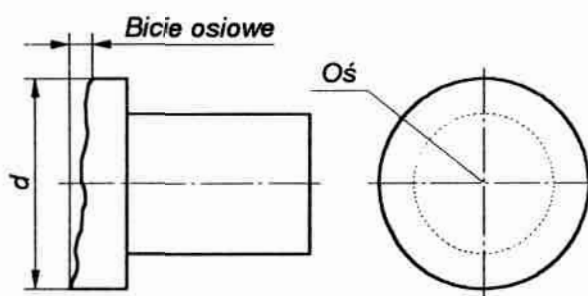
Oprócz odchyłek kształtu, omówionych w poprzednim ćwiczeniu, oraz wymienionych wyżej odchyłek położenia, występują także *odchyłki złożone położenia i kształtu*. Należą do nich między innymi:

a) *odchyłka bicia promieniowego* jest to różnica największej i najmniejszej odległości pomiędzy poszczególnymi punktami obrotowej powierzchni rzeczywistej a osią odniesienia, określona w płaszczyźnie prostopadłej do osi (rys. 138); obejmuje ona odchyłkę okągłości i odchyłkę współśrodkowości;

b) *odchyłka bicia osiowego* jest to różnica największej i najmniejszej odległości pomiędzy poszczególnymi punktami powierzchni rzeczywistej a płaszczyzną odniesienia prostopadłą do osi, określona na ustalonym poziomie (średnicy) (rys. 139); obejmuje ona odchyłkę prostopadłości i częściowo odchyłkę płaskości.



Rys. 138. Wyznaczanie bicia promieniowego



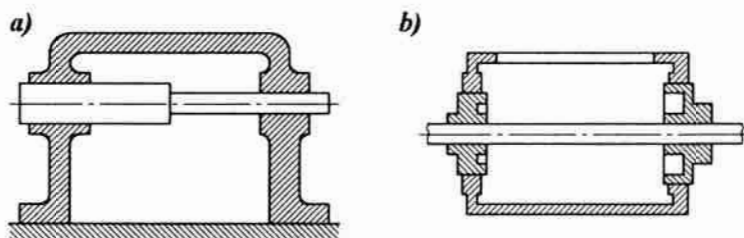
Rys. 139. Wyznaczanie bicia osiowego

Graniczne odchyłki położenia powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych, podane na rysunkach technicznych maszynowych, mogą być rozumiane jako *niezależne* bądź jako *zależne* od rzeczywistych wymiarów rozpatrywanych powierzchni. *Odchyłka niezależna* jest to odchyłka położenia, której wartość, niezależnie od rzeczywistej wartości wymiaru rozpatrywanego elementu, nie powinna przekraczać wartości

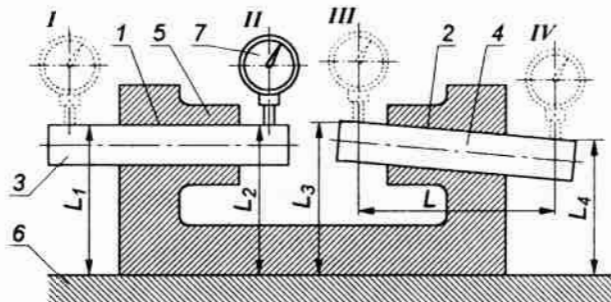
podanej na rysunku. *Odchyłka zależna*, oznaczona na rysunkach dodatkowym symbolem M , jest to odchyłka położenia, której wartość może przekroczyć wartość graniczną, podaną na rysunku, o wartość zależną od rzeczywistych wymiarów rozpatrywanych elementów.

Podana na rysunku graniczna wartość odchyłki położenia odpowiada największym wymiarom zewnętrznym i najmniejszym wymiarom wewnętrznym, tj. wymiarom maksimum materiału. Przy rzeczywistych wymiarach rozpatrywanych powierzchni, różniących się od wymiarów maksimum materiału w założonych granicach tolerancji, odchyłka położenia może przekroczyć podaną na rysunku wartość o połowę bezwzględnej różnicy wymiaru rzeczywistego i wymiaru maksimum materiału.

Sposoby kontroli najczęściej występujących odchyłek położenia poszczególnych elementów podano na rys. 140 do 149.

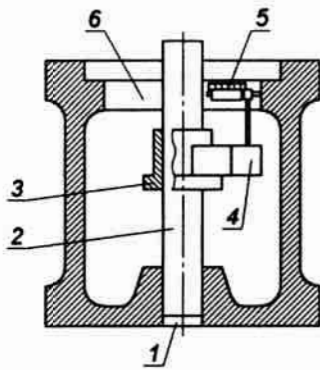


Rys. 140. Kontrola współosiowości dwóch otworów przy użyciu sprawdzianów: a) dla małych otworów, b) dla dużych otworów



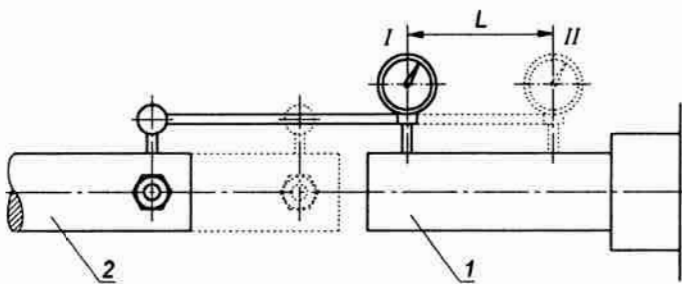
Rys. 141. Pomiar położenia dwóch otworów za pomocą trzpieni kontrolnych i czujnika zegarowego;

1 i 2 - sprawdzane otwory, 3 i 4 - trzpień kontrolne, 5 - mierzony przedmiot, 6 - płyta pomiarowa, 7 - czujnik



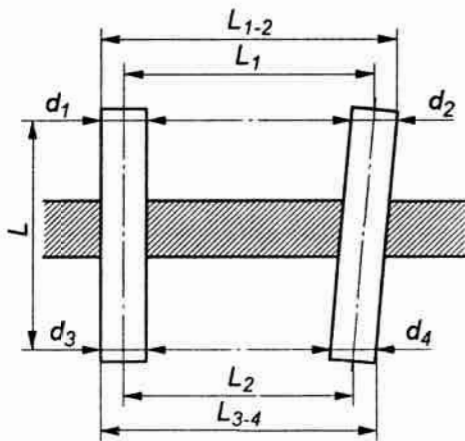
Rys. 142. Pomiar położenia osi dwóch otworów o różnych średnicach za pomocą czujnika i trzpienia kontrolnego;

1 - mniejszy otwór, 2 - trzpień kontrolny, 3 - przyrząd obrotowy, 4 - uchwyt czujnika, 5 - czujnik, 6 - większy otwór



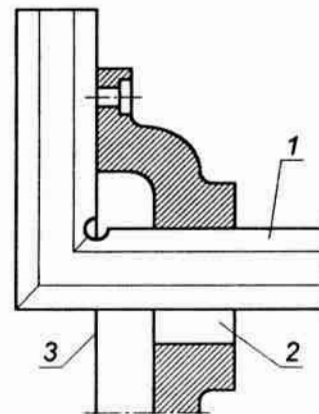
Rys. 143. Schemat pomiaru położenia dwóch wałków za pomocą czujnika zegarowego;

1 - wałek stały, 2 - wałek przesuwany, I i II - kolejne położenia pomiarowe



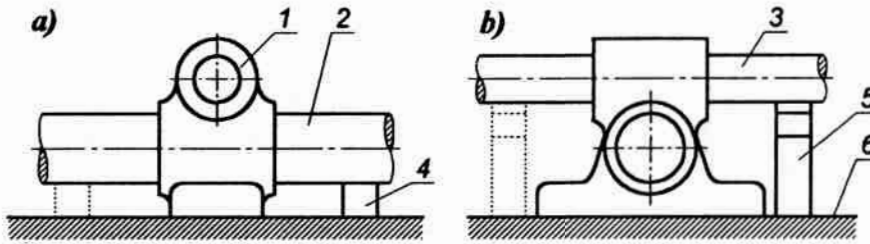
Odchyłka równoległości osi $\Delta L = L_1 - L_2$

Rys. 144. Schemat pomiaru odchyłki równoległości osi otworów



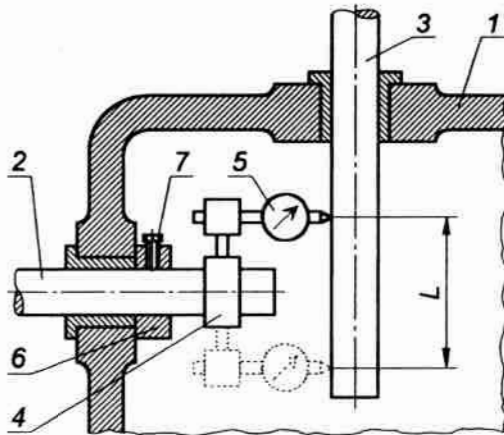
Rys. 145. Sprawdzenie prostokątności osi otworu i płaszczyzny za pomocą kątownika;

1 - kątownik krawędziowy, 2 - sprawdzany otwór, 3 - płaska powierzchnia sprawdzanego przedmiotu



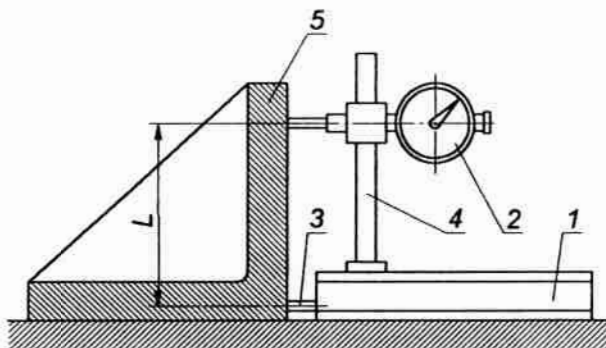
Rys. 146. Pomiar odchyłek równoległości osi dwóch otworów względem płaszczyzny za pomocą płytek wzorcowych;

1 - przedmiot, 2 i 3 - trzpień kontrolne, 4 i 5 - zestawy płytek wzorcowych, 6 - płyta pomiarowa



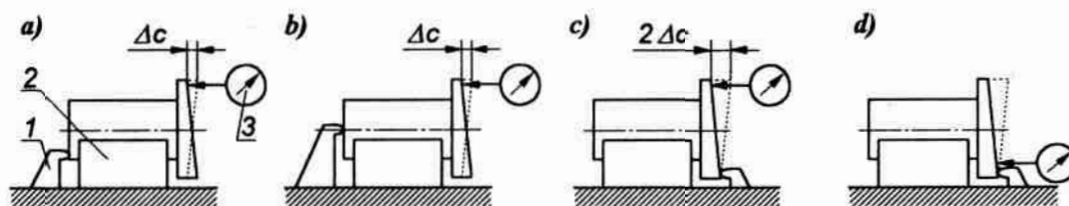
Rys. 147. Pomiar odchyłek prostopadłości osi dwóch otworów;

1 - sprawdzany korpus, 2 - trzpień osadzczy, 3 - trzpień kontrolny, 4 - uchwyty obrotowe czujnika, 5 - czujnik zegarowy, 6 - tuleja osadczą, 7 - śruba ustalająca



Rys. 148. Sprawdzenie prostopadłości płaszczyzn przy użyciu przyrządu czujnikowego;

1 - podstawa czujnika, 2 - czujnik, 3 - sworzeń oporowy, 4 - kolumna mocująca czujnik, 5 - sprawdzana płyta oporowa



Rys. 149. Pomiar bicia osiowego przy różnych położeniach trzpienia oporowego względem przedmiotu mierzonego: a) położenie niekorzystne, b) położenie prawidłowe, c) położenie najkorzystniejsze, d) położenie nieprawidłowe;

1 - element oporowy, 2 - pryzma pomiarowa, 3 - czujnik

3. Przebieg ćwiczenia

Przeprowadzić pomiary położenia otworów i płaszczyzn (wzajemnie do siebie prostopadłych i równoległych) korpusu wrzecienika lub innego wskazanego przedmiotu. Sposób wykonania. Podstawowymi elementami korpusów są dokładnie obrobione płaszczyzny i otwory. Kontrola wzajemnego położenia tych elementów sprowadza się do określenia: odchyłek równoległości, odchyłek prostopadłości, odchyłek współosiowości i symetrii otworów, oraz odchyłek położenia i przecinania się osi. Do pomiarów należy użyć: suwmiarki, wysokościomierza suwmiarkowego, mikrometrów, czujnika z podstawą, kątownika krawędziowego, poziomnicy, płyty pomiarowej i wałków kontrolnych.

Przeprowadzić pomiar bicia osiowego i promieniowego wałka stopniowanego. Pomiary przeprowadzić na przyrządzie kłowym przy pomocy czujnika indukcyjnego ze wskaźnikiem cyfrowym.

Zadanie 1

Dokonać pomiaru równoległości dwóch płaszczyzn przy użyciu płyty pomiarowej i czujnika.

Zadanie 2

Wykonać pomiar równoległości osi dwóch otworów, używając trzpieni kontrolnych i mikrometrów.

Zadanie 3

Sprawdzić prostopadłość osi otworu i płaszczyzny za pomocą kątownika krawędziowego.

Zadanie 4

Sprawdzić prostopadłość dwóch płaszczyzn używając płyty pomiarowej i przyrządu czujnikowego.

Zadanie 5

Zmierzyć odchyłkę położenia osi dwóch otworów używając trzpieni kontrolnych i czujnika.

Zadanie 6

Zmierzyć odchyłkę bicia promieniowego wałka za pomocą czujnika indukcyjnego i przyrządu kłowego.

Zadanie 7

Zmierzyć odchyłkę bicia osiowego wałka stopniowego za pomocą czujnika indukcyjnego i przyrządu kłowego.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać wyniki pomiarów wraz ze schematami pomiarów i mierzonego przedmiotu. Na podstawie tablic VI, VII, VIII określić klasę dokładności położenia poszczególnych elementów przedmiotu.

17

Ćwiczenie laboratoryjne nr 17. Pomiary statystyczne

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z metodami pomiarów i sposobem obliczeń stosowanych w statystycznej kontroli jakości

2. Podstawy teoretyczne

Pomiary statystyczne, będące podstawą *statystycznej kontroli jakości*, pojawiły się jako metoda kontroli wyrobów w czasie produkcji. Zwłaszcza produkcja wielkoseryjna i masowa wymagała stosunkowo tanich, a jednocześnie skutecznych metod kontroli. Wraz z upływem czasu metody statystycznej kontroli jakości, z uwagi na swoje zalety, znalazły zastosowanie również w produkcji średnio- i małoseryjnej. Główna idea pomiarów statystycznych polega na ocenie jakości partii wyrobów (lub jakości procesu technologicznego) na podstawie wyników kontroli niewielkiej części wyrobów, pobieranej w sposób losowy i nazywanej *próbką*. Aby było to możliwe parametry statystyczne, wyznaczone na podstawie próbki, powinny odpowiadać, z określonym prawdopodobieństwem, parametrom charakteryzującym całą partię wyrobów. Wymaga to ustalenia odpowiedniego sposobu pobierania próbki, określenia jej liczności oraz sposobu postępowania przy ocenie jakości wyrobów. Podstawę takiej oceny stanowią zawsze wielokrotne

pomiary wykonane na kolejnych egzemplarzach wyrobu, stanowiących próbkę.

W wyniku pomiarów uzyskuje się wartości x_1, x_2, \dots, x_n , obarczone błędami. Do podstawowych zagadnień pomiarowych wymagających stosowania teorii błędów i zasad statystyki matematycznej zalicza się znajdowanie wartości rzeczywistej wielkości mierzonej z wyników pomiarów, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa występowania błędów. Jeżeli wyniki pomiarów x_1, x_2, \dots, x_n , nie są obarczone błędami systematycznymi, to *średnia arytmetyczna* z tych wyników \bar{x} jest najlepszym oszacowaniem szukanej wartości rzeczywistej wielkości mierzonej a :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \approx a. \quad (87)$$

Miarą rozrzutu wyników rozpatrywanej serii pomiarów wokół wartości a , nazywanej w rachunku prawdopodobieństwa *wartością oczekiwaną*, jest średnie odchylenie standardowe σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (88)$$

gdzie: Δ_i - rzeczywisty błąd dowolnego pomiaru x_i wynoszący $\Delta_i = x_i - a$.

Średnie odchylenie standardowe nie jest jednak znane, ponieważ nie mogą być znane rzeczywiste błędy pojedynczych wymiarów serii pomiarów, gdyż rzeczywista wartość wielkości mierzonej a pozostaje zawsze nieznana. Przyjęto więc średnie odchylenie standardowe zastępować (w sposób dostatecznie uzasadniony tylko dla dużych liczb pomiarów n w serii) *błędem średnim kwadratowym* s :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (89)$$

We wzorze tym składniki $(x_i - \bar{x})^2$ są kwadratami odchyłeń kolejnych wyników pomiaru do średniej arytmetycznej \bar{x} . Tak obliczony błąd średni kwadratowy s charakteryzuje niepewność poszczególnego pomiaru w rozpatrywanej serii pomiarów. Dla oceny dokładności przybliżonej wartości $a = \bar{x}$ należałoby znać średnie odchylenie standardowe $\sigma_{\bar{x}}$ średniej arytmetycznej \bar{x} , czyli średnie odchylenie standardowe zbioru wartości \bar{x} , które to wartości uzyskano by przez wielokrotne powtarzanie serii po n pomiarów jednakowo dokładnych. Można wykazać, że:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (90)$$

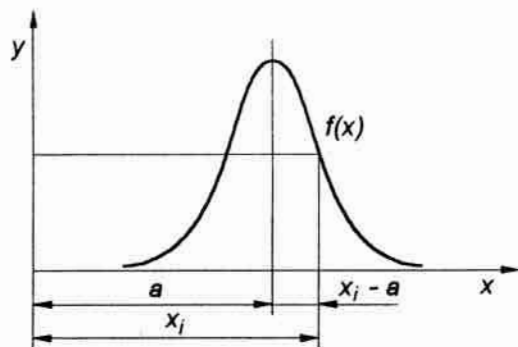
oraz

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (91)$$

gdzie: $\sigma_{\bar{x}}$ - średnie odchylenie standardowe średniej arytmetycznej,

$s_{\bar{x}}$ - błąd średni kwadratowy średniej arytmetycznej.

Przy dużej liczbie pomiarów rozkład wyników (nie obarczonych błędami systematycznymi i zakłóconych dużą liczbą czynników niezależnych o małym wpływie), podany w postaci graficznej, przyjmuje kształt krzywej Gaussa - krzywej rozkładu normalnego (rys. 150).



Rys. 150. Krzywa rozkładu normalnego;

a - rzeczywista wartość wielkości mierzonej, x_i - wynik i -tego pomiaru

Krzywa Gaussa jest określona równaniem

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-a)^2}{\sigma^2}}. \quad (92)$$

Podobnie przedstawia się problem w zakresie produkcji. Jeżeli chcemy wytworzyć pewną liczbę wyrobów o jednakowych właściwościach (np. o jednakowej długości), to każdy kolejny egzemplarz wyrobu będzie miał własności nieznacznie różniące się od założonych. W takim przypadku, gdy będzie to wynikało z wielu losowych i niezależnych od siebie przyczyn, rozkład właściwości wyrobów w partii będzie miał charakter normalny.

