



MINISTERSTWO EDUKACJI
i NAUKI



Janusz Górny

Wykonywanie pomiarów warsztatowych 311[20].O4.01

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2005**

Recenzenci:

mgr inż. Małgorzata Kiebała

mgr inż. Igor Lange

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr inż. Zbigniew Kramek

Korekta:

mgr Edyta Koziół

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[20].O4.01
Wykonywanie pomiarów warsztatowych w zawodzie 311[20] technik mechanik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	6
3. Cele kształcenia	7
4. Materiał nauczania	8
4.1. Zamienność części w budowie maszyn	8
4.1.1. Materiał nauczania	8
4.1.2. Pytania sprawdzające	9
4.1.3. Ćwiczenia	9
4.1.4. Sprawdzian postępów	10
4.2. Wymiary, tolerancje, pasowania i chropowatość powierzchni	10
4.2.1. Materiał nauczania	10
4.2.2. Pytania sprawdzające	22
4.2.3. Ćwiczenia	22
4.2.4. Sprawdzian postępów	24
4.3. Podstawy teoretyczne wykonywania pomiarów	24
4.3.1. Materiał nauczania	24
4.3.2. Pytania sprawdzające	28
4.3.3. Ćwiczenia	28
4.3.4. Sprawdzian postępów	28
4.4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych	29
4.4.1. Materiał nauczania	29
4.4.2. Pytania sprawdzające	42
4.4.3. Ćwiczenia	42
4.4.4. Sprawdzian postępów	43
4.5. Użytkowanie, dobór, konserwacja i przechowywanie przyrządów pomiarowych	44
4.5.1. Materiał nauczania	44
4.5.2. Pytania sprawdzające	45
4.5.3. Ćwiczenia	45
4.5.4. Sprawdzian postępów	46
4.6. Pomiar wielkości geometrycznych	47
4.6.1. Materiał nauczania	47
4.6.2. Pytania sprawdzające	67
4.6.3. Ćwiczenia	67
4.6.4. Sprawdzian postępów	69
4.7. Zasady bhp podczas wykonywania pomiarów	70
4.7.1. Materiał nauczania	70
4.7.2. Pytania sprawdzające	70
4.7.3. Ćwiczenia	70
4.7.4. Sprawdzian postępów	71
5. Sprawdzian osiągnięć	72
6. Literatura	77

1. WPROWADZENIE

Poradnik, który Ci przekazujemy pomoże wzbogacić Twoją wiedzę oraz ukształtować umiejętności z zakresu wykonywania pomiarów warsztatowych.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, czyli wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia, czyli wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas nauki tej jednostki modułowej,
- materiał nauczania – podstawowe informacje niezbędne do opanowania treści jednostki modułowej,
- pytania sprawdzające – odpowiadając na nie sam sprawdzisz siebie czy możesz przystąpić do wykonywania ćwiczeń,
- ćwiczenia pomogą Ci utrwalić wiedzę oraz ukształtować umiejętności,
- sprawdzian osiągnięć – przykładowy zestaw zadań. Pozytywny wynik sprawdzianu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas lekcji i że nabyłeś wiedzę i umiejętności z zakresu tej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą,
- sprawdzian postępów –upewni Cię, czy zrozumiałeś poszczególne partie materiału nauczania,

Z rozdziałem Pytania sprawdzające możesz zapoznać się:

- przed przystąpieniem do rozdziału Materiał nauczania – poznając przy tej okazji wymagania wynikające z zawodu, a po przyswojeniu wskazanych treści, odpowiadając na te pytania sprawdzisz stan swojej gotowości do wykonywania ćwiczeń,
- po zapoznaniu się z rozdziałem Materiał nauczania, by sprawdzić stan swojej wiedzy, która będzie Ci potrzebna do wykonywania ćwiczeń.

Wykonując ćwiczenia przedstawione w poradniku lub zaproponowane przez nauczyciela, będziesz kształtował umiejętności z zakresu pomiarów warsztatowych.

Po wykonaniu zaplanowanych ćwiczeń, sprawdź poziom swoich postępów wykonując Sprawdzian postępów.

W tym celu:

- przeczytaj pytania i odpowiedz na nie,
- podaj odpowiedź wstawiając X w podane miejsce,
 - wpisz TAK jeśli umiesz odpowiedzieć na pytania ,
 - wpisz NIE jeśli nie rozumiesz lub nie znasz odpowiedzi.

Odpowiedzi NIE wskazują braki w Twojej wiedzy, informują Cię również, jakich zagadnień jeszcze dobrze nie poznałeś. Oznacza to także powrót do treści, które nie są dostatecznie opanowane.

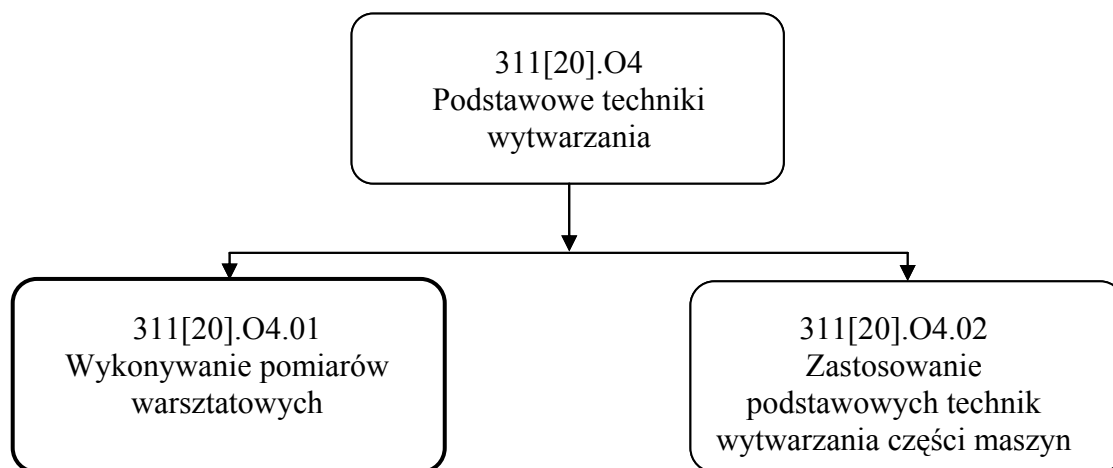
Poznanie przez Ciebie wszystkich lub określonej części wiadomości będzie stanowiło dla nauczyciela podstawę przeprowadzenia sprawdzianu poziomu przyswojonych wiadomości i ukształtowanych umiejętności. W tym celu nauczyciel posłuży się zadaniami testowymi.

W rozdziale 5 tego poradnika jest zamieszczony przykładowy test, zawiera on:

- instrukcję, w której omówiono tok postępowania podczas przeprowadzania sprawdzianu,
- przykładową kartę odpowiedzi, w której, zakreśl poprawne rozwiązania do poszczególnych zadań.