W statystycznej kontroli jakości możemy posługiwać się zarówno mierzeniem, jak i sprawdzaniem. Jeżeli przedmioty są mierzone, to dla próbki o liczności n wyznaczone są na ogół:

- średnia arytmetyczna próbki \bar{x} ;
- mediana próbki (środkowa wartość próbki w szeregu uporządkowanym wg wartości) M ;
- błąd średni kwadratowy s ;
- rozstęp próbki R (różnica wymiarów między największym a najmniejszym przedmiotem w próbce); $R = x_{max} - x_{min}$;
- skrajne wartości próbki x_{max} i x_{min} .

Ponieważ próbka ma zorientować zarówno co do rozciągłości, jak i położenia obszaru zmienności wyników, muszą ją charakteryzować dwie wielkości: jedna określająca położenie obszaru zmienności, np. \bar{x} lub M , a druga określająca rozproszenie wyników, czyli s lub R . Skrajne wartości próbki x_{max} i x_{min} , najprostsze w kontroli i orientujące o położeniu obszaru zmienności oraz o rozproszeniu wyników, nie dają pełnych informacji zawartych w całej próbce. Podobnie jest i w przypadku mediany M . Jest ona łatwa do określenia, ale zawiera mniej informacji niż średnia arytmetyczna. W statystycznej kontroli jakości najchętniej stosuje się wskaźniki \bar{x} i R lub \bar{x} i s , których obliczenie jest łatwe. Wskaźniki te obliczane dla kolejnych próbek, stanowią nowy zbiór.

Jeżeli wyniki pomiarów podlegają prawom rozkładu normalnego, to ustalenie korelacji pomiędzy wskaźnikami dla próbki i odpowiadającymi im wartościami dla całego zbioru jest stosunkowo łatwe. Dla rozkładu normalnego najbardziej charakterystyczną miarą rozproszenia jest odchylenie standardowe σ . Przyjmuje się, że w granicach $\pm 3\sigma$ znajduje się 99,73% wymiarów wszystkich wykonanych przedmiotów. Oszacowanie dokładności wykonania przedmiotów na podstawie tylko jednej próbki nie jest dokładne. Dokładniejsze wyniki otrzymuje się na podstawie wartości średnich z kilku lub więcej próbek. Odchylenie standardowe można określić po obliczeniu dla kilku kolejnych próbek średnich wartości wskaźników \bar{s} i \bar{R} . Następnie oblicza się

$$\sigma_s = \frac{\bar{s}}{c_n \sqrt{2n}}, \quad \text{lub} \quad \sigma_R = \frac{\bar{R}}{d_n} k_n, \quad (93)$$

a potem dopiero wartość σ ze wzorów:

$$\sigma = \sqrt{2n} \sigma_s, \quad \text{albo} \quad \sigma = \frac{\sigma_R}{k_n}, \quad (94)$$

gdzie: σ_s - średnie odchylenie standardowe średniego błędu kwadratowego,
 \bar{s} - średnia arytmetyczna średnich błędów kwadratowych,
 c_n - współczynnik,
 n - liczność próbki,
 σ_R - średnie odchylenie standardowe rozstępu,
 \bar{R} - średnia arytmetyczna z rozstępów w kilku próbkach,
 d_n - współczynnik,
 k_n - współczynnik.

Współczynniki c_n , d_n , k_n są podane w tabl. 5, 7, 9 rozdz. XVI w lit. [1]. W celu kontrolowania przebiegu procesu technologicznego można posłużyć się wskaźnikami \bar{x} , s lub R , obliczonymi dla każdej próbki przedmiotów pobranej co pewien czas z określonego stanowiska pracy. Jeżeli wyniki operacji technologicznej mają charakter ustabilizowany, wskaźniki próbek nie powinny przekraczać granic $\pm 3\sigma$ rozproszenia charakteryzującego te wskaźniki. W przypadku kontroli

wyników operacji technologicznej za pomocą wskaźników \bar{x} i R graniczne ich wartości wynoszą

- dolna granica:

$$\bar{x}_d = \bar{x} - 3\sigma_{\bar{x}}, \quad (95)$$

$$R_d = \bar{R} - 3\sigma_R,$$

lub $R_d = 0$ jeżeli $\bar{R} - 3\sigma_R < 0$;

- górna granica:

$$\bar{x}_g = \bar{x} + 3\sigma_{\bar{x}}, \quad (96)$$

$$R_g = \bar{R} + 3\sigma_R,$$

gdzie: \bar{x}_d - wartość określająca położenie dolnej linii kontrolnej średniej arytmetycznej,

R_d - wartość określająca położenie dolnej linii kontrolnej rozstępu,

\bar{x}_g - wartość określająca położenie górnej linii kontrolnej średniej arytmetycznej,

R_g - wartość określająca położenie górnej linii kontrolnej rozstępu.

Zamiast więc sprawdzać czy poszczególne wyniki operacji mieszczą się w granicach $\pm 3\sigma$ można sprawdzić, czy wskaźniki próbki \bar{x} i R mieszczą się w odpowiednich dla nich granicach, tj. $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$ oraz $\pm 3\sigma_R$. Na tym polega jedna ze statystycznych metod kontroli jakości. Warunkiem tego, by mogła ona być stosowana w praktyce, jest stabilność procesu technologicznego. Operacja jest ustabilizowana, jeżeli wynik jej podlega prawom określonego rozkładu (np. normalnego) i rozkład ten nie zmienia się w czasie. Dopóki operacja się nie rozreguluje, wskaźniki charakteryzujące pobierane próbki powinny znajdować się w określonych granicach. Przekroczenie tych granic świadczy o rozregulowaniu procesu i jest sygnałem do interwencji. Systematyczna kontrola jakości może nie tylko określać braki powstałe w produkcji, ale im zapobiegać. Głównym celem tej kontroli jest nie tylko zmniejszenie czasu operacji kontroli, lecz zapobieganie powstawaniu braków.

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Należy sprawdzić charakter rozkładu wykonania średnicy 40 sztuk wałeczków na pracującej na zderzak tokarce. Sposób wykonania. Z pierwszych partii przedmiotów toczonych na tokarce kopiańce pobrać próbkę w ilości 40 sztuk wałeczków. Badaną cechą jest średnica tych wałeczków. Pomiaru średnicy należy dokonać przy użyciu mikrometru. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1 karty pomiarów. Wyniki pomiarów należy podzielić na odpowiednie przedziały wymiarowe średnic i w kolejności od przedziału o najmniejszej wartości wpisać do kolumny 2 tabeli 2 karty pomiarów. Dalej należy sporządzić empiryczny wykres rozkładu średnic. W tym celu należy:

- środkową wartość zmiennej losowej x_{i0} w danym przedziale należy wpisać do kolumny 3, a w kolumnie 4 podać licznosc występowania danego wymiaru (liczba wałeczków o średnicy mieszczącej się w tym przedziale), w ten sposób utworzony został tzw. *szereg rozdzielczy*;
- środkową wartość ciągu średnic x_0 obliczyć dla całej partii ze wzoru:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^k x_{i0} n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (97)$$

gdzie k - liczba przedziałów wymiarowych średnic;

- obliczyć odchylenia $\Delta_i = x_{i0} - x_0$ od wartości średniej i wpisać do kolumny 5;
- obliczyć iloczyny $n_i(x_{i0} - x_0)$ i wpisać do kolumny 6;
- obliczyć kwadraty odchyleń $(x_{i0} - x_0)^2$ i wpisać do kolumny 7;
- obliczyć iloczyny $n_i(x_{i0} - x_0)^2$ i wpisać do kolumny 8;
- obliczyć sumy w poszczególnych kolumnach;

- obliczyć częstotliwości $h_i = \frac{n_i}{n}$ i zanotować wyniki w kolumnach 9 i 10;
- przyjąć, że średnia arytmetyczna wyników pomiarów jest równa średniej arytmetycznej szeregu rozdzielczego, $\bar{x} \cong x_0$;
- obliczyć poprawkę Shepparda

$$b = \frac{h^2}{12}, \quad (98)$$

gdzie h oznacza szerokość przedziału wymiarowego średnic wałków;

- średni błąd kwadratowy szeregu rozdzielczego obliczyć ze wzoru

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_{i0} - x_0)^2}{\sum_{i=1}^k n_i} - b}; \quad (99)$$

- korzystając z wartości zawartych w kolumnach 3 i 10 wykonać wykres zwany histogramem:

$$h_i = f(x_{i0}). \quad (100)$$

Zadanie 2

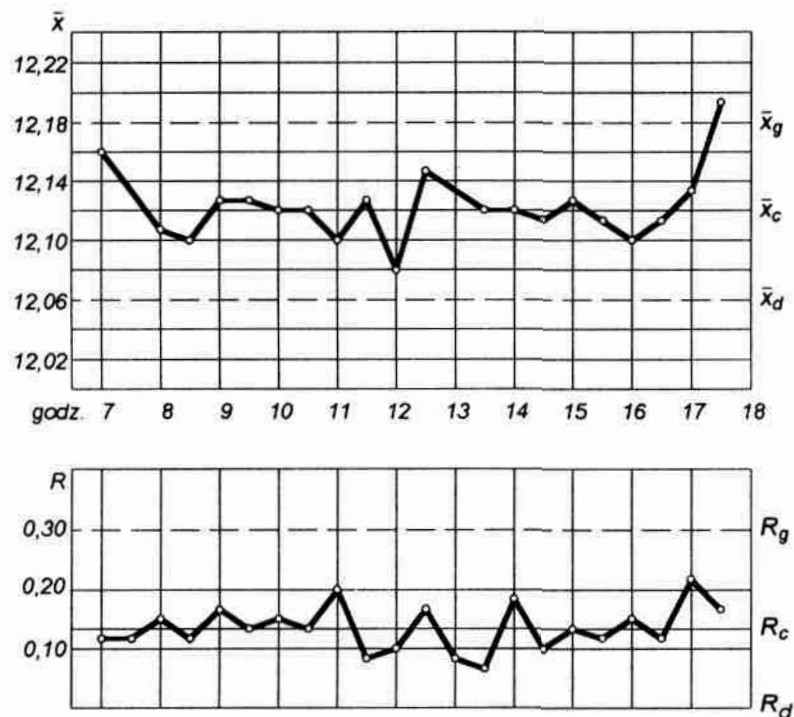
Przeprowadzić kontrolę produkcji sposobem stabilizacyjnym, korzystając z metody wykresów punktowych $\bar{x} - R$. Sposób wykonania. Wskaźnikami statystycznymi są w danym przypadku: średnia arytmetyczna \bar{x} oraz rozstęp R . Wykresy punktowe dla \bar{x} , R sporządza się w prostokątnym układzie osi współrzędnych, z których oś odciętych jest osią czasu pobierania próbek, a oś rzędnych jest osią średniej arytmetycznej wartości kontrolowanej. W naszym przypadku co kilkadziesiąt minut z linii produkcyjnej pobieramy próbkę $n = 10$ sztuk detali, mierzymy średnicę każdego z nich i wpisujemy do tabeli 3. W sumie pobieramy k próbek.

Średnią arytmetyczną każdej próbki obliczamy ze wzoru

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i . \quad (101)$$

Równocześnie mierzymy rozstęp w każdej próbce:

$$R = x_{max} - x_{min} , \quad (102)$$



Rys. 151. Typowe wykresy kontroli wskaźników \bar{x} i R

i wpisujemy do tabeli 3. Na siatkę układu współrzędnych (dla wykresów \bar{x} i R) nanosi się równoległe do osi odciętych linie centralne \bar{x}_c i R_c oraz cztery linie ograniczające \bar{x}_g , \bar{x}_d , R_g i R_d . Linia centralna \bar{x}_c jest średnią arytmetyczną całej produkcji. Jeżeli zmieni ona swoje położenie, będzie

to oznaczało, że proces produkcyjny wymaga korekty. Wartość \bar{x}_c i R_c oblicza się ze wzorów:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_c = \bar{\bar{x}} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i, \\ R_c = \bar{R} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i, \end{aligned} \right\} \quad (103)$$

gdzie: \bar{x}_c - wartość określająca położenie linii centralnej średniej arytmetycznej,

$\bar{\bar{x}}$ - średnia arytmetyczna średnich arytmetycznych w k próbkach,

R_c - wartość określająca położenie linii centralnej rozstępu,

\bar{R} - średnia arytmetyczna z rozstępu w k próbkach.

Zakładając granice $\pm 3\sigma$ można obliczyć *graniczne wartości wskaźnika \bar{x}* :

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_d &= \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}}, \\ \bar{x}_g &= \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}, \end{aligned} \right\} \quad (104)$$

przy czym

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad \sigma = \frac{\bar{R}}{d_n}, \quad (105)$$

oraz graniczne wartości wskaźnika R :

$$\left. \begin{aligned} R_d &= \bar{R} - 3\sigma_R, \quad \text{lub} \\ R_d &= 0 \quad \text{gdy} \quad \bar{R} - 3\sigma_R < 0, \\ R_g &= \bar{R} + 3\sigma_R, \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

przy czym

$$\sigma_R = k_n \sigma, \quad \sigma = \frac{\bar{R}}{d_n}. \quad (107)$$

Przykład wykresów \bar{x} i R podano na rys. 151.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać: krótki opis metody kontroli statystycznej przedstawionej w ćwiczeniu, tabele pomiarów wraz z obliczeniami i wykresami na papierze milimetrowym, wnioski i uwagi dotyczące przeprowadzonych prób.

18

Ćwiczenie laboratoryjne nr 18. Sprawdzanie przyrządów pomiarowych

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów ze sposobami kontroli podstawowych przyrządów pomiarowych: suwmiarki, mikrometru i czujnika zegarowego

2. Podstawy teoretyczne

Sprawdzanie przyrządów pomiarowych zapewnia użytkownikowi niezawodność i dokładność ich wskazań. Sprawdzenie, zatwierdzenie typu, ekspertyza i legalizacja przyrządów pomiarowych powinny być przeprowadzone przez upoważniony organ służby metrologicznej. Warunki przeprowadzenia czynności związanych ze sprawdzeniem przyrządów pomiarowych są zawarte w instrukcji ogólnej o sprawdzeniu przyrządów pomiarowych oraz w instrukcjach szczegółowych. W ćwiczeniu tym omówiono niektóre czynności związane ze sprawdzeniem suwmiarki, mikrometru i czujnika zegarowego. Studenci powinni wcześniej zapoznać się z następującymi instrukcjami:

- instrukcją o sprawdzaniu suwmiarek o zakresie pomiarowym do 1000 mm z noniuszami 0,02 mm; 0,05 mm; 0,1 mm;

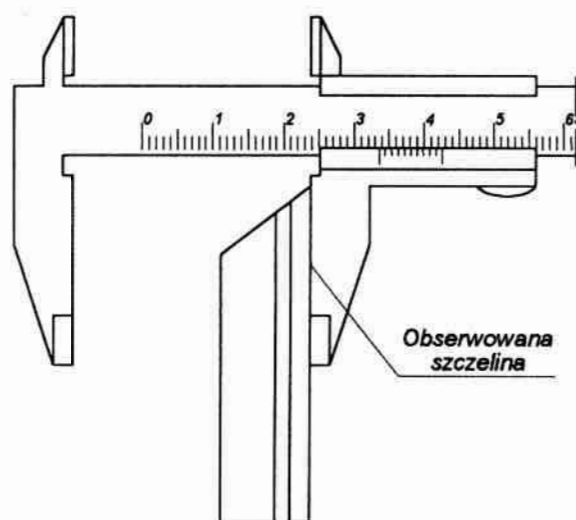
- instrukcją o sprawdzaniu mikrometrów zewnętrznych;
- instrukcją o sprawdzaniu czujników zegarowych z działką elementarną 0,01 mm.

Przy sprawdzaniu przyrządów pomiarowych należy zwrócić uwagę na wymagania dotyczące wykonania, stanu, niedokładności wskazań, oznaczeń i ewidencji, które są przedstawione w odpowiednich dokumentach. Tego rodzaju wymagania dla suwmiarek i mikrometrów są podane odpowiednio w PN-80/M-53130 i PN-82/M-53200. Wyniki sprawdzania przyrządów pomiarowych są notowane w kartach ewidencyjnych przyrządów i porównywane z wymaganiami stawianymi przez PN.

2.1. Sprawdzenie suwmiarki

Sprawdzenie suwmiarki jest związane z wykonaniem wielu czynności przewidzianych w ww. instrukcji. Dla przykładu będą omówione sposoby sprawdzania płaskości i prostoliniowości powierzchni i krawędzi pomiarowych suwmiarki.

Sprawdzania płaskości płaskich powierzchni pomiarowych szczęk suwmiarki dokonuje się za pomocą liniału krawędziowego, obserwując szczelinę w świetle przechodzącym. Ilustruje to rys. 152.



Rys. 152. Sprawdzenie płaskości powierzchni pomiarowych szczęk suwmiarki

Szerokość szczeliny świetlnej może być wyznaczona przez porównanie ze szczelinami wzorcowymi. Sprawdzanie płaskości powierzchni pomiarowych należy dokonać przynajmniej przy trzech położeniach liniału krawędziowego.

Sprawdzania prostoliniowości krawędzi pomiarowych i pomiarowych powierzchni walcowych szczęk dokonuje się za pomocą płytki wzorcowej lub wkładki płasko-równoległej. Błędy prostoliniowości wyznacza się oceniając szerokość szczeliny świetlnej, podobnie jak przy sprawdzaniu płaskości.

2.2. Sprawdzanie mikrometru zewnętrznego

Do czynności sprawdzania mikrometrów zewnętrznych, przewidzianych instrukcją wymienioną w p. 2, należy między innymi sprawdzenie równoległości i płaskości powierzchni pomiarowych. Czynności tych dokonuje się korzystając z płytek interferencyjnych. W celu sprawdzenia płaskości należy przyłożyć płytkę interferencyjną do powierzchni sprawdzanej. Przez utworzenie niewielkiego kąta pomiędzy powierzchnią płytki interferencyjnej a powierzchnią sprawdzaną uzyskujemy obraz prążków interferencyjnych. Przy płaskiej powierzchni sprawdzanej prążki będą miały kształt linii prostych równoległych względem siebie. Przy powierzchni niepłaskiej odchylenie od płaskości będzie określone odchyleniem prążków od prostoliniowości lub liczbą prążków tworzących linie zamknięte. Za jednostkę odchylenia prążków od prostoliniowości przyjmuje się przy tym odstęp między sąsiednimi prążkami.

Błąd płaskości wyraża się wzorem

$$p = \frac{\lambda}{2} m , \quad (108)$$

gdzie: p - błąd płaskości powierzchni pomiarowej, μm ,

λ - długość fali światła, μm ,

m - liczba zamykających się prążków interferencyjnych lub wygięcie prążka wyrażone w częściach odległości między prążkami.

W celu sprawdzenia równoległości powierzchni pomiarowych mikrometru należy posłużyć się *kompletem płasko-równoległych płytek interferencyjnych*, składającym się z czterech płytek o wymiarach: 12,00; 12,12; 12,25 i 12,37 mm. Przy sprawdzaniu równoległości powierzchni pomiarowych mikrometru o zakresie pomiarowym od 0 ÷ 25 mm należy zacisnąć płytkę interferencyjną o wymiarach 12,00 mm między kowadełkiem a wrzecionem mikrometru. Następnie lekko zwalniając wrzeciono i delikatnie pochylając płytkę interferencyjną trzeba uzyskać najmniejszą liczbę prążków interferencyjnych na jednej z powierzchni pomiarowych. Jednocześnie należy zobaczyć, ile prążków jest widocznych na drugiej powierzchni pomiarowej. Sumaryczna liczba prążków na obu powierzchniach pomiarowych określa w tym przypadku odchylenie powierzchni pomiarowych od równoległości, zgodnie ze wzorem:

$$r = (m_1 + m_2) \frac{\lambda}{2}, \quad (109)$$

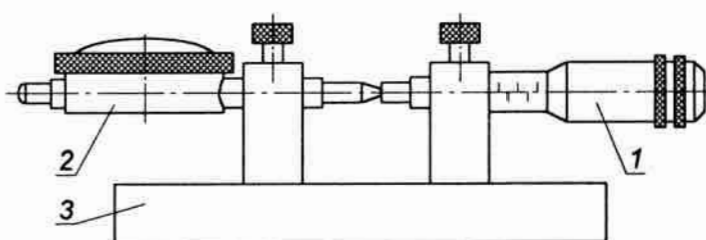
gdzie: r - błąd równoległości powierzchni pomiarowych, μm ,
 m_1 - minimalna liczba prążków interferencyjnych na jednej z powierzchni pomiarowych mikrometru,
 m_2 - liczba prążków interferencyjnych na drugiej powierzchni pomiarowej mikrometru,
 λ - długość fali światła, μm .

Przy sprawdzaniu mikrometrów o większych zakresach pomiarowych oprócz płytek interferencyjnych używa się dodatkowo *płytki wzorcowej* o odpowiednim wymiarze. Do powierzchni pomiarowych płytki wzorcowej przywiera się dwie płytki interferencyjne i sprawdzanie równoległości powierzchni pomiarowych przeprowadza się podobnie, jak w przypadku mikrometru o zakresie pomiarowym 0 ÷ 25 mm.

Sprawdzenia równoległości powierzchni pomiarowych mikrometru należy dokonać przy różnych kątowych położeniach wrzeciona. Dlatego sprawdzania dokonuje się używając kolejno wszystkich płytek interferencyjnych, które znajdują się w komplecie. Różnice w wymiarach płytek interferencyjnych powodują, iż sprawdzanie odbywa się zawsze przy innym położeniu kątowym wrzeciona.

2.3. Sprawdzanie czujnika zegarowego

Sprawdzając czujnik zegarowy należy między innymi dokonać sprawdzenia zmienności wskazań czujnika. W tym celu trzeba zamocować w uchwycie 3 sprawdzany czujnik 2 i głowicę mikrometryczną 1 tak, jak to przedstawiono na rys. 153. Następnie należy nastawić głowicę mikrometryczną na obrany punkt zakresu pomiarowego czujnika i odczytać wskazania czujnika. Kolejną czynnością stanowi powolne odciążenie trzpienia pomiarowego i ponowne doprowadzenie do jego zetknięcia z wrzecionem głowicy mikrometrycznej. Czynność tę powtarzamy przynajmniej pięciokrotnie, przy czym za każdym razem należy odczytać wskazanie czujnika po zetknięciu się trzpienia pomiarowego z powierzchnią wrzeciona głowicy mikrometrycznej. Różnica między największym a najmniejszym ze wskazań przyjmowana jest jako zmienność wskazań w danym punkcie zakresu pomiarowego czujnika. Zmienność wskazań należy określić w kilku punktach zakresu pomiarowego czujnika.



Rys. 153. Sprawdzanie zmienności wskazań czujnika zegarowego za pomocą głowicy mikrometrycznej;

1 - głowica mikrometryczna, 2 - sprawdzany czujnik zegarowy, 3 - uchwyt do sprawdzania czujników

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Sprawdzić: stan ogólny suwmiarki, płaskość i prostoliniowość powierzchni i krawędzi pomiarowych, przyleganie płaskich powierzchni

pomiarowych szczęk, równoległość powierzchni i krawędzi pomiarowych oraz niedokładność wskazań. Czynności sprawdzające należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami. Wyniki należy zanotować w karcie pomiarów.

Zadanie 2

Wykonać następujące czynności przy sprawdzaniu mikrometru:

- sprawdzić stan ogólny i poprawność oznaczeń,
- sprawdzić nacisk pomiarowy wywołany sprzęgłem,
- sprawdzić płaskość powierzchni pomiarowych,
- sprawdzić równoległość powierzchni pomiarowych,
- sprawdzić niedokładność wskazań mikrometru.

Czynności te należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami. Wyniki kontroli należy zanotować w karcie pomiarów. Obrazy prążków interferencyjnych, występujących przy sprawdzaniu płaskości i równoległości, należy narysować w odpowiednich polach karty pomiarów.

Zadanie 3

Wykonać następujące czynności przy sprawdzaniu czujnika zegarowego z działką elementarną 0,01 mm:

- sprawdzić stan ogólny i poprawność oznaczeń,
- sprawdzić zmienność wskazań czujnika w pięciu punktach zakresu pomiarowego (1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm),
- sprawdzić niedokładność wskazań.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić kartę pomiarów, niezbędne szkice, rysunki i obliczenia. Sprawozdanie powinno zawierać wnioski dotyczące klasy dokładności sprawdzanego przyrządu pomiarowego.

19

Ćwiczenie laboratoryjne nr 19. Pomiary długości za pomocą wysokościomierza elektronicznego

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z techniką pomiarów długości za pomocą wysokościomierza elektronicznego oraz ze sposobem dokonywania, z jego pomocą, analizy statystycznej wyników pomiarów

2. Podstawy teoretyczne

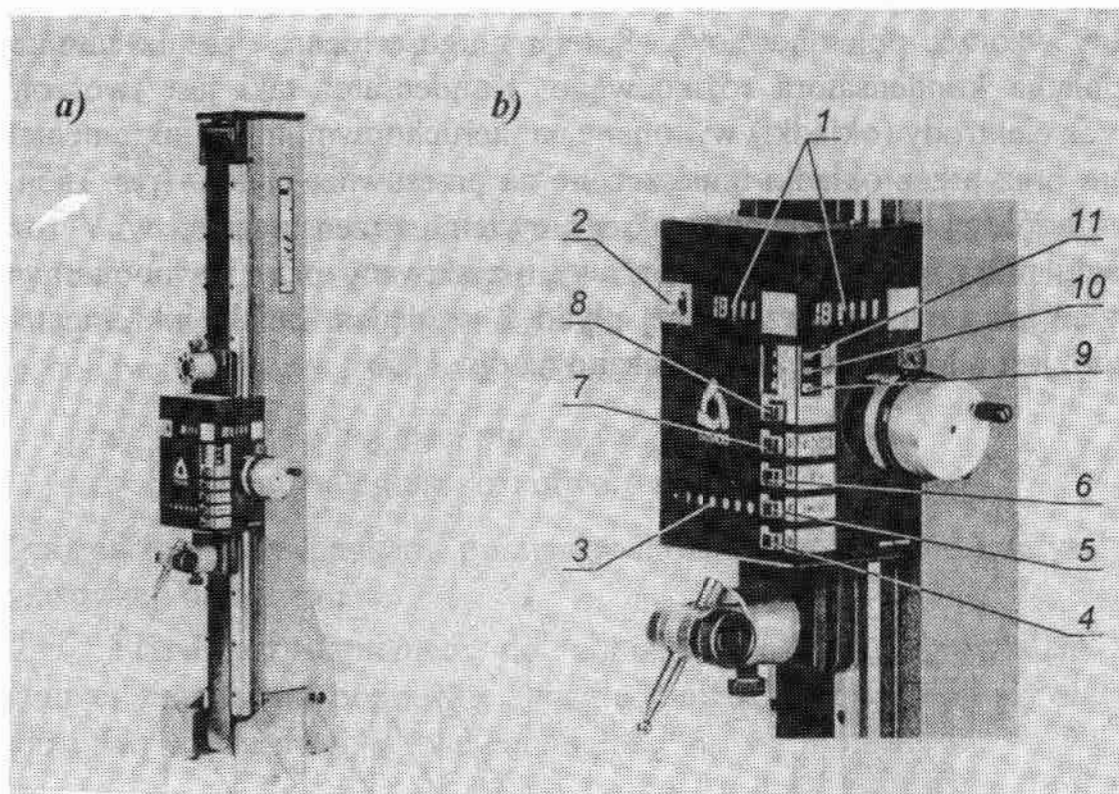
Wysokościomierze elektroniczne to zautomatyzowane, uniwersalne przyrządy pomiarowe, przeznaczone do pomiarów długości wzdłuż osi pionowej. Ustawiane są na ogół na płycie pomiarowej, na której umieszczany jest także przedmiot mierzony. Są one stosowane przede wszystkim do pomiarów części o skomplikowanej geometrii, takich np. jak elementy korpusów, skrzynek przekładniowych itp. Z ich pomocą mierzy się odległości otworów, płaszczyzn i innych elementów geometrycznych przedmiotu od podstawy lub innej dowolnej płaszczyzny przyjętej za bazę.

W wysokościomierzach elektronicznych przemieszczenia końcówki pomiarowej są przetwarzane, za pomocą odpowiedniego przetwornika, na sygnał pomiarowy, który następnie jest wyświetlany na elektronicznym urządzeniu wskazującym. Najczęściej jako przetworniki

pomiarowe są stosowane układy fotoelektryczne, indukcyjne oraz pojemnościowe, wykorzystujące wzorce inkrementalne. W niniejszym ćwiczeniu zostanie przedstawiony wysokościomierz elektroniczny TRIMOS VERTICAL AUTOMATIC typu TVD 800 A szwajcarskiej firmy TRIMOS.

2.1. Wysokościomierz TRIMOS VERTICAL AUTOMATIC

Wysokościomierz TVD 800A jest uniwersalnym przyrządem pomiarowym pozwalającym na pomiary długości oraz niektórych odchyłek kształtu i położenia. Na rys. 154 pokazano ogólny wygląd



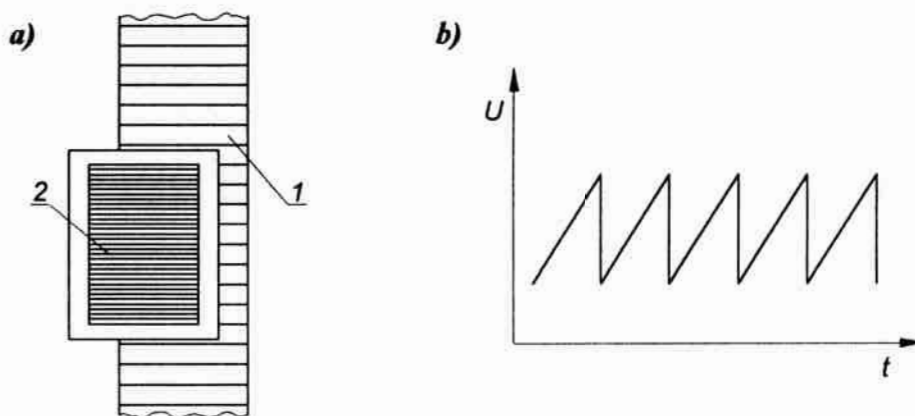
Rys. 154. Wysokościomierz elektroniczny typu TVD 800 A:

a) widok, b) elementy obsługi;

1 - wskaźnik, 2 - przełącznik zdolności rozdzielczej, 3 - preselektor, 4 - przycisk zerowania, 5 - przycisk wprowadzania informacji z preselektora, 6 - przycisk zmiany układu odniesienia, 7 - przycisk do wprowadzania poprawki końcówki pomiarowej, 8 - przycisk wyboru rodzaju pomiaru, 9 - wskaźnik sygnalizujący pomiar odległości między powierzchniami płaskimi — , 10 - wskaźnik sygnalizujący pomiar położenia środka okręgu \oplus , 11 - wskaźnik sygnalizujący pomiar średnicy okręgu —

wysokościomierza. Przyrząd ustawiany jest na płycie pomiarowej. Przemieszczanie przyrządu po powierzchni płyty podczas pomiarów ułatwia poduszka powietrzna, która tworzy się między płaszczyzną oporową przyrządu a powierzchnią płyty pomiarowej. W tym celu wysokościomierz powinien być zasilany sprężonym powietrzem o ciśnieniu roboczym 1500 hPa. Zasilanie energią elektryczną odbywa się z sieci 220 V / 50 Hz. Całkowity zakres pomiarowy wysokościomierza wynosi 805 mm przy rozdzielczości 0,01 mm lub 0,001 mm. Przyrząd wyposażony jest w mikroprocesor, umożliwiający realizację wielu funkcji potrzebnych przy wykonywaniu pomiarów. Nacisk pomiarowy przyrządu wynosi około 3 N, zaś jego kierunek jest ustalany przez operatora.

W wysokościomierzu elektronicznym zastosowany jest inkrementalny wzorzec pojemnościowy. Pomiar długości oparty jest na zasadzie działania kondensatora różnicowego. Kondensator taki jest tworzony przez elektrody (okładki) wykonane na nieruchomym liniale inkrementalnym oraz przez okładki umieszczone na przesuwnej płytce (rys. 155a). Szczegółowy opis działania takiego systemu przedstawiono w V rozdziale pracy [7]. Sygnał pomiarowy, uzyskiwany przy równomiernym przemieszczaniu się przesuwnej płytki 2 względem liniału inkrementalnego, jest piłokształtny, co pokazano na rys. 155b.



Rys. 155. Zasada działania pojemnościowego układu pomiarowego: a) wzajemne położenie liniału inkrementalnego i płytki przesuwnej, b) postać sygnału pomiarowego przy przesuwaniu płytki względem liniału;

1 - liniał inkrementalny, 2 - płytka przesuwna

Pomiar przemieszczenia płytki 2 polega na zliczeniu ilości skokowych zmian napięcia między jej położeniem początkowym i końcowym, oraz na wyznaczeniu wartości napięcia w obu tych położeniach. Ilość skokowych zmian napięcia mnożona jest przez podziałkę układu pomiarowego. Do uzyskanej wartości dodawane są części podziałki, odpowiadające początkowemu i końcowemu położeniu płytki 2, co daje wynik pomiaru wyświetlany na wskaźniku. Ponieważ zmiana napięcia wyjściowego z kondensatora różnicowego U jest liniowa w zakresie jednej podziałki, to napięcie wyjściowe w danym położeniu płytki 2 jest proporcjonalne do odpowiedniej części podziałki liniału inkrementalnego. W celu uzyskania większej rozdzielczości układu pomiarowego, liniowo zmienne napięcie podlega procesowi interpolacji.



2.2. Sposób pomiaru

Za pomocą wysokościomierza mogą być dokonywane pomiary wymiarów zewnętrznych, wewnętrznych, mieszanych i pośrednich, oraz odchyłki współosiowości, symetrii itp. Poniżej zostanie przedstawiony sposób postępowania tylko w dwóch przypadkach:

- przy pomiarze odległości płaszczyzn,
- przy pomiarze odległości osi otworów.

Z pozostałymi przypadkami pomiarów można zapoznać się korzystając z instrukcji urządzenia.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wprowadzić do pamięci urządzenia poprawkę, uwzględniającą wymiar i błędy użytej końcówki pomiarowej. W tym celu należy:

- wybrać rodzaj pomiaru  (pomiar płaszczyzn),
- na płycie pomiarowej ustawić wzorzec TV 4,
- zetknąć końcówkę pomiarową z płaską górną powierzchnią wzorca,
- ustawić nacisk pomiarowy w dół,
- zetknąć końcówkę pomiarową z płaską dolną powierzchnią wzorca,
- ustawić nacisk pomiarowy w górę,
- wcisnąć przycisk C ,
- zdjąć nacisk pomiarowy.

W rezultacie przeprowadzonego postępowania w przyrządzie została zapamiętana średnica końcówki pomiarowej. Wyłączenie urządzenia z sieci spowoduje, że wprowadzona wartość (poprawka) zostanie wyzerowana. Jeżeli chcemy temu zapobiec możemy:

- wcisnąć przycisk $C\Phi$ (wtedy wartość poprawki jest widoczna na wyświetlaczu),
- wyłączyć napięcie zasilające wysokościomierz.

Przy ponownym włączeniu napięcia zasilającego przyrząd, w jego pamięci zakodowana jest wprowadzona uprzednio wartość średnicy końcówki pomiarowej.

Pomiar odległości płaszczyzn (rys. 156a) przeprowadzamy następująco:

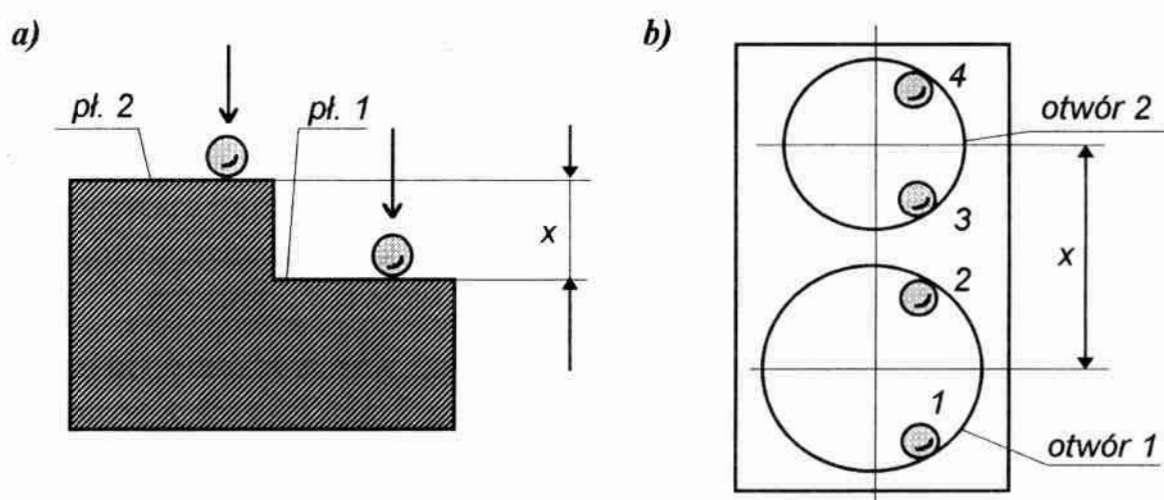
- wybieramy rodzaj pomiaru \star (pomiar płaszczyzn),
- stykamy końcówkę pomiarową z pierwszą płaszczyzną,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w kierunku płaszczyzny pierwszej,
- wciskamy przycisk zerowania,
- zdejmujemy nacisk pomiarowy,
- stykamy końcówkę pomiarową z drugą płaszczyzną,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w kierunku płaszczyzny drugiej,
- odczytujemy wskazanie ze wskaźnika.