Bezpieczeństwo i higiena pracy

W czasie pobytu w pracowni musisz przestrzegać regulaminów, przepisów bhp i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych, wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Przepisy te poznasz podczas trwania nauki.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinieneś umieć:

- stosować układ jednostek SI,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu fizyki,
- obsługiwać komputer na poziomie podstawowym,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- selekcjonować, porządkować i przechowywać informacje,
- wykonywać proste działania matematyczne,
- posługiwać się kalkulatorem,
- oceniać jakość wykonywanej pracy,
- interpretować związki wyrażone za pomocą wzorów, wykresów, schematów, diagramów, tabel,
- znać i przestrzegać przepisy bhp,
- czytać rysunki wykonawcze części maszyn.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku procesu kształcenia powinieneś umieć:

- rozróżnić rodzaje wymiarów liniowych,
- określić wymiar tolerowany,
- dokonać zamiany tolerowania symbolowego na liczbowe,
- określić pasowanie na podstawie oznaczenia i wartości luzów,
- wyjaśnić pojęcie mierzenia i sprawdzania,
- rozróżnić metody pomiarowe,
- sklasyfikować przyrządy pomiarowe,
- określić właściwości metrologiczne przyrządów pomiarowych,
- zorganizować stanowisko do pomiarów zgodnie z przepisami bhp i wymaganiami ergonomii,
- dobrać przyrządy pomiarowe do pomiaru i sprawdzania części maszyn w zależności od kształtu oraz dokładności wykonania,
- sprawdzić luzy, promienie zaokrągleń, kąt prosty oraz płaskość i prostoliniowość powierzchni,
- wykonać z różną dokładnością pomiar średnic zewnętrznych i wewnętrznych, długości, wysokości i głębokości elementów maszyn,
- wykonać pomiar kątów,
- wykonać pomiar chropowatości powierzchni,
- zinterpretować wyniki pomiarów,
- opracować wyniki pomiarów,
- zakonserwować i przechować przyrządy pomiarowe,
- posłużyć się normami PN-ISO, dokumentacją techniczną,
- zastosować przepisy bhp podczas pomiarów.

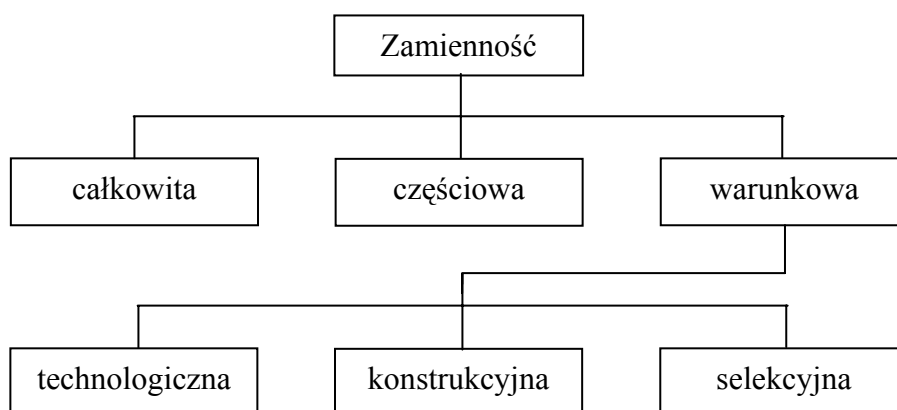
4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Zamiennność części w budowie maszyn

4.1.1. Materiał nauczania

Zamiennność części jest to ich cecha umożliwiająca składanie w zespół (podczas montażu lub naprawy) określonych części maszyn, wykonanych według założonych wymiarów, lecz niezależnie od siebie (na przykład w różnych zakładach produkcyjnych).

Rodzaje zamienności:



Zamiennność całkowita (stuprocentowa) polega na takim tolerowaniu montowanych wymiarów, aby nawet przy najbardziej niekorzystnym zbiegu wartości odchyłek wykonawczych dane części maszyn można było złożyć w zespoły bez dodatkowych czynności.

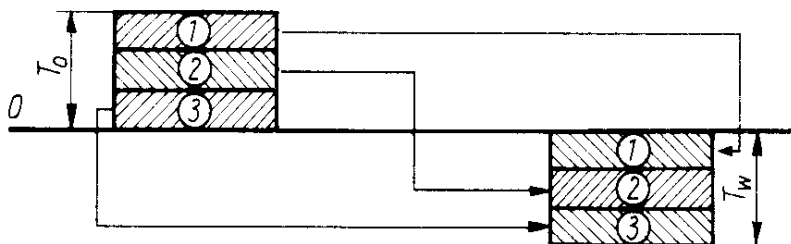
Przy zamienności częściowej (procentowej) pewnej liczby części, zwykle nieznaczej, nie można prawidłowo złożyć w zespoły, ponieważ tolerancje wymiarów mających wpływ na montaż zostały powiększone w stosunku do tolerancji, które by zapewniały zamiennność całkowitą.

Zamiennność częściowa jest stosowana w produkcji masowej, gdy straty z powodu niemożności zmontowania pewnej liczby zespołów są mniejsze od zysku wynikłego z obniżenia kosztów wykonania części o zwiększonych tolerancjach.

Zamiennność technologiczna wymaga przeprowadzenia dodatkowej (lub przewidzianej) obróbki w celu usunięcia niekorzystnego zbiegu odchyłek wymiarów w danym zespole.

W zamienności konstrukcyjnej niekorzystne skojarzenie odchyłek kompensuje się (w sposób ciągły lub skokowy) przez zmianę położenia jednej części w stosunku do drugiej.

Zamiennność selekcyjna polega na podziale części na grupy selekcyjne (rys.1) o węższych tolerancjach i odpowiednim kojarzeniu tych grup. Dzięki temu tolerancja pasowania połączonych grup jest odpowiednio mniejsza.



Rys. 1. Kojarzenie odpowiednich grup selekcyjnych otworów i wałków

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega zamienność części w budowie maszyn?
3. Wymień podstawowe rodzaje zamienności części.
4. Co to są grupy selekcyjne?
5. Na czym polega zamienność technologiczna części?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobierz elementy z odpowiednich grup selekcyjnych?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować współpracujące elementy,
- 2) zidentyfikować tolerowane wymiary,
- 3) na podstawie dokumentacji technologicznej przydzielić elementy do grup selekcyjnych,
- 4) dobrać elementy z odpowiednich grup selekcyjnych,
- 5) połączyć elementy,
- 6) sprawdzić jakość połączenia,
- 7) krótko uzasadnić dobór.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- współpracujące elementy wykonane w różnych grupach selekcyjnych,
- narzędzia pomiarowe,
- dokumentacja technologiczna, poradniki,
- Polska Norma,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) wyjaśnić, na czym polega zasada zamienności części w budowie maszyn?
- 2) wymienić podstawowe rodzaje zamienności części?
- 3) dobrać odpowiednie elementy z grup selekcyjnych?
- 4) uzasadnić celowość stosowania zamienności częściowej?

Tak	Nie
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.2. Wymiary, tolerancje, pasowania i chropowatość powierzchni

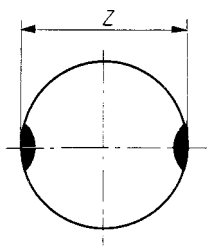
4.2.1. Materiał nauczania

Rodzaje wymiarów

Wymiary, którymi opisuje się na rysunkach technicznych postać geometryczną części maszyn, dzieli się na cztery rodzaje:

- wymiary zewnętrzne,
- wymiary wewnętrzne,
- wymiary mieszane,
- wymiary pośrednie.

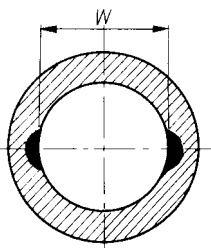
Wymiar zewnętrzny Z jest to odległość elementów powierzchni, między którymi ich bezpośrednie sąsiedztwo jest wypełnione materiałem.



Rys. 2. Wymiary zewnętrzne np.: średnica wałka, długość wałka, grubość blachy

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

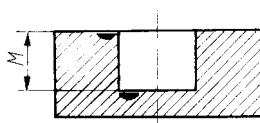
Wymiar wewnętrzny W jest to odległość elementów powierzchni, na zewnątrz których ich bezpośrednie sąsiedztwo jest wypełnione materiałem



Rys. 3. Wymiary wewnętrzne np.: średnica otworu, szerokość rowka, rozwartość klucza do nakrętek

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wymiar mieszany M jest to odległość elementów powierzchni, między którymi bezpośrednie sąsiedztwo jednego z nich jest wypełnione materiałem, a bezpośrednie sąsiedztwo drugiego jest wypełnione materiałem na zewnątrz.



Rys. 4. Wymiary mieszane np.: głębokość otworu nieprzelotowego, głębokość rowka, wysokość występu
Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wymiar pośredni P jest to odległość między osiami lub płaszczyznami symetrii albo między osią lub płaszczyzną symetrii a takimi elementami geometrycznymi przedmiotu, jak powierzchnie, krawędzie lub punkty.



Rys. 5. Wymiar pośredni np.: odległość osi symetrii
Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wymiar pośredni jest rodzajem wymiaru, którego pomiar można wykonać tylko metodą pomiarową pośrednią.

Podstawowe pojęcia z zakresu wymiarów, tolerancji i pasowań są przedmiotem normy PN-EN 20286-1.

Wymiary tolerowane

Wymiar tolerowany określają jednoznacznie dwa wymiary graniczne: wymiar górny B i wymiar dolny A.

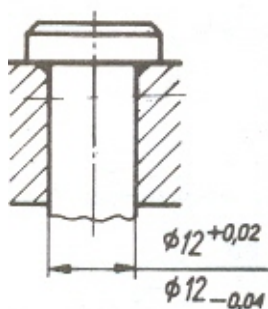
Wymiary graniczne są to dwa wymiary, których nie może przekroczyć zmierzony wymiar produktu, jeżeli ma on być uznany jako poprawnie wykonany.

Wymiarem górnym B nazywa się większy wymiar graniczny,

Wymiarem dolnym A nazywa się mniejszy wymiar graniczny,

Spełnienie warunku $A \leq \text{wymiar zmierzony} \leq B$ świadczy, że wymiar wyrobu został wykonany zgodnie z założeniami konstruktora.

Podanie wymiarów granicznych w rysunku technicznym polega na umieszczeniu nad linią wymiarową wymiarów granicznych: dolnego i górnego. Wymiar górny wpisuje się nad wymiarem dolnym.



Rys. 6. Podanie wymiarów granicznych
Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wymiar tolerowany liczbowo składa się z trzech wymiarów wyrażonych liczbami: wymiaru nominalnego D oraz odchyłek granicznych – górnej (es, ES) i dolnej (ei, EI). Małymi literami (es, ei) oznacza się odchyłki graniczne wymiarów zewnętrznych, wielkimi (ES, EI) – wymiarów wewnętrznych. Wymiar górny wałka oznacza się B_w , otworu B_o , wymiar dolny wałka A_w , otworu A_o .

Wymiar nominalny D jest wymiarem wyjściowym, względem którego określa się odchyłki.

Odchyłka górna (es, ES) jest różnicą algebraiczną między wymiarem górnym B i odpowiadającym mu wymiarem nominalnym D .

$$es = B_w - D \text{ oraz } ES = B_o - D$$

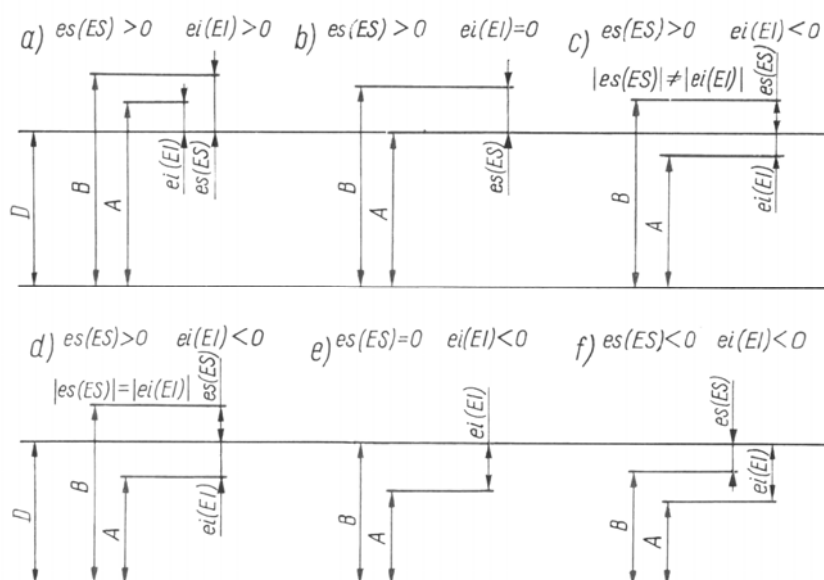
Odchyłka dolna (ei, EI) jest różnicą algebraiczną między wymiarem dolnym A i odpowiadającym mu wymiarem nominalnym D .

$$ei = A_w - D \text{ oraz } EI = A_o - D$$

Ponieważ wymiar nominalny D może być mniejszy, równy lub większy od każdego z wymiarów granicznych (B, A), odchyłki graniczne mogą być ujemne, równe zero lub dodatnie.

Odchyłka zaobserwowana jest to różnica algebraiczna wymiaru zaobserwowanego i nominalnego.

Przy graficznym przedstawianiu odchyłek rysuje się linię zerową, której położenie odpowiada wymiarowi nominalnemu D . Dodatnie odchyłki zaznacza się powyżej linii zerowej, ujemne zaś – poniżej.



Rys. 7. Przykłady tolerancji wymiarów granicznych A i B za pomocą wymiaru nominalnego D oraz odchyłek es (ES) i ei (EI)

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wymiar górny B otrzymuje się przez algebraiczne dodanie do wymiaru nominalnego D odchyłki górnej (es, ES)

$$B = D + es(ES)$$

Wymiar dolny A otrzymuje się przez algebraiczne dodanie do wymiaru nominalnego D odchyłki dolnej (ei, EI)

$A = D + ei(EI)$ Wymiar nominalny wałka $D = 50 \text{ mm}$ graniczne odchyłki wynoszą:

odchyłka górna $es = -0,010 \text{ mm}$ odchyłka dolna $ei = -0,025 \text{ mm}$

Wymiar górny $B = D + es = 50 \text{ mm} - 0,010 \text{ mm} = 49,990 \text{ mm}$

Wymiar dolny $A = D + ei = 50 \text{ mm} - 0,025 \text{ mm} = 49,975 \text{ mm}$

Układ tolerancji i pasowań wałków i otworów

Wymiary normalne

W projektowaniu części maszyn wartości wymiarów nominalnych nie powinny być przyjmowane dowolnie, lecz wybierane z ciągów wymiarów normalnych. Ciągi te, zwane ciągami podstawowymi wymiarów normalnych i oznaczane $Ra5$, $Ra10$, $Ra20$ i $Ra40$, są podane w normie PN-78/M-02041.

Znormalizowanie wymiarów nominalnych miało na celu ograniczenie do minimum liczby narzędzi obróbkowych i sprawdzianów niezbędnych do wykonywania wałków i otworów.