Podczas pomiaru odległości osi dwóch otworów (rys. 156b) należy wykonać następujące czynności:

- wybieramy rodzaj pomiaru $\Phi\star$ (położenia środka i średnicy okręgu),
- stykamy końcówkę pomiarową w pobliżu najniższego punktu pierwszego otworu,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w dół,
- zdejmujemy nacisk pomiarowy,
- stykamy końcówkę pomiarową w pobliżu najwyższego punktu pierwszego otworu,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w górę,
- zdejmujemy nacisk pomiarowy,
- wskaźnik rodzaju pomiaru wskazuje Φ ,
- wskaźnik cyfrowy wskazuje położenie środka pierwszego otworu,

- wciskamy przycisk zerowania,
- stykamy końcówkę pomiarową w pobliżu najniższego punktu drugiego otworu,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w dół,
- zdejmujemy nacisk pomiarowy,
- stykamy końcówkę pomiarową w pobliżu najwyższego punktu drugiego otworu,
- ustawiamy nacisk pomiarowy w górę,
- zdejmujemy nacisk pomiarowy,
- wskaźnik rodzaju pomiaru wskazuje \oplus ,
- wskaźnik cyfrowy wskazuje odległość osi obu otworów.

Na rys. 156 pokazano schematycznie kolejne położenia końcówki pomiarowej przy pomiarze odległości płaszczyzn oraz przy pomiarze odległości osi otworów.



Rys. 156. Ustawienia końcówki pomiarowej wysokościomierza podczas pomiaru:
a) odległości płaszczyzn, b) odległości osi otworów

W podobny sposób, za pomocą wysokościomierza TRIMOS TVD 800A, można dokonywać wielu innych pomiarów. W szczególności przyrząd ten pozwala na zmierzenie, w ramach jednej procedury pomiarowej, średnicy i położenia osi walca lub otworu. Dzięki temu czas

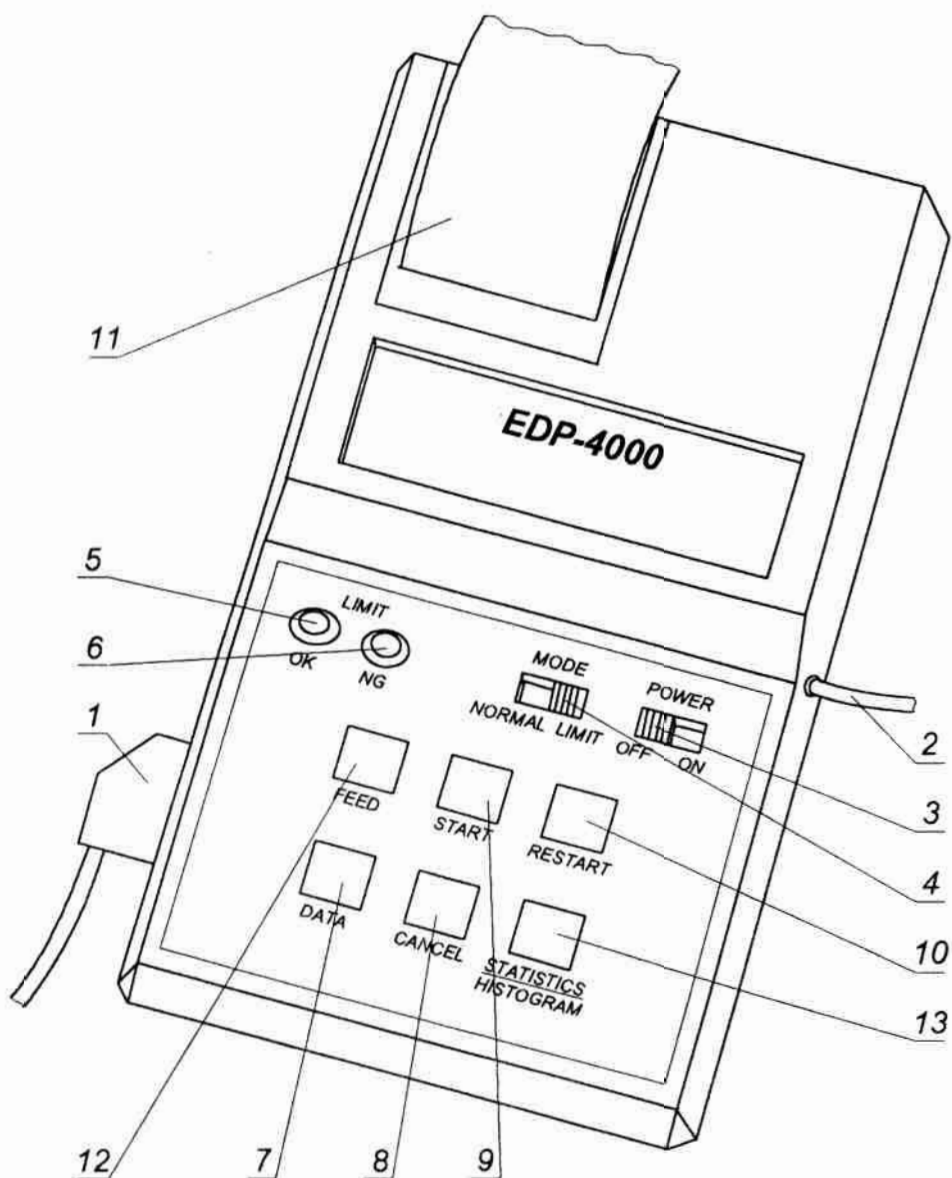
pomiaru jest znacznie krótszy. Szczegółowy opis postępowania przy pomiarze różnych wielkości zawarto w instrukcji przyrządu.

Wysokościomierz TRIMOS TVD 800A pozwala na podłączenie do niego drukarki typu EDP-4000 firmy SYLVAC. Za pomocą specjalnego interfejsu można także połączyć wysokościomierz z mikrokomputerem, wykorzystując w tym celu złącze szeregowo RS 232. Na rys. 157 pokazano wygląd drukarki EDP-4000. Drukarka ta pozwala zarejestrować na taśmie papierowej oraz w pamięci układu mikroprocesorowego wyniki kolejnych pomiarów. Na podstawie wyników zarejestrowanych w pamięci (do 1000 wyników pomiarów) drukarka może dokonywać obliczeń statystycznych.

Drukarka EDP-4000 może być zasilana z czterech baterii o napięciu 1,5 V lub za pomocą specjalnego zasilacza podłączanego do sieci 220 V / 50 Hz. Przewód zasilający 2 (rys. 157) podłączany jest do gniazda umieszczonego z prawej strony drukarki. Włączenia drukarki dokonujemy włącznikiem 3. Przełącznik 4 pozwala na pracę drukarki w dwóch trybach. W trybie NORMAL nie podajemy odchyłek granicznych. W trybie LIMIT, w celu określenia granic tolerancji, należy podać odchyłki graniczne. Wprowadzamy je przyciskiem 7 (DATA) lub specjalnym przyciskiem naciskanym nogą, po uprzednim nastawieniu ich wartości na wskaźniku cyfrowym wysokościomierza. Najpierw należy wprowadzić górną, a następnie dolną odchyłkę graniczną.

Wprowadzanie danych, podobnie jak wprowadzanie odchyłek granicznych, odbywa się za pomocą przycisku 7 (DATA) lub z wykorzystaniem specjalnego przycisku nożnego. Przycisk 8 (CANCEL) służy do kasowania pomyłkowo wprowadzonej wartości. Naciskając przycisk 9 (START), kasujemy zawartość pamięci wraz z podanymi odchyłkami granicznymi. Jeżeli chcemy wykasować z pamięci zarejestrowane wcześniej wyniki pomiarów, lecz pozostawić wprowadzone odchyłki graniczne, musimy nacisnąć przycisk 10 (RESTART).

Jeżeli dla serii zarejestrowanych wyników pomiarów chcemy dokonać obliczeń statystycznych należy nacisnąć przycisk 13 (STATISTICS). W wyniku tego, przy pracy w trybie NORMAL, zostaną obliczone i wydrukowane:



Rys. 157. Drukarka wysokościomierza elektronicznego;

1 - wtyczka z przewodem łączącym drukarkę z wysokościomierzem , 2 - przewód zasilający, 3 - włącznik zasilania, 4 - przełącznik wyboru trybu pracy, 5, 6 - lampki sygnalizujące przekroczenie lub nie granicy tolerancji , 7 - przycisk wprowadzania danych, 8 - przycisk kasowania wprowadzonej omyłkowo danej, 9 - przycisk kasowania zawartości pamięci, 10 - przycisk kasujący wprowadzone dane pozostawiając granice tolerancji, 11 - taśma z wydrukiem, 12 - przycisk przesuwu taśmy, 13 - przycisk wydruku obliczonej statystyki i histogramu

- liczność próbki N ,
- wartość maksymalna MAX ,
- wartość minimalna MIN ,
- rozstęp R ,
- wartość średnia arytmetyczna \bar{x} ,
- odchylenie standardowe σ ,
- estymator odchylenia standardowego s ,

Przy pracy w trybie LIMIT zostaną dodatkowo obliczone i wydrukowane:

- wartość średniej arytmetycznej pomniejszona o 3σ (-3σ),
- wartość średniej arytmetycznej powiększona o 3σ ($+3\sigma$),
- dolna odchyłka graniczna ($L. LT$),
- górna odchyłka graniczna ($U. LT$),
- liczba zarejestrowanych wyników mniejszych od dolnej odchyłki granicznej ($-NG$),
- liczba zarejestrowanych wyników większych od górnej odchyłki granicznej ($+NG$),
- procent braków P ,
- wskaźniki dokładności procesu C_P, C_{Pk}, C_m, C_{mk} .

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Zapoznaj się z instrukcją obsługi wysokościomierza TVD 800 A firmy TRIMOS. Określ funkcje poszczególnych przycisków przyrządu i opisz je na szkicu zamieszczonym w karcie pomiarów. Sprawdź działanie przycisków. Zwróć uwagę na potrzebę przełączania trybu pracy w zależności od kształtu mierzonego elementu. Ustal jaka jest funkcja preselektora. Zwróć uwagę na rodzaje końcówek pomiarowych, i miejsce ich montowania w wysokościomierzu. Określ podstawowe dane metrologiczne przyrządu i zapisz je w tabeli 1.

Zadanie 2

Dokonaj pięciu pomiarów wysokości h wskazanego przedmiotu. Pamiętaj o wywarciu w odpowiednim kierunku nacisku pomiarowego. Wyniki zapisz w tabeli 2.

Zadanie 3

Dokonaj pomiaru średnic trzech otworów oraz określ położenie ich osi względem podstawy A. Zmierz także odległości między osiami poszczególnych otworów. Pamiętaj o wyborze odpowiedniego trybu pracy w zależności od kształtu mierzonego elementu. Uwzględnij przy pomiarze średnic otworów średnicę kulki końcówki pomiarowej. Stosuj odpowiedni kierunek nacisku pomiarowego. Wyniki zanotuj w tabelach 3 i 4.

Zadanie 4

Zapoznaj się z instrukcją obsługi układu do statystycznej analizy wyników pomiarów. Ustal funkcje przycisków tego układu. Korzystając z przykładowego wydruku rezultatów analizy, zinterpretuj poszczególne oznaczenia i podaj ich nazwy w języku polskim. Dokonaj pomiaru od dwudziestu do trzydziestu wskazanych wymiarów i przeprowadź analizę statystyczną otrzymanych wyników. Sporządź wydruk wyników analizy i histogramu.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, należy zamieścić wyniki analizy statystycznej oraz wnioski i uwagi dotyczące pomiarów za pomocą wysokościomierza cyfrowego.

20

Ćwiczenie laboratoryjne nr 20. Pomiary współrzędnościowe

1. Cel ćwiczenia:

Zapoznanie studentów z ideą pomiarów współrzędnościowych oraz z techniką pomiarów długości za pomocą współrzędnościowych maszyn pomiarowych

2. Podstawy teoretyczne

Pomiary długości metodami klasycznymi dokonywane są na ogół wzdłuż jednej wybranej linii prostej, jak to ma miejsce np. w pomiarach za pomocą suwmiarek, mikrometrów, długościomierzy, często także mikroskopów pomiarowych itp. Przed przystąpieniem do pomiaru należy zdefiniować mierzony wymiar, określając skrajne punkty mierzonego odcinka. Najczęściej wymiary określone są przez konstruktora danego elementu i podawane są na sporządzanych przez niego rysunkach.

Jeżeli dokonywany jest pomiar długości wybranego odcinka linii prostej, to bardzo duże znaczenie, z punktu widzenia uzyskania odpowiedniej dokładności pomiaru, ma właściwe wzajemne ustawienie przedmiotu i przyrządu pomiarowego. Konieczność precyzyjnego pozycjonowania przedmiotu mierzonego powoduje wydłużenie czasu

pomiaru, zwłaszcza wtedy, gdy należy zmierzyć wiele elementów geometrycznych przedmiotu o skomplikowanym kształcie. Nieprawidłowe ustawienie przedmiotu może być przyczyną znacznych błędów pomiaru. Na rys. 158 pokazano przykład pomiaru długości wałka, przy nieprawidłowym ustawieniu przyrządu względem przedmiotu mierzonego. Powoduje to powstanie błędu ΔL o wartości

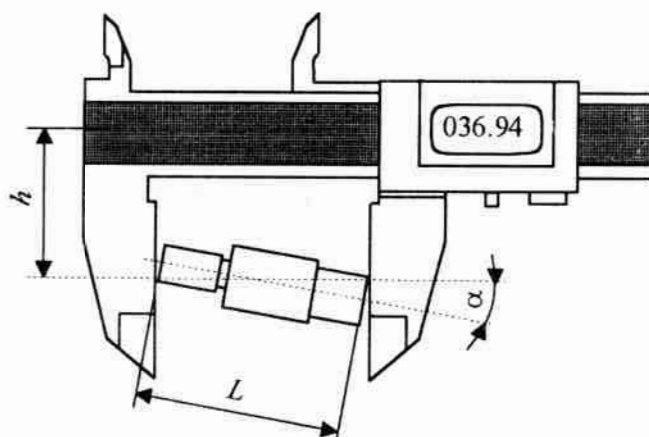
$$\Delta L = L(\cos \alpha - 1), \quad (110)$$

gdzie: L - długość mierzonego przedmiotu,
 α - kąt między linią pomiaru i osią mierzonego wałka.

Jeżeli ponadto linia pomiaru nie pokrywa się z osią wzorca przyrządu pomiarowego, to może powstać dodatkowy błąd pomiaru δL , wynikający z niespełnienia postulatu Abbego. Błąd ten opisuje równanie

$$\delta L = h \sin \gamma, \quad (111)$$

gdzie: h - odległość linii pomiaru od osi wzorca długości,
 γ - kąt między linią pomiaru i osią wzorca.



Rys. 158. Pomiar długości wałka, przy nieprawidłowym ustawieniu przyrządu względem przedmiotu mierzonego

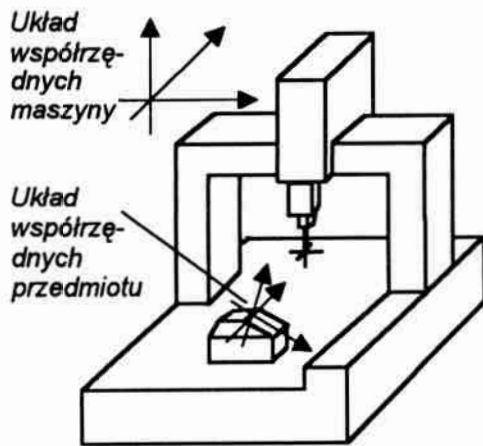
Pomiary współrzędnościowe wielkości geometrycznych dokonywane są na ogół w układzie trzech współrzędnych $Oxyz$. Przyrządami pomiarowymi służącymi do realizacji takich pomiarów są przede wszystkim *współrzędnościowe maszyny pomiarowe*. Przyrządy te

umożliwiają mierzenie wymiarów przedmiotów o bardzo złożonych kształtach, zapewniając wysoką dokładność i stosunkowo krótki czas pomiarów, a także coraz częściej pozwalają na zintegrowanie systemu pomiarowego z całym systemem wytwarzania.

Pierwsze współrzędnościowe systemy pomiarowe pojawiły się na początku lat sześćdziesiątych XX w., znajdując zastosowanie przede wszystkim w przemyśle zbrojeniowym, lotniczym, kosmicznym i motoryzacyjnym. Idea zastosowania tych systemów pomiarowych była analogiczna jak idea wprowadzenia obrabiarek sterowanych numerycznie, z tą różnicą, że narzędzie, o sterowanej trajektorii ruchu, dokonywało pomiarów przedmiotu, a nie jego obróbki. Pionierem we wprowadzaniu do praktyki pomiarowej tych systemów był włoski koncern DEA (*Digital Electric Automation*), posiadający swą siedzibę w Turynie. Firma powstała z inicjatywy Luigi Lazzaroniego, który postanowił wykorzystać doświadczenia inżynierów Wydziału Kontroli Technicznej Karoserii firmy FIAT. Pierwszy prototyp maszyny pomiarowej firmy DEA pokazano na Europejskiej Wystawie Obrabiarek w Mediolanie 1963 r. Z czasem pojawiło się wielu innych producentów systemów przeznaczonych do pomiarów współrzędnościowych. Szczegółowy opis współrzędnościowych maszyn pomiarowych przedstawiono w pracy prof. E. Ratajczyka, umieszczonej w spisie literatury pod pozycją [5].