Układ tolerancji wałków i otworów

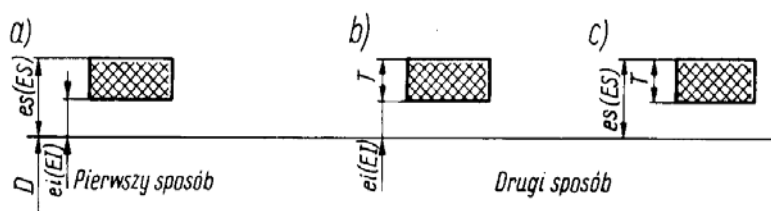
Wartość tolerancji jest zależna od wartości wykonywanego wymiaru elementu oraz sposobu obróbki. W celu znalezienia zależności między tolerancją i wykonywanym wymiarem części przeprowadzono wiele badań.

- Ustalone wartości tolerancji, w zależności od przedziału wymiarów nominalnych i klasy dokładności, zawierają normy PN-89/M-02102 (wymiary do 3150 mm) i PN-89/M-02103 (wymiary powyżej 3150 do 10 000 mm).
- Wprowadzono 20 klas dokładności wykonania wałków i otworów: 01; 0; 1; 2; 3;...;16; 17; 18.
- Tolerancje normalne odpowiednich klas dokładności oznaczają się: IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, ... IT16, IT17, IT18.
- Wartości tolerancji normalnych stosowane w budowie maszyn (klasy dokładności 5 – 18) tworzą – dla danego przedziału wymiarów – ciąg geometryczny o ilorazie około 1,6.

Klasyfikacja wałków i otworów. Tolerowanie symbolowe

Położenie pola tolerancji względem linii zerowej (wymiaru nominalnego) można określić w dwojaki sposób:

- 1) przez podanie odchyłek es (ES) i ei (EI),
- 2) przez podanie tolerancji IT i jednej z odchyłek.



Rys. 8. Określenie położenia pola tolerancji za pomocą: a) odchyłek es (ES) i ei (EI), b) tolerancji IT i odchyłki ei (EI), c) tolerancji IT i odchyłki es (ES)

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Klasyfikując wałki i otwory przyjęto drugi sposób określania położenia pól tolerancji. Po opracowaniu układu tolerancji (blok 5.2) znormalizowano niezbędne odchyłki es (ES) lub ei (EI), nazywając je odchyłkami podstawowymi. Brakującą odchyłkę, zwaną odchyłką niepodstawową, oblicza się wychodząc z zależności:

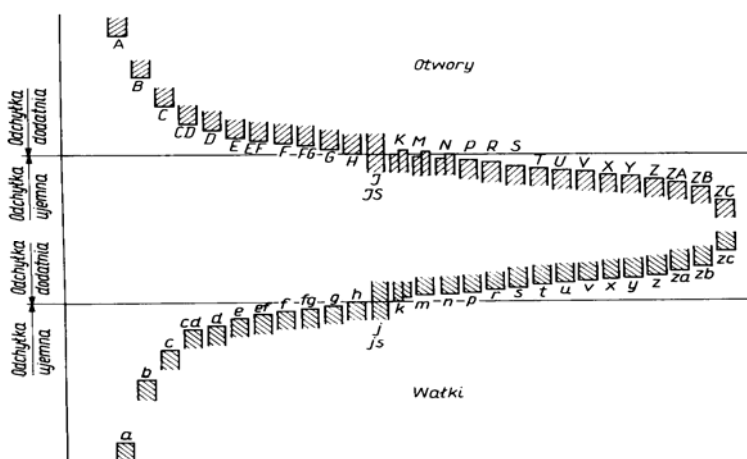
$$IT = es - ei \text{ oraz } IT = ES - EI$$

$$es = ei + IT \quad ES = EI + IT$$

oraz

$$ei = es - IT \quad EI = ES - IT$$

– Przy symbolowym zapisie wałków i otworów przyjęto (podobnie jak dla odchyłek) zasadę oznaczania wałków małymi literami alfabetu łacińskiego, otworów zaś – wielkimi (rys.8).



Rys. 9. Położenie pól tolerancji wałków i otworów

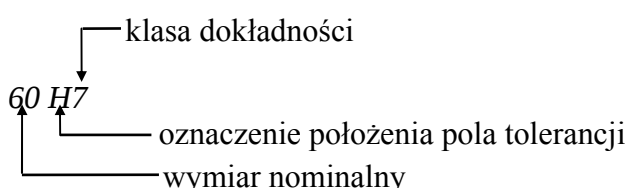
Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

- Ułatwienie zapamiętania powyższej zasady: otwory są wykonywane zwykle w większych przedmiotach, stąd oznaczanie ich wielkimi literami.
- Do jednoznacznego określania wymiaru tolerowanego niezbędne jest podanie:
 - wartości wymiaru nominalnego,
 - położenia pola tolerancji względem wymiaru nominalnego,
 - wartości tolerancji.

Oznaczeniom położenia pól tolerancji wałków i otworów przypisano wartości odchyłek podstawowych, które określają położenie pola tolerancji względem linii zerowej, samą zaś wartość tolerancji określa się przez podanie klasy dokładności.

Wartości odchyłek podstawowych zależą od rodzaju (oznaczenia) elementu i przedziału wymiarów, a tylko w kilku przypadkach także od klasy dokładności.

Oznaczenie – przy tolerowaniu symbolowym za wymiarem nominalnym wyrażonym liczbą umieszcza się oznaczenie położenia pola tolerancji (symbol literowy) oraz klasę dokładności (symbol cyfrowy).



Wałki i otwory normalne

W celu ograniczenia do niezbędnego minimum liczby używanych narzędzi obróbkowych oraz sprawdzianów wybrano na podstawie praktyki pola tolerancji najczęściej stosowanych wałków i otworów i nazwano je normalnymi. Pola tolerancji normalne są zestawione w PN-91/M-02105 (wymiary do 3150 mm) i PN-91/M-02106 (wymiary powyżej 3150 do 10 000 mm).

Spośród pól tolerancji normalnych wyodrębniono dalej pola tolerancji zalecane i uprzywilejowane. Przy wyborze należy w pierwszej kolejności korzystać z wałków i otworów uprzywilejowanych, następnie z normalnych zalecanych i dopiero w razie konieczności z pozostałych.

Układ pasowań normalnych wałków i otworów

W celu ograniczenia w pasowaniach liczby kombinacji pól tolerancji wałków i otworów przyjęto następujące założenia:

- pasowania tworzy się wyłącznie według zasad stałego otworu lub stałego wałka,
- w pasowaniach części maszyn stosuje się klasy dokładności od 5 do 12,
- dokładności wykonania wałków i otworów nie różnią się między sobą o więcej niż dwie klasy.

Pasowanie według zasady stałego otworu jest to pasowanie utworzone z otworem podstawowym, pasowanie według zasady stałego wałka jest pasowaniem utworzonym przez skojarzenie otworu z wałkiem podstawowym. Elementy podstawowe są tolerowane asymetrycznie w głąb materiału. Oznacza to, że wałki podstawowe mają odchyłki górne równe zeru, a otwory podstawowe – odchyłki dolne równe zeru.

Pasowania normalne są to pasowania powstałe przez kojarzenie niektórych z normalnych pól tolerancji otworów z niektórymi normalnymi polami tolerancji wałków.

Pasowania normalne podzielono na luźne, mieszane i ciasne.

- spośród pasowań normalnych wydzielono pasowania uprzywilejowane. Przy wyborze należy w pierwszej kolejności korzystać z pasowań uprzywilejowanych, a dopiero w razie konieczności – z pozostałych normalnych,
- tylko w uzasadnionych przypadkach dopuszcza się stosowanie pasowań innych,
- w celu ułatwienia posługiwania się elementami normalnymi obliczono i zestawiono w normach PN-91/M-02105 i PN-91/M-02106 odchyłki es (ES) i ei (EI) wszystkich wałków i otworów normalnych.