2.1. Idea pomiarów współrzędnościowych

Istotą pomiarów współrzędnościowych, realizowanych za pomocą maszyn pomiarowych, jest to, że proces pomiaru polega na wyznaczeniu wartości współrzędnych poszczególnych punktów powierzchni przedmiotu mierzonego w wybranym układzie współrzędnych. Tym układem jest na ogół układ współrzędnych maszyny pokazany na rys. 159. Wyznaczone wartości współrzędnych poszczególnych punktów podlegają następnie procedurom aproksymacji. Aproksymacja dokonywana jest dla konkretnych figur geometrycznych, które można wyróżnić w przedmiocie mierzonym. W wyniku aproksymacji wyznaczane są wymiary i położenie danej figury geometrycznej w wybranym układzie współrzędnych. Na ogół dąży się



Rys. 159. Układy współrzędnych maszyny pomiarowej i przedmiotu mierzonego

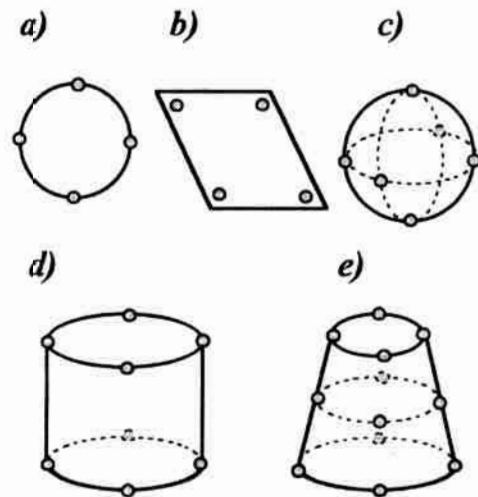
do uzyskania wyników procedur aproksymacyjnych w układzie współrzędnych związanych z przedmiotem mierzonym. Jeżeli pomiarów punktów przedmiotu dokonano w układzie współrzędnych związanych z maszyną pomiarową, to przed rozpoczęciem procedury aproksymacyjnej dokonuje się obliczenia współrzędnych tych punktów w układzie współrzędnych przedmiotu, zgodnie z równaniem

$$\vec{X}_p = D\vec{X}_m + \vec{T}, \quad (112)$$

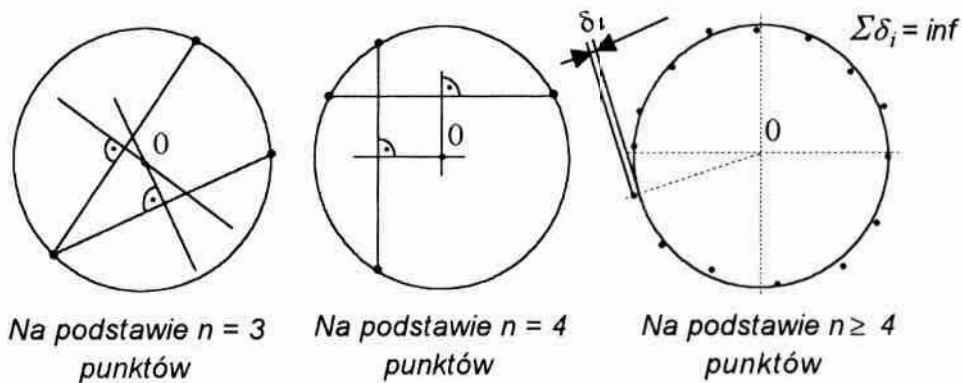
gdzie: \vec{X}_p - współrzędne punktu w układzie przedmiotu,
 D - macierz rotacji,
 \vec{X}_m - współrzędne punktu w układzie maszyny,
 \vec{T} - wektor translacji,

Podstawowe elementy geometryczne stosowane w pomiarach współrzędnościowych przedstawiono na rys. 160, podając jednocześnie teoretyczną i zalecaną minimalną liczbę punktów, potrzebną do współrzędnościowych pomiarów danego elementu. Pomiar każdego z tych elementów odbywa się na podstawie wartości współrzędnych, uzyskanych z pomiarów w odpowiedniej liczbie punktów. W celu zwiększenia dokładności pomiaru zalecana jest większa niż minimalna liczba punktów oraz odpowiednie ich rozmieszczenie. Na rys. 161 pokazano schematycznie różne sposoby wyznaczania parametrów

Element	Teoretyczna minimalna liczba punktów	Zalecana minimalna liczba punktów
Punkt	1	1
Okrag	3	4
Płaszczyzna	3	4
Kula	4	6
Walec	5	8
Stożek	6	12



Rys. 160. Rozmieszczenie i minimalna liczba punktów pomiarowych w pomiarach wybranych elementów: a) okrag, b) płaszczyzna, c) kula, d) walec, e) stożek



Rys. 161. Różne sposoby wyznaczania parametrów okręgu

okręgu, w zależności od liczby punktów, w których dokonano pomiarów. Do parametrów tych zalicza się współrzędne środka okręgu oraz jego promień lub średnicę. Większa liczba punktów, w których

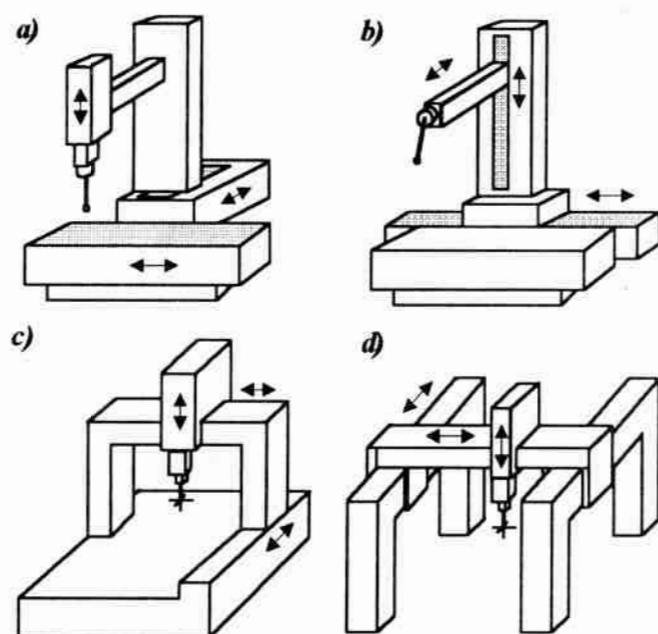
dokonano pomiarów współrzędnych, daje dokładniejszy wynik. Najdokładniej parametry okręgu można wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów. Pozwala to także lepiej ocenić odchyłki kształtu.

2.2. Współrzędnościowe maszyny pomiarowe

Podstawowymi zespołami współrzędnościowych maszyn pomiarowych (WMP) są:

- 1) Zespół nośny z układem prowadnic i stołem pomiarowym;
- 2) Zespoły pomiaru przemieszczeń;
- 3) Głowica (sonda) pomiarowa;
- 4) Zespół napędu i sterowania;
- 5) Zespół przetwarzania danych pomiarowych (mikrokomputer).

W zależności od układu kinematycznego wyróżnia się cztery podstawowe rodzaje WMP: kolumnowe, wysięgnikowe, portalowe (bramowe) i mostowe. Zostały one pokazane na rys. 162. Od typu



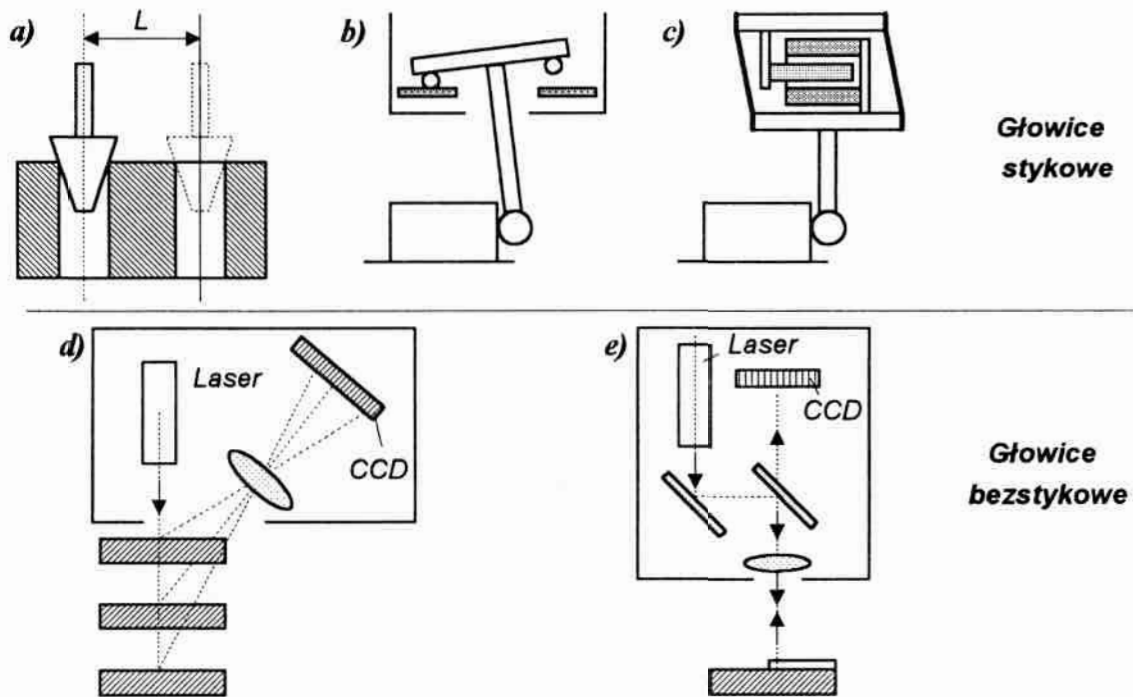
Rys. 162. Podstawowe rodzaje współrzędnościowych maszyn pomiarowych: a) kolumnowa, b) wysięgnikowa, c) portalowa, d) mostowa

maszyny w znacznym stopniu zależy dopuszczalne obciążenie stołu pomiarowego, zakres pomiarowy i dokładność pomiarów. Wynika to przede wszystkim z tego, że typ maszyny determinuje sztywność układu pomiarowego.

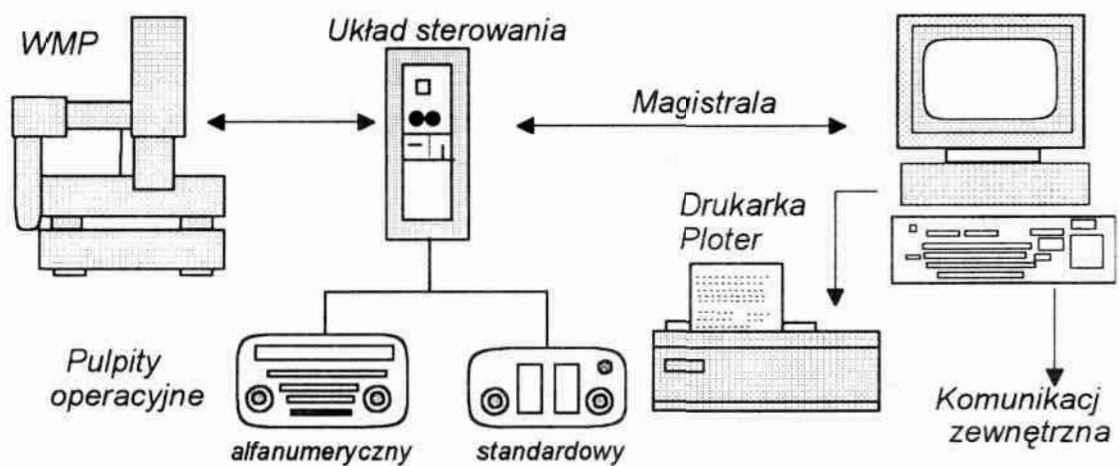
Do mierzenia przemieszczeń głowicy pomiarowej lub stołu pomiarowego, w układzie $Oxyz$ maszyny pomiarowej, służą zespoły pomiaru przemieszczeń wzdłuż każdej z osi układu. Zawierają one wzorzec, przetwornik oraz układ wskazujący. Zespoły te w zależności od konstrukcji dzieli się na liniowe i tarczowe. W zespołach liniowych stosowane są wzorce długości. W zespołach tarczowych mierzone przemieszczenie liniowe, dzięki specjalnemu układowi pośredniczącemu (np. śruba - nakrętka lub listwa zębata - koło zębate), przetwarzane są na przemieszczenia kątowe, które mierzone są za pomocą odpowiednich wzorców kąta. Rodzaj zastosowanego wzorca pozwala ponadto wyróżnić zespoły inkrementalno-impulsowe i kodowe. W zależności od wykorzystanego przetwornika wyróżnia się także zespoły pomiarowe fotoelektryczne (optoelektroniczne), indukcyjne, pojemnościowe oraz interferencyjne, które stosuje się w najdokładniejszych WMP.

Głowica pomiarowa służy do lokalizacji punktów pomiarowych na przedmiocie mierzonym. Lokalizacja ta może być dokonywana stykowo lub bezstykowo. Stąd podstawowy podział głowic pomiarowych WMP na dwie grupy: na głowice stykowe i bezstykowe. Głowice pomiarowe stykowe można podzielić na głowice sztywne, głowice przełączające i głowice mierzące. Głowice mierzące pozwalają na dokonywanie pomiarów skaningowych, czyli takich, w których głowica pomiarowa będąc cały czas aktywną, przemieszcza się wzdłuż powierzchni mierzonej nie tracąc z nią kontaktu. Wśród głowic pomiarowych bezstykowych można wyróżnić dwa główne rodzaje: głowice triangulacyjne i głowice wizyjne. Schematy poszczególnych głowic pokazuje rys. 163.

We WMP do przesuwu głowicy pomiarowej lub stołu stosuje się napęd ręczny lub silnikowy. Większość obecnie produkowanych maszyn to maszyny z napędem silnikowym. Ogólna konfiguracja WMP jako systemu pomiarowego została przedstawiona na rys. 164. Podstawowym warunkiem sprawnego dokonywania pomiarów jest szybki układ



Rys. 163. Podstawowe rodzaje głowic pomiarowych WPM: a) sztywna, b) przełączająca, c) mierząca, d) triangulacyjna, e) wizyjna



Rys. 164. Ogólna konfiguracja WPM jako systemu pomiarowego

sterowania. Odciąża on system komputerowy od realizacji przemieszczeń WMP. System komputerowy WMP ze sterowaniem CNC (Computer Numeric Control) jest zdecentralizowany, rozdzielony na poszczególne poziomy użytkowe, co zapewnia elastyczność i krokową implementację oprogramowania, a jednocześnie dzięki sprzężeniu wszystkich poziomów wysoki stopień integracji systemu.

Oprogramowanie maszyn pomiarowych jest oprogramowaniem oferowanym przez producentów tych maszyn. Najpowszechniej stosowane pakiety programów to:

- 1) Umess, niemieckiej firmy Carl Zeiss Oberkochen;
- 2) Quindos, niemieckiej firmy Leitz;
- 3) Tutor, włoskiej firmy DEA;
- 4) Geopak, japońskiej firmy Mitutoyo.

Oprócz oprogramowania podstawowego wiele firm oferuje oprogramowanie specjalne. Przykładem tego mogą być pakiety programów firmy Carl Zeiss Oberkochen: GON - do pomiaru kół zębatach, HOLOS - do pomiarów skanujących przestrzennych powierzchni krzywoliniowych, MFT - do programowania i symulacji operacji pomiaru, oraz wiele innych.

O ile algorytmy wyznaczania podstawowych elementów geometrycznych są na ogół realizowane przez program obsługujący system pomiarowy, to proces samego pomiaru powinien zostać zalgorytmizowany przez operatora systemu. Może on wybrać tryb sterowania ręcznego lub tryb CNC, jeżeli jest on dostępny. W trybie ręcznym system na ogół sugeruje operatorowi kolejne kroki algorytmu i interweniuje w przypadku gdy postępowanie operatora może prowadzić do kolizji. W trybie CNC program sterujący przygotowuje się dwoma sposobami:

- 1) korzystając z oprogramowania typu LEARN;
- 2) tworząc go bez udziału systemu w trybie off-line.

W ostatnim przypadku wykorzystuje się na ogół procedury stosowane w systemach CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing).

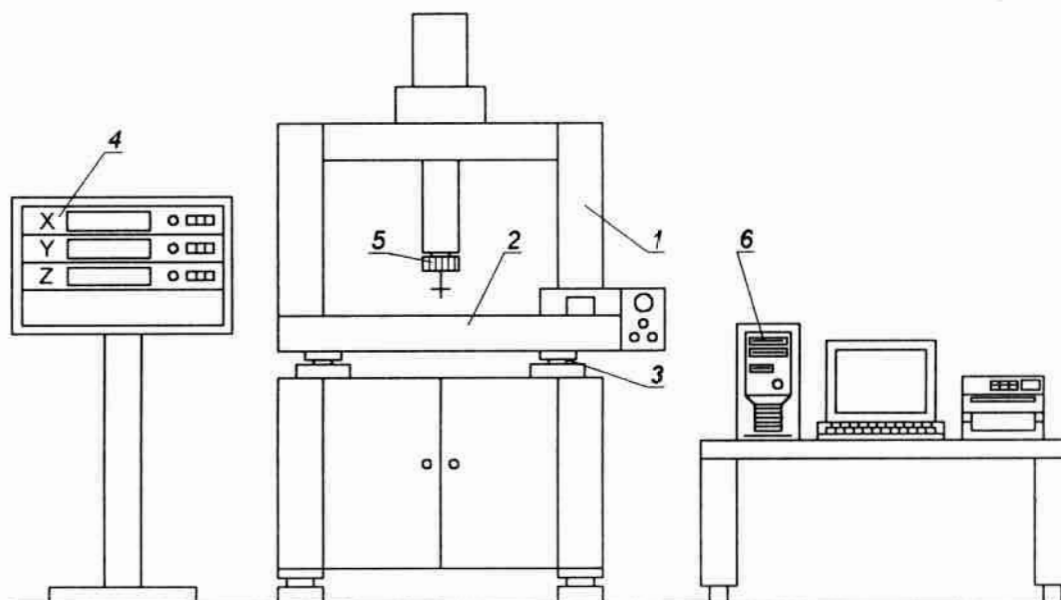
Niektóre WMP, przeznaczone do specjalnych zastosowań w kontroli produkcji nazywa się robotami pomiarowymi inne zaś

centrami pomiarowymi. Roboty pomiarowe to specjalne współrzędnościowe maszyny pomiarowe wysięgnikowe lub kolumnowe, zainstalowane w halach produkcyjnych. Charakteryzują się one zwiększonymi prędkościami ruchów roboczych i dużą odpornością na zakłócenia zewnętrzne występujące w produkcji, takie jak np. temperatura, drgania, zapylenie powietrza itp. Roboty pomiarowe tak samo jak centra pomiarowe charakteryzują się znaczną elastycznością, odpowiednią do elastyczności systemu obróbkowego, oraz możliwością monitorowania procesu produkcyjnego. Pod pojęciem elastyczność rozumie się tu zdolność urządzenia do szybkiej adaptacji swoich funkcji, tak aby sprostać zmieniającym się zadaniom i potrzebom. Centra pomiarowe to systemy współrzędnościowe, które, podobnie jak roboty pomiarowe, instalowane są bezpośrednio w halach produkcyjnych. W centrach pomiarowych, w odróżnieniu od robotów pomiarowych, stosowane są klasyczne, laboratoryjne WMP, umieszczone w odpowiedniej klimatyzowanej obudowie. Taka lokalizacja WMP, nazywana kapsułowaniem, zapewnia uzyskanie dużej dokładności pomiarów bezpośrednio na hali produkcyjnej. Centrum pomiarowe sterowane jest za pomocą komputera nadzorującego pracę maszyn pomiarowych oraz działanie systemów rozpoznawania, transportu i magazynowania mierzonych przedmiotów. W odniesieniu do niektórych robotów i centrów pomiarowych stosuje się niekiedy nazwę automat pomiarowy.

2.3. Koordynatometr XYZ

W Polsce od wielu lat współrzędnościowe maszyny pomiarowe produkowane są przez Instytut Obróbki Skrawaniem w Krakowie. W latach osiemdziesiątych maszyny pomiarowe produkował także Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Narzędzi przy Kombinacie Przemysłu Narzędziowego VIS w Warszawie. Maszyna pomiarowa tej firmy została nazwana Koordynatometrem XYZ. Jej schemat pokazano na rys. 165. Jest to maszyna typu portalowego o zakresie 500×500×300 mm. W maszynie zastosowano zespoły pomiarowe liniowe z wzorcami inkrementalnymi i przetwornikami fotoelektrycznymi. Rozdzielczość maszyny wzdłuż każdej osi układu współrzędnych wynosi 0,001 mm. Maszyna ma napęd ręczny i dosyć ubogie oprogramowanie. Niemniej

pomiary na tej maszynie pozwalają zapoznać się z podstawową ideą pomiarów współrzędnościowych.



Rys. 165. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa *Koordinatometr XYZ*;

1 - mechaniczny zespół nośny, 2 - granitowy stół pomiarowy, 3 - płytki stalowe z gumowymi nakładkami, 4 - zespół wskaźników elektronicznych, 5 - głowica pomiarowa, 6 - mikrokomputer *PC*

3. Przebieg ćwiczenia

Zadanie 1

Zapoznaj się ze współrzędnościową maszyną pomiarową (koordynatometrem XYZ) produkcji OBR VIS w Warszawie. Wyjaśnij w jaki sposób łożyskowane są prowadnice maszyny pomiarowej, oraz co jest warunkiem dokonania przesuwu wzdłuż danej osi. Określ podstawowe dane metrologiczne tej maszyny i zapisz je w tabeli 1.