Przejsię z tolerowania symbolowego na tolerowanie liczbowe

W rysunku technicznym wymiary wałków i otworów normalnych wyraża się często w postaci tolerowanej symbolowo. Przejsię z wymiaru tolerowanego symbolowo na wymiar tolerowany liczbowo dokonuje się na podstawie PN-89/M-02102 i PN-91/M-02105.

Przykład. Przejsię z wymiaru $\varnothing 40_{f8}$ na wymiar tolerowany liczbowo.

- Element jest normalny.
- Po odczytaniu odchyłek otrzymuje się element (wałek) tolerowany liczbowo

$$\begin{array}{c} -0,025 \\ \varnothing 40 \\ -0,064 \end{array}$$

Obliczenie wymiarów granicznych danych wymiarów tolerowanych liczbowo

$$B = 40 + (-0,025) = 39,975 \text{ mm}$$

$$A = 40 + (-0,064) = 39,936 \text{ mm}$$

Podstawowa zasada tolerowania

Tolerowanie wymiarów w skojarzeniu z tolerancjami kształtu jest interpretowane w budowie maszyn w dwojaki sposób. Rozróżnia się tolerancję niezależną wymiaru i tolerancję zależną wymiaru.

Tolerancja niezależna wymiaru jest to tolerancja lokalnego wymiaru elementu (wałka lub otworu), która może być wykorzystana całkowicie, bez względu na istniejące odchyłki kształtu elementu rzeczywistego.

Tolerancja niezależna wymiaru nie ogranicza wartości odchyłek kształtu elementu, wymaga się jedynie, aby wymiary lokalne zaobserwowane były zawarte między wymiarami granicznymi A i B.

Jeżeli stosuje się tolerancję niezależną wymiaru, wówczas dopuszczalne odchyłki kształtu – jeśli zachodzi potrzeba – powinny być podane oddzielnie (rys. 9), przez indywidualne określenie wartości tolerancji kształtu (prostoliniowości osi lub tworzących, okrągłości, płaskości).

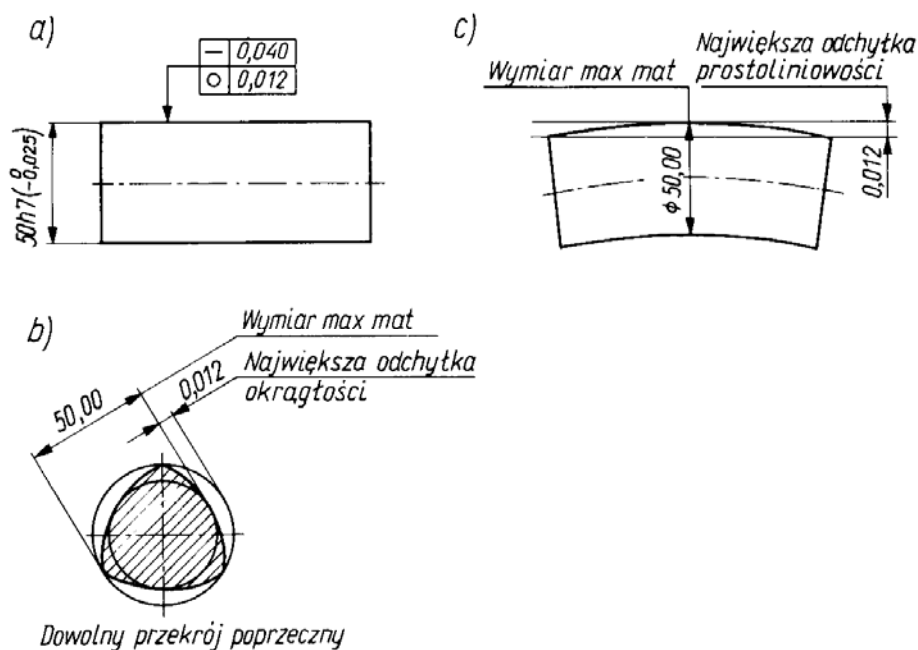
W przypadku tolerancji niezależnej wymiaru tolerancje odchyłek kształtu nie zależą od tolerancji wymiarów – mogą nawet przekraczać tolerancje wymiaru (rys.9).

Jeżeli na rysunku jest stosowane tolerowanie niezależne, to w wymaganiach technicznych lub w tabliczce rysunkowej należy umieścić oznaczenie tolerowania niezależnego w postaci zapisu:

Tolerowanie według PN-88/M-01142

Jest to podstawowa zasada tolerowania (lub zasada niezależności), według której wszystkie tolerancje nie wyróżnione na rysunku są tolerancjami niezależnymi.

Wyjaśnienie interpretacji tolerancji zależnej wymaga wcześniejszego zdefiniowania trzech pojęć.



Rys. 10. Przykład interpretacji tolerowania niezależnego wymiaru i kształtu: a) wałek wraz z tolerancją wymiaru (25 μm) i tolerancjami kształtu (tolerancja prostoliniowości 40 μm tolerancja okrągłości 12 μm , b) dowolny przekrój poprzeczny wałka z wymiarem max mat i największą dopuszczalną odchyłką okrągłości, c) wałek o wymiarze max mat i największą dopuszczalną odchyłką prostoliniowości

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

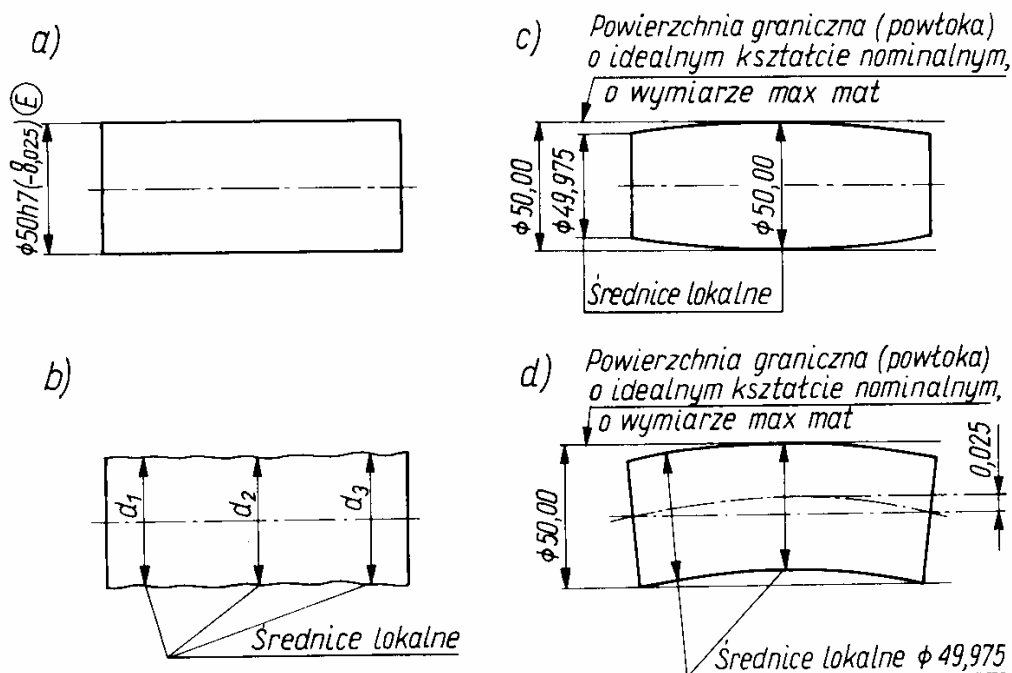
Wymiar maksimum materiału (wymiar max mat) jest to wymiar graniczny, któremu odpowiada największa ilość materiału danego elementu; w przypadku wałka jest to wymiar górny B_w , w przypadku otworu – wymiar dolny A_o .