Zadanie 2

Na stole maszyny pomiarowej zamocuj pierścień o dokładnie znanej średnicy wewnętrznej, $D = 49,951$ mm. Następnie określ współrzędne X

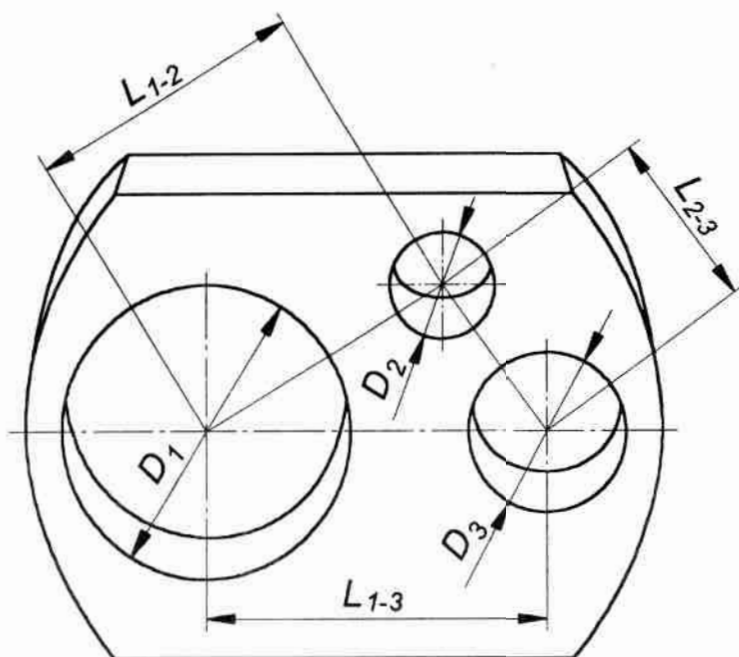
i Y czterech punktów odpowiadających stykowi końcówki pomiarowej z pierścieniem. Wyniki zanotuj w tabeli 2.

Zadanie 3

Korzystając z programu *wmp* (DOS) lub *okręgi* (WINDOWS), wyznacz średnicę kulki końcówki pomiarowej. Po uruchomieniu programu wpisz wstępnie średnicę kulki jako równą zero. Następnie oblicz za pomocą programu średnicę D_1 . Obliczoną średnicę kulki d zanotuj w ostatnim wierszu tabeli 2.

Zadanie 4

Na stole maszyny pomiarowej zamocuj wskazany przedmiot, np. taki jak pokazano na rys. 166. Następnie dokonaj pomiaru trzech otworów, mierząc każdy z nich w czterech lub więcej punktach. Wyniki pomiarów zanotuj w tabeli 3.



Rys. 166. Rysunek detalu z zaznaczonymi elementami do pomiaru na maszynie współrzędnościowej

Zadanie 5

Za pomocą programu *wmp.exe* (DOS) lub **okręgi** (WINDOWS) wyznacz średnicę i współrzędne środka każdego z otworów. Program ponadto wyznaczy odległości między osiami otworów, a także maksymalny błąd promienia przy pomiarze danego otworu. Na podstawie tego błędu można sądzić o dokładności wykonania pomiarów oraz o błędach okrągłości otworów. Wyniki pomiarów oraz wykres ilustrujący położenie otworów wydrukuj na oddzielnym arkuszu.

Jeśli korzystasz z programu *wmp.exe* (DOS) dane wprowadzaj powoli sprawdzając czy zostały one poprawnie napisane. Podczas drukowania wykorzystaj drukarkę *HP III Plus* oraz program *hpscreen.exe*. Zmiana parametrów drukowania odbywa się po wciśnięciu prawego klawisza *Alt* oraz klawisza + w bloku klawiszy numerycznych.

Zadanie 6

Spróbuj naszkicować ogólną strukturę algorytmu zastosowanego w programach *wmp* oraz **okręgi**.

4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu, oprócz wypełnionej karty pomiarów, należy zamieścić wydruki z mikrokomputera oraz wnioski i uwagi dotyczące pomiarów za pomocą WMP.

Tablica I. Graniczne dopuszczalne błędy wymiaru środkowego f_L i równoległości T_c powierzchni pomiarowych płytek wzorcowych wg PN-83/M-53101

L		Klasa dokładności							
		00		0		1		2	
powyżej	do	$\pm f_L$	T_c	$\pm f_L$	T_c	$\pm f_L$	T_c	$\pm f_L$	T_c
mm		μm							
-	10	0,06	0,05	0,12	0,10	0,20	0,16	0,45	0,30
10	25	0,07	0,05	0,14	0,10	0,30	0,16	0,60	0,30
25	50	0,10	0,06	0,20	0,10	0,40	0,18	0,80	0,30
50	75	0,12	0,06	0,25	0,12	0,50	0,18	1,00	0,35
75	100	0,14	0,07	0,30	0,12	0,60	0,20	1,20	0,35
100	150	0,20	0,08	0,40	0,14	0,80	0,25	1,60	0,40
150	200	0,25	0,09	0,50	0,16	1,00	0,25	2,00	0,45
200	300	0,35	0,12	0,70	0,18	1,40	0,30	2,80	0,50
300	400	0,45	0,12	0,90	0,20	1,80	0,35	3,50	0,60
400	500	0,50	0,16	1,10	0,25	2,20	0,40	4,40	0,60
500	600	0,60	0,16	1,30	0,30	2,60	0,45	5,00	0,70
600	700	0,70	0,20	1,50	0,30	3,00	0,45	6,00	0,80
700	800	0,80	0,20	1,70	0,35	3,40	0,50	7,00	0,90
800	900	0,90	0,25	1,90	0,35	3,80	0,55	7,50	0,90
900	1000	1,00	0,25	2,00	0,40	4,20	0,60	8,50	1,00

Tablica II. Znormalizowane wartości parametrów R_a , R_z i R_m wg PN-87/M-04251 oraz zastosowanie znaków chropowatości wg PN-89/M-01146

R_a μm	R_z i R_m μm	R_a μm	R_z i R_m μm	R_a μm	R_z i R_m μm
400	1600	10,0	40	0,25	1,00
320	1250	8,0	32	0,20	0,80
250	1000	6,3	25	0,160	0,63
200	800	5,0	20	0,125	0,50
160	630	4,0	16,0	0,100	0,40
125	500	3,2	12,5	0,080	0,32
100	400	2,5	10,0	0,063	0,25
80	320	2,0	8,0	0,050	0,20
63	250	1,60	6,3	0,040	0,160
50	200	1,25	5,0	0,032	0,125
40	160	1,00	4,0	0,025	0,100
32	125	0,80	3,2	0,020	0,080
25	100	0,63	2,5	0,016	0,063
20	80	0,50	2,0	0,012	0,050
16	63	0,40	1,60	0,010	0,040
12,5	50	0,32	1,25	0,008	0,032
					0,025
Wartości wytłuszczone są zalecane					
Znak chropowatości	Zastosowanie znaków chropowatości				
✓	Sam znak może być stosowany tylko w zbiorczych oznaczeniach chropowatości				
✓ ^a	Chropowatość powierzchni określona wartością liczbową a parametru chropowatości może być uzyskana przez zdjęcie lub bez zdjęcia warstwy materiału				
✓ ^a	Chropowatość powierzchni określona wartością liczbową a parametru chropowatości powinna być uzyskana przez zdjęcie warstwy materiału				
✓ ^a	Chropowatość powierzchni określona wartością liczbową a parametru chropowatości powinna być uzyskana bez zdjęcia warstwy materiału				
✓ ^a	Chropowatość powierzchni powinna być zachowana z poprzedniego procesu technologicznego				
a - dopuszczalna wartość liczbowa parametru chropowatości R_a					

Tablica III. Odchyłki grubości zęba (górną i dolną)

Pole tolerancji		j	h	g	f	e	d	c	b
Odchyłki	górną G_s	$+\Delta g$	0	$-\Delta g$	$-2\Delta g$	$-3\Delta g$	$-4\Delta g$	$-6\Delta g$	$-8\Delta g$
	dolną F_s	$-\Delta g$	$-2\Delta g$	$-3\Delta g$	$-4\Delta g$	$-5\Delta g$	$-6\Delta g$	$-8\Delta g$	$-10\Delta g$
Pole tolerancji		a	g'	f'	e'	d'	c'	b'	a'
Odchyłki	górną G_s	$-10\Delta g$	$-12\Delta g$	$-14\Delta g$	$-16\Delta g$	$-18\Delta g$	$-20\Delta g$	$-22\Delta g$	$-24\Delta g$
	dolną F_s	$-12\Delta g$	$-14\Delta g$	$-16\Delta g$	$-18\Delta g$	$-20\Delta g$	$-22\Delta g$	$-24\Delta g$	$-26\Delta g$

Tablica IV. Tolerancje prostoliniowości i płaskości (wyciąg z PN-80/M-02138)

Przedział wymiarów nominalnych ¹⁾		Szeregi tolerancji											
powyżej	do	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm		μm											
	10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
10	16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
16	25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
25	40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
40	63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
63	100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
100	160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
160	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
630	1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
1000	1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
1600	2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
2500	4000	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800
4000	6300	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
6300	10000	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200

¹⁾ Wymiar nominalny - długość nominalna odcinka cząstkowego. Jeżeli odcinek cząstkowy nie został określony, wymiar nominalny dłuższego boku lub średnica nominalna okręgu ograniczającego rozpatrywaną powierzchnię czołową.

Tablica V. Tolerancje okrągłości, walcowości i zarysu przekroju wzdłużnego powierzchni walcowej (wyciąg z PN-80/M-02138)

Przedział wymiarów nominalnych ¹⁾		Szeregi tolerancji											
powyżej	do	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm		μm											
	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
3	10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
18	30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
30	50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
50	120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
120	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
630	1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
1000	1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
1600	2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600

¹⁾ Wymiar nominalny - średnica nominalna rozpatrywanej powierzchni walcowej.

Tablica VI. Tolerancje równoległości, prostokątności, nachylenia, bicia osiowego i bicia osiowego całkowitego (wyciąg z PN-80/M-02138)

Podział wymiarów nominalnych		Szeregi tolerancji											
powyżej	do	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm		μm											
10	10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
16	16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
25	25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
	40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
40	63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
63	100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
100	160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
160	250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
250	400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
400	630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
630	1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600

Tablica VII. Tolerancje współosiowości, współśrodkowości, symetrii, przecinania się osi oraz bicia promieniowego i bicia promieniowego całkowitego (wyciąg z PN-80/M-02138)

Przedział wymiarów nominalnych		Szeregi tolerancji											
powyżej	do	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm		μm											
3	3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
10	10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
18	18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
18	30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
30	50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
50	120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
120	250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
250	400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
400	630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800

Tablica VIII. Wartości tolerancji kształtu, położenia oraz tolerancji złożonych położenia i kształtu wg PN-78/M-02137

0,1	1	10	100	1000	10000
0,12	1,2	12	120	1200	12000
0,16	1,6	16	160	1600	16000
0,2	2	20	200	2000	-
0,25	2,5	25	250	2500	
0,3	3	30	300	3000	
0,4	4	40	400	4000	
0,5	5	50	500	5000	
0,6	6	60	600	6000	
0,8	8	80	800	8000	

Tablica IX. Wartości funkcji Gaussa

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,39894	0,39892	0,39886	0,39876	0,39862	0,39844	0,39822	0,39797	0,39767	0,39733
1	0,39693	0,39654	0,39608	0,39559	0,39505	0,39448	0,39387	0,39322	0,39253	0,39181
2	0,39104	0,39024	0,38940	0,38853	0,38762	0,38667	0,38568	0,38466	0,38361	0,38251
3	0,38139	0,38023	0,37903	0,37780	0,37654	0,37524	0,37391	0,37255	0,37115	0,36973
4	0,36827	0,36678	0,36526	0,36371	0,36213	0,36053	0,35889	0,35723	0,35553	0,35381
5	0,35207	0,35029	0,34849	0,34667	0,34482	0,34294	0,34105	0,33912	0,33718	0,33521
6	0,33322	0,33121	0,32918	0,32713	0,32506	0,32297	0,32086	0,31874	0,31659	0,31443
7	0,31225	0,31006	0,30785	0,30563	0,30339	0,30114	0,29887	0,29659	0,29431	0,29200
8	0,28969	0,28737	0,28504	0,28269	0,28034	0,27798	0,27562	0,27324	0,27086	0,26848
9	0,26609	0,26369	0,26129	0,25888	0,25647	0,25406	0,25164	0,24923	0,24681	0,24439
1,0	0,24197	0,23955	0,23713	0,23471	0,23230	0,22988	0,22747	0,22506	0,22265	0,22025
1	0,21785	0,21546	0,21307	0,21069	0,20831	0,20594	0,20357	0,20121	0,19886	0,19652
2	0,19419	0,19186	0,18954	0,18724	0,18494	0,18265	0,18037	0,17810	0,17585	0,17360
3	0,17137	0,16915	0,16694	0,16474	0,16256	0,16038	0,15822	0,15608	0,15399	0,15183
4	0,14973	0,14764	0,14556	0,14350	0,14146	0,13943	0,13742	0,13542	0,13344	0,13147
5	0,12952	0,12758	0,12566	0,12376	0,12188	0,12001	0,11816	0,11632	0,11450	0,11270
6	0,11092	0,10915	0,10741	0,10567	0,10396	0,10226	0,10059	0,09893	0,09728	0,09566
7	0,09405	0,09246	0,09089	0,08933	0,08780	0,08628	0,08478	0,08329	0,08183	0,08038
8	0,07895	0,07754	0,07614	0,07477	0,07341	0,07206	0,07074	0,06943	0,06814	0,06687
9	0,06562	0,06439	0,06316	0,06195	0,06077	0,05959	0,05844	0,05730	0,05618	0,05508
2,0	0,05399	0,05292	0,05186	0,05082	0,04980	0,04879	0,04780	0,04682	0,04586	0,04491
1	0,04398	0,04307	0,04217	0,04128	0,04041	0,03955	0,03871	0,03788	0,03706	0,03626
2	0,03547	0,03470	0,03394	0,03319	0,03246	0,03174	0,03103	0,03034	0,02965	0,02898
3	0,02833	0,02768	0,02705	0,02643	0,02582	0,02522	0,02463	0,02406	0,02349	0,02294
4	0,02239	0,02186	0,02134	0,02083	0,02033	0,01984	0,01936	0,01889	0,01842	0,01797
5	0,01753	0,01709	0,01667	0,01625	0,01585	0,01545	0,01506	0,01468	0,01431	0,01394
6	0,01358	0,01323	0,01289	0,01256	0,01223	0,01191	0,01160	0,01130	0,01100	0,01071
7	0,01042	0,01014	0,00987	0,00961	0,00935	0,00909	0,00885	0,00861	0,00837	0,00814
8	0,00792	0,00770	0,00748	0,00727	0,00707	0,00687	0,00668	0,00649	0,00631	0,00613
9	0,00595	0,00578	0,00562	0,00545	0,00530	0,00514	0,00499	0,00485	0,00471	0,00457
3,0	0,00443	0,00430	0,00417	0,00405	0,00393	0,00381	0,00370	0,00358	0,00348	0,00337
1	0,00327	0,00317	0,00307	0,00298	0,00288	0,00279	0,00271	0,00262	0,00254	0,00246
2	0,00238	0,00231	0,00224	0,00216	0,00210	0,00203	0,00196	0,00190	0,00184	0,00178
3	0,00172	0,00167	0,00161	0,00156	0,00151	0,00146	0,00141	0,00136	0,00132	0,00127
4	0,00123	0,00119	0,00115	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100	0,00097	0,00091	0,00090
5	0,00087	0,00084	0,00081	0,00079	0,00076	0,00073	0,00071	0,00068	0,00066	0,00063
6	0,00061	0,00059	0,00057	0,00055	0,00053	0,00051	0,00049	0,00047	0,00046	0,00044
7	0,00042	0,00041	0,00039	0,00038	0,00037	0,00035	0,00034	0,00033	0,00031	0,00030
8	0,00029	0,00028	0,00027	0,00026	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00021
9	0,00020	0,00019	0,00018	0,00018	0,00017	0,00017	0,00016	0,00015	0,00014	0,00014

Tablica X. Wartości funkcji Laplace'a $\left[H(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right]$

<i>t</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00000	0,00399	0,00798	0,01197	0,01595	0,01994	0,02392	0,02790	0,03188	0,03586
1	0,03983	0,04380	0,04776	0,05172	0,05567	0,05962	0,06356	0,06749	0,07142	0,07535
2	0,07926	0,08317	0,08706	0,09095	0,09483	0,09871	0,10257	0,10642	0,11026	0,11409
3	0,11791	0,12172	0,12552	0,12930	0,13307	0,13683	0,14058	0,14431	0,14803	0,15173
4	0,15542	0,15910	0,16276	0,16640	0,17003	0,17364	0,17724	0,18082	0,18082	0,18793
5	0,19146	0,19497	0,19847	0,20194	0,20540	0,20884	0,21226	0,21566	0,21904	0,22240
6	0,22575	0,22907	0,23237	0,23565	0,23891	0,24215	0,24537	0,24857	0,25175	0,25490
7	0,25804	0,26115	0,26424	0,26730	0,27035	0,27337	0,27637	0,27935	0,28230	0,28524
8	0,28814	0,29103	0,29389	0,29673	0,29955	0,30234	0,30511	0,30785	0,31057	0,31327
9	0,31594	0,31859	0,32121	0,32381	0,32639	0,32894	0,33147	0,33398	0,33646	0,33891
1,0	0,34134	0,34375	0,34614	0,34850	0,35083	0,35314	0,35543	0,35769	0,35993	0,36214
1	0,36433	0,36650	0,36864	0,37076	0,37286	0,37493	0,37698	0,37900	0,38100	0,38298
2	0,38493	0,38686	0,38877	0,39065	0,39251	0,39435	0,39617	0,39796	0,39973	0,40147
3	0,40320	0,40490	0,40658	0,40824	0,40988	0,41149	0,41309	0,41466	0,41621	0,41774
4	0,41924	0,42073	0,42220	0,42364	0,42507	0,42641	0,42786	0,42922	0,43056	0,43189
5	0,43319	0,43448	0,43574	0,43699	0,43822	0,43943	0,44062	0,44179	0,44295	0,44408
6	0,44520	0,44630	0,44738	0,44845	0,44950	0,45053	0,45154	0,45254	0,45352	0,45449
7	0,45543	0,45637	0,45728	0,45818	0,45907	0,45994	0,46080	0,46164	0,46246	0,46327
8	0,46407	0,46485	0,46562	0,46638	0,46712	0,46784	0,46856	0,46926	0,46995	0,47062
9	0,47128	0,47193	0,47257	0,47320	0,47381	0,47441	0,47500	0,47558	0,47615	0,47670
2,0	0,47725	0,47778	0,47831	0,47882	0,47932	0,47982	0,48030	0,48077	0,48124	0,48169
1	0,48214	0,48257	0,48300	0,48341	0,48382	0,48422	0,48461	0,48500	0,48537	0,48574
2	0,48610	0,48645	0,48679	0,48713	0,48745	0,48778	0,48809	0,48840	0,48870	0,48899
3	0,48928	0,48956	0,48983	0,49010	0,49036	0,49061	0,49086	0,49111	0,49134	0,49158
4	0,49180	0,49202	0,49224	0,49245	0,49266	0,49286	0,49305	0,49324	0,49343	0,49361
5	0,49379	0,49396	0,49413	0,49430	0,49446	0,49461	0,49477	0,49492	0,49506	0,49520
6	0,49534	0,49547	0,49560	0,49573	0,49585	0,49598	0,49609	0,49621	0,49632	0,49643
7	0,49653	0,49664	0,49674	0,49683	0,49693	0,49702	0,49711	0,49720	0,49728	0,49736
8	0,49744	0,49752	0,49760	0,49767	0,49774	0,49781	0,49788	0,49795	0,49801	0,49807
9	0,49813	0,49819	0,49825	0,49831	0,49836	0,49841	0,49846	0,49851	0,49856	0,49861
3,0	0,49865	0,49869	0,49874	0,49878	0,49882	0,49886	0,49889	0,49893	0,49897	0,49900
1	0,49903	0,49906	0,49910	0,49913	0,49916	0,49918	0,49921	0,49924	0,49926	0,49929
2	0,49931	0,49934	0,49936	0,49938	0,49940	0,49942	0,49944	0,49946	0,49948	0,49950
3	0,49952	0,49953	0,49955	0,49957	0,49958	0,49960	0,49961	0,49962	0,49964	0,49965
4	0,49966	0,49968	0,49969	0,49970	0,49971	0,49972	0,49973	0,49974	0,49975	0,49976
5	0,49977	0,49978	0,49978	0,49979	0,49980	0,49981	0,49981	0,49982	0,49983	0,49983
6	0,49984	0,49985	0,49985	0,49986	0,49986	0,49987	0,49987	0,49987	0,49988	0,49988
7	0,49989	0,49990	0,49990	0,49990	0,49991	0,49991	0,49992	0,49992	0,49992	0,49992
8	0,49993	0,49993	0,49993	0,49994	0,49994	0,49994	0,49994	0,49995	0,49995	0,49995
9	0,49995	0,49995	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49997	0,49997
			4,50 - 0,49999				5,00 - 0,49999997			