Wymiar minimum materiału (wymiar min mat) jest to wymiar graniczny, któremu odpowiada najmniejsza ilość materiału danego elementu; w przypadku wałka jest to wymiar dolny A_w , w przypadku otworu – wymiar górny B_o .

Warunek powierzchni granicznej (warunek powłoki) – element rzeczywisty (wałek lub otwór) nie może przekraczać powierzchni granicznej (powłoki) o kształcie nominalnym, którą w zależności od kształtu rozpatrywanego elementu jest: walec o średnicy max mat lub para płaszczyzn równoległych o odległości równej max mat.

Oznaczenie warunku powierzchni granicznej (warunku powłoki; zasady powierzchni przylegających) polega na umieszczeniu znaku umownego za oznaczeniem pola tolerancji wymiaru, na przykład 50h7 E.

- warunek powierzchni granicznej © wprowadza – w przeciwieństwie do tolerancji niezależnej wymiaru – wzajemną zależność wymiaru i kształtu otworu lub wałka o nominalnym kształcie walca lub elementu ograniczonego parą płaszczyzn równoległych.
- warunek powierzchni granicznej © dotyczy na ogół otworów i wałków przewidzianych do wzajemnej współpracy, tworzących pasowania.
- tolerancja zależna wymiaru – tolerancja, która może być wykorzystywana przez wymiary lokalne w różnym stopniu, w zależności od odchyłek kształtu elementu rzeczywistego, przy spełnieniu warunku powierzchni granicznej.
- tolerancja zależna wymiaru ogranicza odchyłki kształtu elementu przez warunek powierzchni granicznej (rys. 10).
- w przypadku stosowania tolerancji zależnej wymiaru wymiary lokalne zaobserwowane elementu mogą wykorzystywać („konsumować”) tylko część tolerancji zależnej, nie wykorzystaną przez odchyłki kształtu elementu rzeczywistego. Interpretacja definicji tolerancji zależnej prowadzi do kilku wniosków:
 - żaden zaobserwowany wymiar lokalny wałka nie może być mniejszy od wymiaru min mat,
 - żaden zaobserwowany wymiar lokalny otworu nie może być większy od wymiaru min mat,
 - jeżeli wszystkie wymiary lokalne zaobserwowane są równe wymiarowi min mat, wówczas cała tolerancja wymiaru może być wykorzystana („skonsumowana” przez odchyłki kształtu elementu rzeczywistego,
 - jeżeli wszystkie wymiary lokalne zaobserwowane są równe wymiarowi max mat, wówczas element rzeczywisty powinien mieć kształt nominalny, odchyłki kształtu powinny być równe zeru.



Rys. 11. Przykład interpretacji tolerancji zależnej wymiaru: a) oznaczenie średnicy wałka na rysunku, b) każda średnica lokalna zaobserwowana powinna być zawarta między wymiarami granicznymi $B_w = 50,000 \text{ mm}$ i $A_w = 49,975 \text{ mm}$, c) i d) wałek powinien się mieścić wewnątrz pola tolerancji ($0,025 \text{ mm}$) w obrębie powierzchni granicznej (powłoki) walcowej o kształcie nominalnym i wymiarze max mat (50 mm)

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Według podstawowej zasady tolerowania tolerancje zależne wymiarów muszą być wyróżnione na rysunku technicznym indywidualnym oznaczeniem warunku powierzchni granicznej. Tolerancje wymiarów nie wyróżnione oznaczeniem E są tolerancjami niezależnymi.

Podstawową zasadę tolerowania podają PN-89/M-02101 i PN-88/M-01 142.

Odchyłki wymiarów nietolerowanych

Wymiarem nietolerowanym (swobodnym) nazywa się wymiar, którego rzeczywista wartość nie jest szczególnie istotna. Wymiar ten podaje się bez odchyłek, co nie oznacza, że może on zostać dowolnie wykonany. Rzeczywiste odchyłki wykonawcze powinny mieścić się w granicach odchyłek wymiarów nietolerowanych.

Odchyłki wymiarów nietolerowanych przyjmuje się, zgodnie z normą PN-78/M-02139, w klasach dokładności od 11 do 17 albo z szeregów odchyłek zaokrąglonych dokładnych, średnio dokładnych, zgrubnych lub bardzo zgrubnych. Klasę 11 stosuje się tylko dla przedziału wymiarów poniżej 1 mm .

Klasa dokładności 14 i szereg odchyłek zaokrąglonych średnio dokładnych są uprzywilejowane.

W przypadku wymiarów zewnętrznych i wewnętrznych odchyłki wymiarów nietolerowanych są skierowane od wymiaru nominalnego w głąb materiału, natomiast w przypadku wymiarów mieszanych i pośrednich obejmują symetrycznie wymiary nominalne.

Uwaga! W celu uniknięcia niejasności należy w dokumentacji technicznej produkowanych wyrobów podawać klasę dokładności lub szereg zaokrąglonych odchyłek, w granicach których powinny być wykonane wymiary nietolerowane. Brak takiej uwagi staje się zazwyczaj źródłem nieporozumień między producentem a odbiorcą.

Ogólne wytyczne doboru pasowań normalnych

Poniżej podano własności niektórych pasowań normalnych i przykłady ich zastosowania.

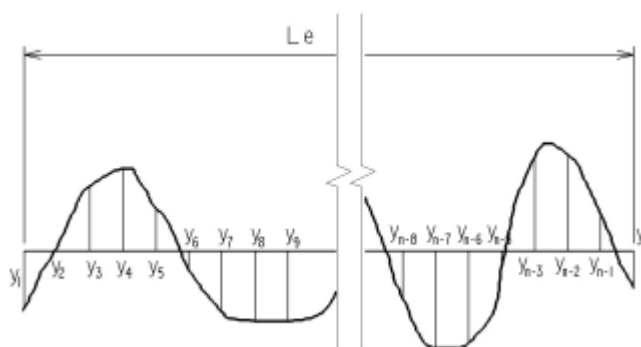
Tabela 1. Tabela połączeń Źródło: Praca zbiorowa pod redakcją Reymers B.: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1994

Oznaczenie pasowania	Cechy połączenia	Przykłady zastosowań
H8/u8 U8/h7 H8/s7 S7/h6 H7/r6 R7/h6	Części są mocno połączone z dużym wciskiem. Montaż wymaga dużych nacisków albo ogrzewania lub oziębiania części w celu uzyskania różnicy temperatur, a więc i zróżnicowania wymiarów. Połączenie jest wystarczająco trwałe i nie wymaga zabezpieczenia przed obrotem lub przesunięciem, nawet pod wpływem dużych sił	Łączenie z wałami kół zębatach, tarcz sprzęgieł, pierścieni oporowych; łączenie wieńców kół z tarczami, tulei z piastami kół i korpusami maszyn, czopów walcowych z gniazdami
H7/p6 P7/h6	Części są mocno połączone, montaż ich wymaga dużego nacisku, natomiast demontaż jest przewidziany tylko podczas głównych remontów. Stosuje się dodatkowe zabezpieczenie przed obrotem lub przesunięciem. Połączone części mogą być poddawane wstrząsom i uderzeniom	Koła zębata napędowe na wałach wstrząsarek lub łamaczy kamieni, tuleje łożyskowe, kołki, pierścienie ustalające
H7/n6 N7/h6	Montaż części oraz ich rozdzielanie są możliwe tylko pod dużym naciskiem. Ponieważ może wystąpić luz, części należy zabezpieczyć przed obrotem	Tuleje łożyskowe w narzędziach, wieńce kół z kołami, dźwignie i korby na wałach, tuleje w korpusach maszyn, koła zębata i sprzęgła na wałach
H7/m6 M7/h6	Części są mocno osadzone, łączenie i rozłączanie wykonuje się uderzając mocno ręcznym młotkiem. Część należy zabezpieczyć przed obrotem i przesunięciem	Wewnętrzne pierścienie łożysk tocznych, koła pasowe, koła zębata, tuleje, dźwignie osadzone na wałach; korby (w przypadku małych momentów), sworznie tłokowe, sworznie łączące, kołki ustalające