Tablica XI. Wysokość i cięciwa pomiarowa zęba normalnego zerowego dla $m = 1$

Liczba zębów z	\bar{h}_a'	\bar{s}'	Liczba zębów z	\bar{h}_a'	\bar{s}'
10	1,0615	1,5643	30	1,0206	1,5700
11	0559	5654	32	0192	5701
12	0513	5663	34	0182	5702
13	0473	5669	35	0176	5702
14	0440	5674	36	0171	5703
15	1,0411	1,5679	38	1,0162	1,5703
16	0385	5682	40	0154	5704
17	0363	5685	42	0146	5704
18	0342	5688	44	0141	5704
19	0324	5690	45	0137	5704
20	1,0308	1,5692	46	1,0134	1,5705
21	0293	5693	48	0128	5706
22	0281	5694	50	0123	5707
23	0268	5695	55	0112	5707
24	0257	5696	60	0103	5708
25	1,0246	1,5697	70	1,0088	1,5708
26	0237	5697	80	0077	5708
27	0228	5698	97	0064	5708
28	0221	5699	127	0048	5708
29	0212	5700	135	0045	5708
			zębatka	1,0000	1,5708

Dla $m \neq 1$ należy wartości \bar{h}_a' i \bar{s}' pomnożyć przez ten moduł

Tablica XII. Wartości pomiarowe grubości zęba przez n zębów, $\alpha = 20^\circ$, $m = 1$, $x = 0$

z	n	W'	z	n	W'	z	n	W'	z	n	W'
7		4,5262	25		10,6826	43		16,8390	60		22,9813
8		5402	26		6966	44		8530	61		9953
9		5542	27		7106	45		8670	62		23,0093
10		5682	28		7246	46		8810	63		0233
11	2	5823	29	4	7386	47	6	8950	64	8	0373
12		5963	30		7526	48		9090	65		0513
13		6103	31		7666	49		9230	66		0653
14		6243	32		7806	50		9370	67		0793
15		6383	33		7946				68		0933
16		7,6044	34		13,7608	51		19,9031	69		26,0595
17		6184	35		7748	52		9171	70		0735
18		6324	36		7888	53		9311	71		0875
19		6464	37		8028	54		9451	72		1015
20	3	6604	38	5	8168	55	7	9592	73	9	1155
21		6744	39		8308	56		9732	74		1295
22		6884	40		8448	57		9872	75		1435
23		7025	41		8588	58		20,0012	76		1575
24		7165	42		8728	59		0152	77		1715

Objaśnienia: z - liczba zębów w kole; n - liczba zębów objętych pomiarem; dla $m \neq 1$ należy wartość W' pomnożyć przez ten moduł.

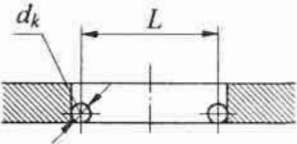
Tablica XIII. Graniczne błędy dopuszczalne Δa grubości a części roboczej płytek szczelinomierzy wg PN-75/M-53390

a		$\pm \Delta a$	a		$\pm \Delta a$
ponad	do		ponad	do	
mm		μm	mm		μm
-	0,06	3	0,30	0,45	7
0,06	0,10	4	0,45	0,60	8
0,10	0,20	5	0,60	0,80	10
0,20	0,30	6	0,80	1,00	12

Tablica XIV

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 1					
Tabela 1. Pomiar suwmiarką					
Lp.	Dokładność noniusza suwmiarki mm	Wymiar mm	Lp.	Dokładność noniusza suwmiarki "	Wymiar "
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
Tabela 2. Pomiar mikrometrem					
Lp.	Mikrometr o zakresie	d i l mm	Lp.	Mikrometr o zakresie	d i l mm
1			5		
2			6		
3			7		
4			8		
Tabela 3. Pomiar rozstawienia otworów					
Wymiar	Wynik pomiaru	Narzędzie pomiarowe			
h_1 , mm					
h_2 , mm					
d_1 , mm					
d_2 , mm					
$l =$					
Tabela 4. Pomiar głębokości otworu wielostopniowego					
Wymiar	Wynik pomiaru	Narzędzie pomiar.			
h_1 , mm		głębokościomierz 0,01			
h_2 , mm		głębokościomierz 0,01			
h_3 , mm		głębokościomierz 0,01			
Nazwisko i imię studenta			Nr indeksu	Nr grupy	

Tablica XV

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 2					
Tabela 1. Pomiar suwmiarką			Tabela 2. Pomiar mikrometrem		
Lp.	Suwmiarka z noniuszem	Wynik mm	Lp.	Mikrometr	Wynik mm
1			1		
2			2		
3			3		
Tabela 3. Pomiar średnicówką mikrometryczną dwupunktową					
Lp.	Wynik pomiaru		Dokładność odczytu	Uwagi	
1					
2					
Tabela 4. Pomiar średnicówką mikrometryczną trzypunktową					
Lp.	Wynik pomiaru		Dokładność odczytu	Uwagi	
1					
2					
Tabela 5. Pomiar średnicówką czujnikową dwupunktową					
Lp.	Wynik pomiaru		Dokładność odczytu	Uwagi	
1					
2					
Tabela 6. Pomiar średnicówką czujnikową trzypunktową					
Lp.	Wynik pomiaru		Dokładność odczytu	Uwagi	
1					
2					
Tabela 7. Pomiar przystawką na mikroskopie					
Lp.	Odczyt w p. A	Odczyt w p. B	Wymiar d , mm		
1			$d = L + d_k =$		
					
Nazwisko i imię studenta				Nr indeksu	Nr grupy

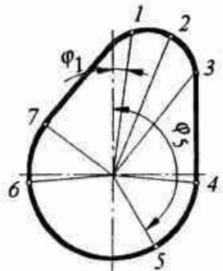
Tablica XVI

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 3				
Tabela 1. Pomiar za pomocą płytek wzorcowych				
Lp.	Wymiar wstępny d , mm	Użyty komplet płytek wzorcowych	Wymiar wstępny stosu płytek h_p , mm	Wymiar końcowy stosu płytek h , mm
1		MLA..... KI.	1.	1.
			2.	2.
			3.	3.
			4.	4.
			+5.	+5.
			h_p	h_p
2		MLA..... KI.	1.	1.
			2.	2.
			3.	3.
			4.	4.
			5.	5.
			+g	+g
h_p	h_p			
Błąd pomiaru obliczamy ze wzoru $\Delta d = \pm[(\Delta l) + (\Delta h_p) + (\Delta g)] \mu\text{m}$			Δl - ocena luzu Δh_p - błąd stosu płytek Δg - błąd grubości wkładek	
1	$d =$	2	$d =$	
Tabela 2. Pomiar za pomocą szczelinomierza				
Schemat pomiaru			Wielkość maksymalnego luzu pomiędzy powierzchniami, mm	
Tabela 3. Pomiar przy użyciu kulek pomiarowych				
Wymiar	d_1	d_2	M	Obliczenie wymiaru d
Nazwisko i imię studenta			Nr indeksu	Nr grupy

Tablica XVII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 4									
Tabela 1. Pomiar za pomocą kątomierza uniwersalnego lub optycznego									
Kątomierz uniwersalny				Kątomierz optyczny					
Lp.	Odczyt	Lp.	Odczyt	Lp.	Odczyt	Lp.	Odczyt		
1		3		1		3			
2		4		2		4			
Tabela 2. Pomiar kąta klina wałeczkami pomiarowymi									
Lp.	$P = \operatorname{tg}\alpha$					Błąd pomiaru δP			
	B	A	h_p	P	α	δB	δA	δh_p	δP
1									
2									
Tabela 3. Pomiar przy użyciu płytek kątowych									
Lp.	Kąt α wg rys.	Użyte płytki do pomiaru	Kąt wg zestawu płytek kątowych	Błąd pomiaru δx					
1									
2									
Tabela 4. Pomiar przy użyciu liniału sinusowego									
Lp.	$h_p/L = \sin 2\alpha$			Błąd pomiaru $\delta 2\alpha$					
	L	h_p	2α	δh_p	δL	$\delta 2\alpha$			
1									
2									
Tabela 5. Pomiar kąta stożka wewnętrznego przy użyciu kulek pomiarowych									
Lp.	D	d	A	B	$\sin\alpha/2$	α			
1									
2									
Tabela 6. Pomiar stożka zewnętrznego przy użyciu mikroskopu warsztatowego									
Lp.	D	d	L	$2\operatorname{tg}\alpha$	α	Odczyt z głowicy goniom.			
1									
2									
Nazwisko i imię studenta				Nr indeksu		Nr grupy			

Tablica XVIII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 5					
<i>Tabela 1. Pomiar za pomocą podzielnicy optycznej</i>					
Szkic przedmiotu 	Nazwa przyrządu		Nr punktu	R	φ
			1		
	Typ		2		
			3		
	Działka elem. podzielnicy		4		
			5		
	Działka elem. długościom.		6		
		7			
<i>Tabela 2. Pomiar za pomocą goniometru</i>					
Nazwa przyrządu	Typ, firma produk.	Dokładność odczytu	Odczyt φ_1	Odczyt φ_2	Kąt zmierzony
<i>Tabela 3. Pomiar przy użyciu poziomnicy koincydencyjnej</i>					
Nazwa przyrządu	Typ, firma produk.	Działka elementarna	Liczba działek	Kąt α rad	Kąt α "
<i>Tabela 4. Pomiar przy użyciu autokolimatora</i>					
Nazwa przyrządu	Typ, firma produk.	Działka elementarna	α_1	α_2	α_{sr}
Nazwisko i imię studenta				Nr indeksu	Nr grupy

Tablica XIX

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 6										
<i>Tabela 1. Pomiar za pomocą minimetru</i>										
Nazwa przyrządu	Typ	Firma prod.		Zakres pomiarowy		Wartość dział. elem.		Wymiar nomin. stosu płytek		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru										
<i>Tabela 2. Pomiar za pomocą ortotestu</i>										
Nazwa przyrządu	Typ	Firma prod.		Zakres pomiarowy		Wartość dział. elem.		Wymiar nomin. stosu płytek		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru										
<i>Tabela 3. Pomiar przy użyciu mikrokatora</i>										
Nazwa przyrządu	Typ	Firma prod.		Zakres pomiarowy		Wartość dział. elem.		Wymiar nomin. stosu płytek		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru										
<i>Tabela 4. Pomiar przy użyciu optimetru</i>										
Nazwa przyrządu	Typ	Firma prod.		Zakres pomiarowy		Wartość dział. elem.		Wymiar nomin. stosu płytek		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru										
<i>Tabela 5. Pomiar przy użyciu tolerametry</i>										
Nazwa przyrządu	Typ	Firma prod.		Zakres pomiarowy		Wartość dział. elem.		Wymiar nomin. stosu płytek		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru										
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy		

Tablica XX

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 7						
<i>Tabela 1. Pomiar za pomocą małego mikroskopu warsztatowego</i>						
Typ	Firma	Zakres pomiaru	Wymiary	Odczyt I	Odczyt II	Wynik pomiaru
			A			
			B			
			C			
<i>Tabela 2. Pomiar rozstawienia otworów na małym mikroskopie warsztatowym</i>						
Typ i firma	Zakres pomiaru	Odczyt I ze śr. pop.	Odczyt I ze śr. wzdl.	Odczyt II ze śr. pop.	Odczyt II ze śr. wzdl.	Wynik pomiaru
<i>Tabela 3. Pomiar grubości zęba ślimaka na dużym mikroskopie warsztatowym</i>						
Typ i firma	Zakres pomiaru	Kąt pochyl. kolumny	Moduł ślimaka	Odczyt I ze śr. pop.	Odczyt II ze śr. pop.	Wynik pomiaru
<i>Tabela 4. Pomiar przy użyciu mikroskopu uniwersalnego</i>						
Typ i firma	Zakres pomiaru	Metoda pomiaru	Ustawienie przesłony	Odczyt I	Odczyt II	Wynik pomiaru
		stykowa	2			
			6			
			10			
		bezstykowa	2			
			6			
			10			
<i>Tabela 5. Pomiar przy użyciu projektora pomiarowego</i>						
Typ i firma	Zakres pomiaru	Odczyt I ze śr. pop.	Odczyt I ze śr. wzdl.	Odczyt II ze śr. pop.	Odczyt II ze śr. wzdl.	Wynik pomiaru
Nazwisko i imię studenta				Nr indeksu	Nr grupy	

Tablica XXI

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 8								
Tabela 1. Pomiar za pomocą długościomierza Abbego								
Typ	Firma	Zakres pomiaru	Wyniki pomiarów					Uwagi
			1	2	3	4	5	
Obliczenie błędu pomiaru:								
Tabela 2. Pomiar na komparatorze Abbego								
Zakres pomiaru	Wyniki pomiarów						Uwagi	
	Żelazo Armco			Węgiel spiekany				
	Odczyt I	Odczyt II	Wynik	Odczyt I	Odczyt II	Wynik		
Obliczenie błędu pomiaru:								
Tabela 3. Pomiar za pomocą interferometru Uwierskiego								
Typ i firma	Ustalenie działki elem.				Wyniki pomiarów			
	λ_m	k	n	j	Wysokość stosu płyt.	Liczba prążków	λ	Wymiar
Obliczenie błędu pomiaru								
Tabela 4. Pomiar za pomocą komparatora Köstersa								
Typ i firma	Zakres pomiaru	e mm Hg	t °C	p mm Hg	Końcowa wartość poprawki			
Pasmo	Ułamek rzeczywisty	Ułamek żądany	Ułamek różnicowy	Odczyt pomiaru	Wartość średnia	Rzeczywisty wymiar płytki wz.		
czerwone								
żółte								
zielone								
Nazwisko i imię studenta					Nr indeksu	Nr grupy		

Tablica XXII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 9											
Tabela 1. Pomiar za pomocą przyrządu pneumatycznego niskociśnieniowego metodą bezstykową											
Nazwa przyrządu	Typ	Wymiary stosów płytek wzorcowych						Liczba działek podziałki		Wartość działki elementar.	
		I		II		Różnica I - II					
Nr pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik pomiaru											
Tabela 2. Pomiar za pomocą przyrządu pneumatycznego wysokociśnieniowego metodą stykową											
Nazwa przyrządu	Typ, firma prod.		Rodzaj dyszy pomiarowej		Zakres pomiarowy		Wartość działki elementar.		Ciśnienie robocze		
Nr pomiaru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Wynik pomiaru											
Tabela 3. Pomiar przyrządem pneumatycznym natężeniowym metodą bezstykową											
Nazwa przyrządu	Typ, firma prod.		Zakres pomiarów	Działka elementarna	Rodzaj czujnika	Wartość ciśnienia					
			Miejsce pomiaru	przekroje							
				I - I	II - II	III - III					
				A - A							
			B - B								
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy			

Tablica XXIII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 10											
Tabela 1. Pomiar przy użyciu czujnika elektrostatycznego MDDh											
Firma	Typ czujnika	Zakres pomiarowy		Typ urządz. wskazując.		Liczba grup selek.		Wymiary stos. pł. wz.			
								I		II	
Nr pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik pomiaru											
Nr pomiaru		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Wynik pomiaru											
Tabela 2. Pomiar przy zastosowaniu czujnika elektrostatycznego MDDm											
Firma	Typ czujnika	Zakres pomiarowy		Typ urządz. wskazując.		Liczba grup selek.		Wymiary stos. pł. wz.			
								I		II	
Nr pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik z pomiaru											
Tabela 3. Pomiar przy użyciu przyrządu pneumatycznego BO-9											
Firma		Zakres pomiaru			Typ urządz. wskazując.			Liczba grup sel.			
Nr żarówki wskaźnika		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wymiar wzorca											
Nr pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik pomiaru											
Nr pomiaru		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Wynik pomiaru											
Tabela 4. Pomiar za pomocą czujnika indukcyjnego											
Firma	Typ czujnika	Typ urządz. wskazując.	Zakres pomiarowy		Wymiary grup selekcyjnych						
					I		II		III		
Nr pomiaru		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wynik pomiaru											
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy			