Chropowość powierzchni

Chropowość powierzchni – cecha powierzchni ciała stałego, oznacza rozpoznawalne, optyczne lub wyczuwalne mechanicznie nierówności powierzchni, nie wynikające z jej kształtu, lecz przynajmniej o jeden rząd wielkości drobniejsze. Chropowość w przeciwieństwie do innej podobnej cechy – falistości powierzchni, jest pojęciem odnoszącym się do nierówności o relatywnie małych odległościach wierzchołków. Wielkość chropowości powierzchni zależy od rodzaju materiału i przede wszystkim od rodzaju jego obróbki.

W budowie maszyn stosuje się dwa parametry określające:

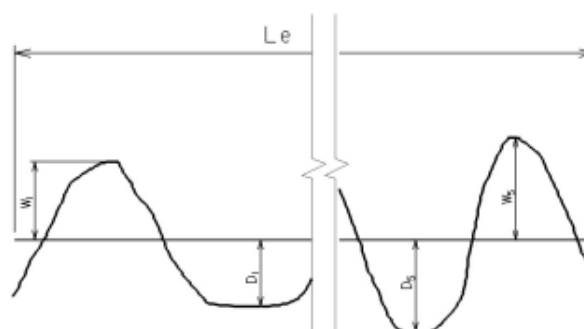


Rys. 12. Średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej – R_a

Źródło: Praca zbiorowa pod redakcją Reymera B.: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1994

$$R_a = \frac{1}{n} \sum y_n$$

Linia średnia jest teoretyczną linią, przy której suma kwadratów odległości wzniesień i wgłębień jest najmniejsza. Pomiaru dokonuje się na odcinku elementarnym Le określonym przez Polską Normę.



Rys. 13. Wysokość chropowości według dziesięciu punktów profilu – R_z

Źródło: Praca zbiorowa pod redakcją Reymera B.: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1994

Średnia arytmetyczna wysokość pięciu najwyższych wzniesień ponad linię średnią pomniejszona o średnią pięciu najniższych wgłębień poniżej linii średniej.

$$R_z = (W1 + (W2 + (W3 + (W4 + (W5/5 - (D1 + (D2 + (D3 + (D4 + (D5/5)))))))$$

Chropowość mierzona jest specjalnymi urządzeniami pomiarowymi. W budowie maszyn zaleca się pomiar dający chropowość R_a . Chropowość R_z jest dopuszczalną tylko wtedy, gdy niedostępne jest urządzenie do pomiarów chropowości R_a .

Polska Norma wyróżnia 14 klas chropowości. Każdej z nich odpowiada zakres chropowości R_a lub R_z .

Tabela 2. Tabela klas chropowości Źródło: Praca zbiorowa pod redakcją Reymera B.: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1994

Klasa chropowości	R_a	R_z	Rodzaj obróbki
1	80	320	zgrubna obróbka skrawaniem
2	40	160	zgrubna obróbka skrawaniem
3	20	80	dokładna obróbka skrawaniem
4	10	40	dokładna obróbka skrawaniem
5	5	20	wykańczająca obróbka skrawaniem
6	2.5	10	wykańczająca obróbka skrawaniem
7	1.25	6.3	szlifowanie zgrubne
8	0.63	3.2	szlifowanie zgrubne
9	0.32	1.6	szlifowanie wykańczające
10	0.16	0.8	docieranie
11	0.08	0.4	docieranie pastą diamentową
12	0.04	0.2	gładzenie
13	0.02	0.1	polerowanie
14	0.01	0.05	polerowanie



znak chropowości

Na rysunkach technicznych chropowość pokazuje się stosując znak chropowości wraz z pożądaną wartością R_a (jeżeli jest to R_z , musi być to wyraźnie zaznaczone). Znak chropowości umieszcza się w górnym rogu rysunku (odnosi się wtedy do wszystkich powierzchni elementu) lub/i wskazując specyficzną powierzchnię, do której się odnosi.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz podstawowe rodzaje wymiarów?
2. Co to jest tolerancja?
3. Co to są wymiary graniczne?
4. Co to są odchyłki?
5. Jakie znasz podstawowe rodzaje pasowań?
6. Ile jest klas dokładności?
7. Jakie parametry określają chropowatość powierzchni?
8. Ile jest klas chropowatości?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dla detalu przedstawionego na rysunku wykonawczym (dostarczonym przez nauczyciela) oblicz wymiary graniczne, odchyłki graniczne i tolerancje.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować dany wymiar,
- 2) zidentyfikować pole tolerancji i klasę dokładności,
- 3) odszukać w tablicach odchyłki dla danego wymiaru,
- 4) zapisać odchyłki,
- 5) obliczyć wymiary graniczne,
- 6) zapisać wyniki obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polska Norma,
- kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Oblicz luzy graniczne pasowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować dane wymiary,
- 2) zidentyfikować pola tolerancji i klasy dokładności,
- 3) odszukać w tablicach odchyłki dla danego wymiaru,
- 4) zapisać odchyłki,
- 5) obliczyć wartości maksymalnego luzu $S_{\max}$ i wcisku $N_{\max}$,
- 6) zapisać wyniki obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polska Norma,
- kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Oblicz tolerancję pasowania oraz luz lub wcisk średni łączonych elementów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować wymiary danych elementów,
- 2) zidentyfikować pola tolerancji i klasy dokładności wymiarów,
- 3) odszukać w tablicach odchyłki dla danego wymiaru,
- 4) zapisać odchyłki,
- 5) obliczyć wartości średniego luzu i wcisku,
- 6) zapisać wyniki obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polska Norma,
- kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 4

Dokonaj zamiany zapisu tolerowania symbolowego na liczbowe.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować wymiary danych elementów,
- 2) zidentyfikować pola tolerancji i klasy dokładności wymiarów,
- 3) odszukać w tablicach odchyłki dla danego wymiaru,
- 4) zapisać odchyłki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polska Norma,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 5

Określ wartości luzu lub wcisku po zmierzeniu łączonych elementów (Z pominięciem błędu pomiaru), tj. otworu i wałka.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować łączone elementy,
- 2) dobrać odpowiednie przyrządy pomiarowe i metodę pomiaru,
- 3) dokonać pomiaru elementów,
- 4) na podstawie uzyskanych wyników obliczyć wartość luzu bądź wcisku,
- 5) zidentyfikować rodzaj pasowania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- łączone elementy,
- narzędzia pomiarowe,
- kalkulator,

- Polska Norma,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) wymienić podstawowe rodzaje wymiarów?
- 2) wyjaśnić, co to jest tolerancja, odchyłka, wymiar graniczny?
- 3) wyjaśnić co to jest pasowanie i wymienić podstawowe rodzaje pasowań?
- 4) omówić podstawowe zasady tolerancji?
- 5) wyjaśnić co to jest chropowatość powierzchni i jakie parametry ją charakteryzują?