Tablica XXIV

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 11					
Tabela 1. Określenie chropowatości próbek przy użyciu wzorców chropowatości					
Rodzaj obróbki, kształt powierzchni	Material próbki	Wartości parametrów			
		$R_a, \mu\text{m}$		$R_z, \mu\text{m}$	
Tabela 2. Określenie chropowatości metodą skośnego szlifu					
Typ mikroskopu, firma	Wartość dz. el.	Kąt szlifu η	Wartość $\text{tg}\eta$		
Odczyty ze śruby mikroskopu					
5-ciu wierzchołków	$a_1 =$	$a_3 =$	$a_5 =$	$a_7 =$	$a_9 =$
5-ciu wgłębień	$a_2 =$	$a_4 =$	$a_6 =$	$a_8 =$	$a_{10} =$
Obliczenie parametru R_z $R_z = \frac{(a_1+a_3+\dots+a_9)-(a_2+a_4+\dots+a_{10})}{5} \cdot \text{tg}\eta$					
Tabela 3. Pomiar chropowatości na mikroskopie Schmalza-Linnika					
Firma	Zakres pomiarowy	Powiększenie obiektywu	Obliczenie wartości działki elem.		
			a_0	a_n	S_w
Odczyty z mikroskopu w działkach					
5-ciu wierzchołków	$a_1 =$	$a_3 =$	$a_5 =$	$a_7 =$	$a_9 =$
5-ciu wgłębień	$a_2 =$	$a_4 =$	$a_6 =$	$a_8 =$	$a_{10} =$
Obliczenie parametru R_z $R_z = \frac{(a_1+a_3+\dots+a_9)-(a_2+a_4+\dots+a_{10})}{5} \cdot S_w$					
Tabela 4. Pomiar chropowatości za pomocą profilometru					
Firma	Typ	Zakres pomiar.	Dz. elem.	Odc. pomiar.	
Kolejny pomiar	1	2	3	4	5
$R_a, \mu\text{m}$					
$R_{max}, \mu\text{m}$					
$R_{tm} (R_z \text{ DIN}), \mu\text{m}$					
Nazwisko i imię studenta			Nr indeksu	Nr grupy	

Tablica XXV

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 12											
Tabela 1. Rozpoznanie gwintów											
Skok p	Śred. zew. d	Oznaczenie gwintu		Skok p	Śred. zew. d	Oznaczenie gwintu					
Tabela 2. Sprawdzenie prawidłowości wykonania gwintów za pomocą sprawdzianów											
Oznaczenie gwintu	Wynik sprawdzenia		Oznaczenie gwintu	Wynik sprawdzenia							
	str. przech.	str. nieprzech.		str. przech.	str. nieprzech.						
Tabela 3. Pomiar średnicy podziałowej gwintu mikrometrem do gwintu											
Rodzaj gwintu	Skok gwintu	Średnica zewnętrzna	Zakres pomiarowy	Symbol końcówki pomiarowej	Wartość zm. średnicy podziałowej						
Tabela 4. Pomiar średnicy podziałowej metodą trzech wałeczków											
Wartości nominalne z tabel				Obliczone wartości		Wartość zmierz.	Oblicz. wartość	Wyliczone błędy pomiarów			
d_2	d	P	d_w	δ_1	δ_2	M	d_2	ΔM	Δd_w	ΔP	Δd_2
Tabela 5. Pomiar skoku gwintu przy użyciu mikroskopu											
Kąt wzniosu linii śrub. gwintu	Obliczenie wartości a		Obliczenie wartości c		Obliczenie wartości b						
	Odczyt I	Odczyt II	Odczyt III	Odczyt IV							
$\rho =$	$a =$		$c =$		$b =$						
Liczba zarysów gwintu: $n =$				Obliczony skok gwintu: $p =$							
Nazwisko i imię studenta							Nr indeksu		Nr grupy		

Tablica XXVI

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 13											
<i>Tabela 1. Pomiar grubości zębów koła zębatego suwmiarką modułową</i>											
Dane koła zębatego						Obliczona wartość			Obliczona wysokość		
$z =$; $m =$; $\alpha =$						$\psi =$			$h_a =$		
Nr	s , mm	Nr	s , mm	Nr	s , mm	Nr	s , mm	Nr	s , mm	Odchyłka grubości $\Delta s =$	
1		5		9		13		17			
2		6		10		14		18			
3		7		11		15		19			
4		8		12		16		20			
<i>Tabela 2. Pomiar grubości zębów koła zębatego mikrometrem tależykowym</i>											
Dane koła zębatego						Obliczona wartość			Przyjęta do pom. wart.		
$z =$; $m =$; $\alpha =$						$n =$			$n =$		
Nr	W_n , mm	Nr	W_n , mm	Nr	W_n , mm	Nr	W_n , mm	Nr	W_n , mm	ΔW_n , mm	
1		5		9		13		17			
2		6		10		14		18		Odchyl. grub. $\Delta s =$	
3		7		11		15		19			
4		8		12		16		20		Kl. koła	
<i>Tabela 3. Pomiar kąta przyporu koła zębatego mikrometrem tależykowym</i>											
Nr	W_{n+1}	Nr	W_{n+1}	Nr	W_{n+1}	Nr	W_{n+1}	Nr	W_{n+1}	Nr	W_{n+1}
1		2		3		4		5		6	
Wartości średnie z pomiarów						Wartość $\cos \alpha$			Kąt α		
$W_{n+1} =$			$W_n =$ (z tab. 2)								
<i>Tabela 4. Pomiar bicia uzębienia</i>											
Dane koła zębatego					Obliczone wartości						
$z =$; $m =$; $\alpha =$					$d_p =$; $\psi =$; $\bar{s} =$; $\alpha_r =$; $d_k =$						
Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Odchyłka Δr	
1		5		9		13		17			
2		6		10		14		18			
3		7		11		15		19			
4		8		12		16		20			
<i>Tabela 5. Pomiar podziałki zasadniczej</i>											
Dane koła zębatego: $z =$; $m =$; $\alpha =$											
Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Nr	Odczyt	Odchyłka Δt_p	
1		5		9		13		17			
2		6		10		14		18			
3		7		11		15		19			
4		8		12		16		20			
Nazwisko i imię studenta								Nr indeksu		Nr grupy	

Tablica XXVII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 14								
Tabela 1. Pomiar zarysów zębów kół zębatach na ewolwentomierzu								
Dane kół zębatach			Promień zasadniczy	Sprawdzany bok zęba	Powiększenie dług. boku zęba	Powiększenie błędu ewolwenty		
z	m	α	r_z , mm		V_b	V_a		
Korekta promienia zasadniczego				Rzeczywisty promień zasadniczy	Błąd zarysu	Klasa koła		
Wartości odczytane z wykr.		Poprawka promienia						
a , mm	b , mm	Δr_z , mm		r_{rz} , mm	f_{fr} , μm			
Tabela 2. Pomiar zarysu zęba dłutaka Fellowsa na ewolwentomierzu								
Dane dłutaka			Promień zasadniczy	Sprawdzany bok zęba	Powiększenie dług. boku zęba	Powiększenie błędu ewolwenty		
z	m	α	r_z , mm		V_b	V_a		
Korekta promienia zasadniczego				Rzeczywisty promień zasadniczy	Błąd zarysu	Klasa koła		
Wartości odczytane z wykr.		Poprawka promienia						
a , mm	b , mm	Δr_z , mm		r_{rz} , mm	f_{fr} , μm			
Tabela 3. Sprawdzenie współpracy kół zębatach								
Dane kół zębatach						Błędy współpracy (z wykresu)		
Koła I			Koła II			F''_{ir} , mm	f''_{ir} , mm	F''_{rr} , mm
z	m	α	z	m	α			
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu	Nr grupy	

Tablica XXVIII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 15									
<i>Tabela 1. Sprawdzenie prostoliniowości płaskownika za pomocą liniału krawędz.</i>									
Wartość szczeliny wzorcowej		Długość na której dokonano pomiaru			Odchyłka prostoliniowości Δ , mm			Klasa dokładności	
<i>Tabela 2. Sprawdzenie płaskości płyty przez pomiar odchyłeń od linii wzorcowej</i>									
Wymiary sprawdzanej płyty, mm		Wielkość a punktów podporu, mm			Wymiar stosów płytek wzorcowych, mm			Ilość punktów pomiarowych	
Zmierzona wartość w poszczególnych punktach pomiarowych								Klasa płyty	
<i>Tabela 3. Sprawdzenie płaskości płyty za pomocą liniału powierzchniowego</i>									
Miejsce pom.	Współrzędne		Liczba punktów przylegania	Miejsce pom.	Współrzędne		Liczba punktów przylegania	Klasa płaskości płyty	
	x	y			x	y			
A				D					
B				E					
C				F					
<i>Tabela 4. Określenie odchyłki prostoliniowości autokolimatorem</i>									
Miejsce pom.	Odczyt z autokolimatora	Miejsce pom.	Odczyt z autokolimatora	Miejsce pom.	Odczyt z autokolimatora	Klasa prostoliniowości			
A		D		G					
B		E		H					
C		F		I					
<i>Tabela 5. Pomiar błędu kołowości</i>									
Odczyt z czujnika przy pomiarze owalności				Odczyt z czujnika przy pomiarze graniastości				Klasa dokładności	
wsk. max.		wsk. min.	Δd	wsk. max.		wsk. min.	Δd		
<i>Tabela 6. Pomiar odchyłki walcowości</i>									
Pomiary średnic wałka w różnych przekrojach							Odchyłka w	Klasa dokładności	
							Rodzaj błędu		
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy	

Tablica XXIX

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 16									
<i>Tabela 1. Pomiar równoległości dwóch płaszczyzn</i>									
Odczyty dla płaszc. I				Odczyty dla płaszc. II				Max. różnica $\Delta p, \mu\text{m}$	Klasa dokładności
<i>Tabela 2. Pomiar równoległości osi dwóch otworów</i>									
Pomiar średnic				Pom. odległości		Oblicz. rozstaw.		Odch. równol.	Klasa dokładności
d_1	d_2	d_3	d_4	L_{1-2}	L_{3-4}	L_1	L_2	ΔL	
<i>Tabela 3. Pomiar prostokątności osi otworu i płaszczyzny</i>									
Największa odległość mierzonej powierzchni			Wielkość zmierzonej szczeliny			Różnica kąta od 90° $\Delta\alpha_{90}$		Klasa dokładności	
<i>Tabela 4. Pomiar prostokątności dwóch płaszczyzn</i>									
Wysokość na której dokonano pomiaru			Odchyłka wskazań Δr			Różnica kąta od 90° $\Delta\alpha_{90}$		Klasa dokładności	
<i>Tabela 5. Pomiar zukosowania dwóch otworów</i>									
Pomiar średnic wałków kontrol.				Pomiar wysokości				Odległość na której dokonano pomiarów L	Schematyczny rys. zukosowania
d_1	d_2	d_3	d_4	L_1	L_2	L_3	L_4		
Błąd równolegl. osi do podstawy			Zukosowanie osi			Kąt między osiami		Klasa dokładności	
oś I		oś II	Δz			α			
<i>Tabela 6. Pomiar bicia poprzecznego i wzdłużnego wałka stopniowego</i>									
Wskazania czujnika przy pom. bicia poprzecznego					Wskazania czujnika przy pom. bicia wzdłużnego				
wart. max.		wart. min.		Δd	wart. max.		wart. min.		Δc
Klasa dokładności					Klasa dokładności				
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy	

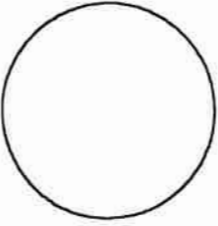
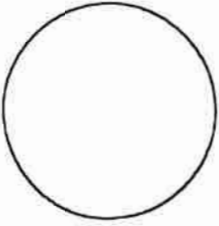
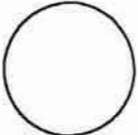
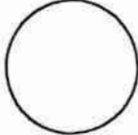
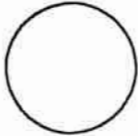
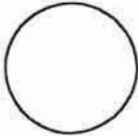
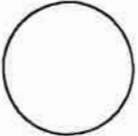
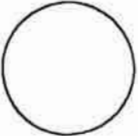
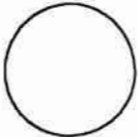
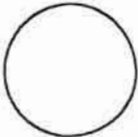
Tablica XXX

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 17														
Tabela 1. Pomiar średnicy 40 szt. wałeczków														
Nr	x_i	Nr	x_i	Nr	x_i	Nr	x_i	Nr	x_i	Nr	x_i	Nr	x_i	
1		7		13		19		25		31		37		
2		8		14		20		26		32		38		
3		9		15		21		27		33		39		
4		10		16		22		28		34		40		
5		11		17		23		29		35				
6		12		18		24		30		36				
Tabela 2. Obliczenia statystyczne														
Nr przedziału	Przedział	Wartość średnia w przedziale	Liczność występowania danego wym.	Odchylenie od wartości środkowej	$n_i(x_i - x_0)$				$(x_i - x_0)^2$		$n_i(x_i - x_0)^2$			
		x_{i0}	n_i	$\Delta_i = x_{i0} - x_0$	1	2	3	4	5	6	7	8		
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
		Σ												
Częstotliwość		Nr przedziału		1	2	3	4	5	6	7	8			
		$h_i = \frac{n_i}{n}$												
		$h_i \%$												
Tabela 3. Kontrola czynna														
Nr próbki	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	\bar{x}	R		
											\bar{x}	\bar{R}		
Nazwisko i imię studenta									Nr indeksu		Nr grupy			

Tablica XXXI

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 18							
Tabela 1. Sprawdzenie suwmiarki							
Suwmiarka nr inw.		Typ	noniusz		zakres		
Stan ogólny:							
Wielkości sprawdzane		Nr pomiaru				Klasa dokładności	Wartość dopuszcz.
		Błąd, μm					
		1	2	3	średnio		
Płaskość i prostoliniowość powierzchni i krawędzi pomiarowych	szczęk zewnętrz.						
	szczęk wewnętrz.						
	czoła głębokościomie.						
Prześwit po zwarciu szczęk							
Równoległość powierzchni i krawędzi							
Łączna grubość szczęk							
Maksymalny błąd wskazań	+						
	-						
Tabela 2. Sprawdzenie mikrometru							
Mikrometr nr inw.		typ	zakres pomiarowy				
Stan ogólny: nacisk pomiarowy, N							
Wymiar płytek wzorcowych mm		Nr pomiaru				Klasa dokładności	Wartość dopuszcz.
		Błąd, μm					
		1	2	3	średnio		
N	=						
N + 5	=						
N + 10	=						
N + 15	=						
N + 15,12	=						
N + 15,25	=						
N + 15,37	=						
N + 20	=						
N + 25	=						

Tablica XXXI (cd.)

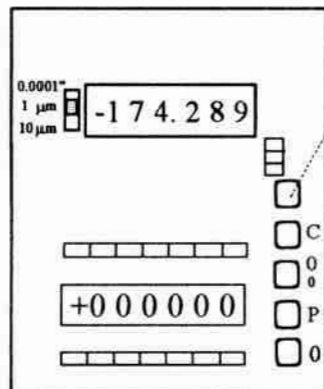
Sprawdzenie płaskości i równoległości powierzchni pomiarowych			
Płytki płasko-równoległe		Nr	klasa
Lupa		Nr	powiększenie
Sprawdzenie płaskości			
 $m = \dots\dots\dots$		 $m = \dots\dots\dots$	
Obraz powierzchni wrzeciona		Obraz powierzchni kowadzelka	
Błąd płaskości wrzeciona $P_w = \dots\dots\dots \mu\text{m}$		Błąd płaskości kowadzelka $P_k = \dots\dots\dots \mu\text{m}$	
Klasa dokładności ze względu na płaskość:			
Sprawdzenie równoległości			
Wymiar płytki	Obraz powierzchni		
	wrzeciona		kowadzelka
	 $m_1 = \dots\dots\dots$		 $m_2 = \dots\dots\dots$
	 $m_1 = \dots\dots\dots$		 $m_2 = \dots\dots\dots$
	 $m_1 = \dots\dots\dots$		 $m_2 = \dots\dots\dots$
	 $m_1 = \dots\dots\dots$		 $m_2 = \dots\dots\dots$
Wymiar płytki			
Błąd równoległości			
Klasa dokładności ze względu na błąd równoległości:			
Mikrometr zaliczono do klasy:			

Tablica XXXI (cd.)

Tabela 3. Sprawdzenie czujnika zegarowego										
Czujnik nr inw.	typ			zakres pomiarowy						
Stan ogólny:			nacisk pomiarowy, N							
Śruba mikrometryczna										
Sprawdzany punkt zakresu pomiarowego	Błąd, mm						Błąd średni	Błąd maksymalny		
	1	2	3	4	5	6				
1 mm										
3 mm										
5 mm										
7 mm										
9 mm										
Wskazania pełne mm	Wskazania częściowe, mm									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	Błędy wskazań, μm									
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
Czujnik zakwalifikowano do klasy:										
Nazwisko i imię studenta						Nr indeksu		Nr grupy		

Tablica XXXII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 19



↓ Tu napisz jakie są funkcje poszczególnych przycisków ↓

.....

.....

C

0

o

P

0

↑ Tu napisz jakie są funkcje poszczególnych przycisków ↑

Tabela 1

Zakres pomiarowy przy stałym położeniu końcówki pomiarowej mm	Odległość osi otworów, w których mocuje się końcówkę pomiarową, mm	Zakres pomiarowy całkowity, mm	Wartości działki elementarnej, mm ; μm ; "
		 mm
		 μm
		 "

Tabela 2

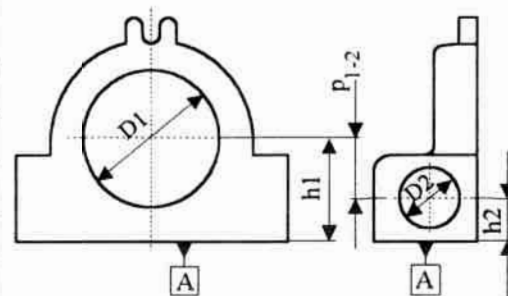
Nr pomiaru	1	2	3	4	5
Wynik pomiaru mm					
Wynik pomiaru "					

Tabela 3

Odległość p ₁₋₂ mm	Odległość p ₁₋₃ mm	Odległość p ₂₋₃ mm

Tabela 4

Nr otworu n	1	2	3
Średnica D _n , mm			
Odległość h _n środka otworu od podstawy A, mm			



Nazwisko i imię studenta	Nr indeksu	Nr grupy
--------------------------	------------	----------

Literatura

1. Praca zbiorowa. Poradnik metrologa warsztatowego. Wyd. 2. Warszawa: WNT 1973.
2. Praca zbiorowa pod red. *E. Ratajczyka*. Laboratorium pomiarów wielkości geometrycznych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Wyd. II. Warszawa, 1980.
3. *Jakubiec W., Malinowski J.*: Metrologia wielkości geometrycznych. Warszawa: WNT 1993.
4. *Ochęduszko K.*: Koła zębate, Tom 3, Sprawdzanie. Wyd. 5. Warszawa: WNT 1972.
5. *Sadowski A., Miernik E., Sobol J.*: Metrologia długości i kąta. Warszawa: WNT 1978.
6. *Ratajczyk E.*: Współrzędnościowa technika pomiarowa - maszyny i roboty pomiarowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, 1994.

Tablica XXXIII

KARTA POMIARÓW, ĆWICZENIE nr 20

Tabela 1

Ilość osi układu współrzędnych, wzdłuż których można dokonać pomiaru	Zakres pomiarowy dla osi X mm	Zakres pomiarowy dla osi Y mm	Zakres pomiarowy dla osi Z mm	Rozdzielczość dla każdej osi μm	Błąd pomiaru μm

Tabela 2

Nr punktu	Wyniki pomiarów mm	
	X	Y
1		
2		
3		
4		
$d = D - D_1,$ Średnica kulki $d =$ mm		

Tabela 3

Nr otworu	1	2	3
X1			
Y1			
X2			
Y2			
X3			
Y3			
X4			
Y4			

Nazwisko i imię studenta

Nr indeksu

Nr grupy