Tak Nie

☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.3. Podstawy teoretyczne wykonywania pomiarów

4.3.1. Materiał nauczania

Mierzenie i sprawdzanie

Celem pomiarów warsztatowych jest sprawdzenie prawidłowości wykonania przedmiotu zgodnie z rysunkiem technicznym.

Pomiarem nazywamy zespół czynności, które należy wykonać w celu określenia wartości wielkości mierzonej. W zakres czynności pomiarowych wchodzi przykładowo: przygotowanie przedmiotu do mierzenia, polegające na oczyszczeniu powierzchni z zanieczyszczeń, wzajemne ustawienie przedmiotu i narzędzia lub przyrządu pomiarowego umożliwiające dokonanie pomiaru, właściwy pomiar, odczytanie wyniku pomiaru i ustalenie błędu dokonanego pomiaru.

Sprawdzenie kształtu przedmiotu polega zazwyczaj na pomiarze długości krawędzi lub średnic, pomiarze kątów, to jest wzajemnego położenia płaszczyzn i krawędzi względem siebie, na określeniu chropowatości oraz odchyłek kształtu i położenia powierzchni. W procesie sprawdzania najczęściej stosowanymi narzędziami pomiarowymi są sprawdziany, gdyż umożliwiają skrócenie czasu pomiaru.

Metody i sposoby pomiarów

Pomiary polegają na porównaniu wielkości mierzalnych. Zależnie od zastosowanego przy tym sposobu porównywania można mówić o różnych metodach pomiarowych:

Metoda pomiarowa bezpośrednia, w której wynik pomiaru otrzymuje się przez odczytanie bezpośredniego wskazania narzędzia pomiarowego, wywzorcowanego w jednostkach miary mierzonej wielkości.

Przykład: mierzymy długość przymiarem kreskowym, kąt – kątomierzem czy wreszcie odczytujemy wskazanie temperatury na skali termometru.

Nie ma przy tym znaczenia, czy w samym narzędziu pomiarowym – zgodnie z zasadą działania – zachodzi przekształcenie wielkości mierzonej na inną wielkość fizyczną związaną z wielkością mierzoną zależnością funkcjonalną jak to ma miejsce np. w termometrze, w którym zmiany temperatury powodują proporcjonalne zmiany długości słupka rtęci odczytywane na kreskowej podziałce.

Metoda pomiarowa pośrednia, w której mierzy się bezpośrednio inne wielkości, a wyniki oblicza się, opierając się na określonej znanej zależności tych wielkości od wielkości, której wartość miała być wyznaczona.

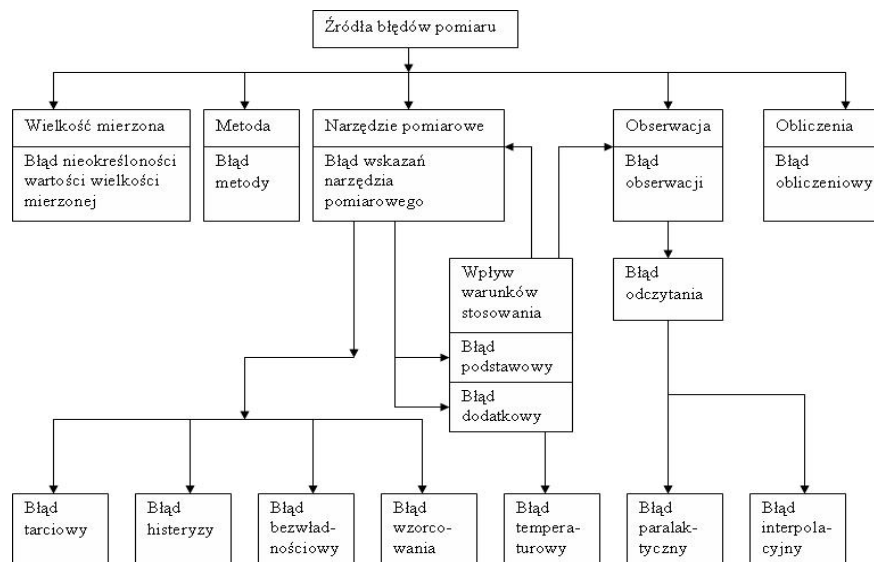
Przykład: pomiar objętości czy powierzchni, w którym wynik oblicza się z bezpośrednich pomiarów wymiarów geometrycznych (wysokości, długości, szerokości), pomiar kąta przez wyliczenie jego wartości z zależności trygonometrycznych, po określeniu pomiarami bezpośrednimi odpowiednich długości ramion tego kąta.

Metoda pomiarowa podstawowa. Jeżeli pomiar objętości przeprowadza się mierząc wymiary zbiornika (wysokość zbiornika oraz długość i szerokość podstawy dla prostopadłościanu lub dla walca średnicę, z której oblicza się powierzchnię pola podstawy) albo pomiar ciśnienia przeprowadza się mierząc siłę F i pole powierzchni, a następnie wylicza się poszukiwaną wartość objętości czy ciśnienia ze znanych zależności definicyjnych, będzie to zastosowanie bezwzględnej metody pomiarowej lub pomiar bezwzględny.

Metoda pomiarowa porównawcza oparta jest na porównaniu mierzonej wartości ze znaną wartością tej samej wielkości.

Przykład: jeżeli zmierzy się objętość lub ciśnienie porównując je z inną znaną objętością (na przykład ile litrów wody zmieści się w zbiorniku o zmierzonej objętości lub jakie ciśnienie wskaże manometr uprzednio wywzorcowany za pomocą znanego ciśnienia, to będzie to pomiar metodą porównawczą. Przy pomiarze wielkości podstawowych, na przykład długości, przez porównywanie z inną długością, pomiar bezpośredni jest równocześnie pomiarem porównawczym. Rozróżnić można kilka odmian metody pomiarowej porównawczej jak na przykład:

- metoda bezpośredniego porównywania, w której całą wartość mierzonej wielkości porównujemy ze znaną wartością tej wielkości, określamy ile razy jednostka miary mieści się w wartości wielkości mierzonej. Przykładem może być pomiar długości przymiarem kreskowym. Metoda ta wymaga użycia narzędzi pomiarowych, których zakres pomiarowy jest mniejszy od wartości wielkości mierzonej.
- metoda pomiarowa różnicowa polega na pomiarze niewielkiej różnicy pomiędzy mierzoną i znaną wartością tej samej wielkości. Typowym przykładem będzie tu zastosowanie komparatorów czujnikowych, nastawionych na określony wymiar za pomocą płytki wzorcowej i następnie użytych do określenia odchyłek wymiarów kontrolowanych przedmiotów, przy czym wartość tych odchyłek odczytuje się wprost ze wskazań czujnika.



Jakubiec W. Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1993

Błędy pomiaru

Mierząc wielkość fizyczną o rzeczywistym wymiarze I_r otrzymujemy wartość wskazania przyrządu pomiarowego I_z zwaną wartością zmierzoną $I_z \neq I_r$, gdyż każde narzędzie pomiarowe obciążone jest błędem wykonania, co rzutuje na dokładność odczytu.

Różnica:

$$e_b = I_r - I_z \text{ błąd bezwzględny.}$$

Stosunek:

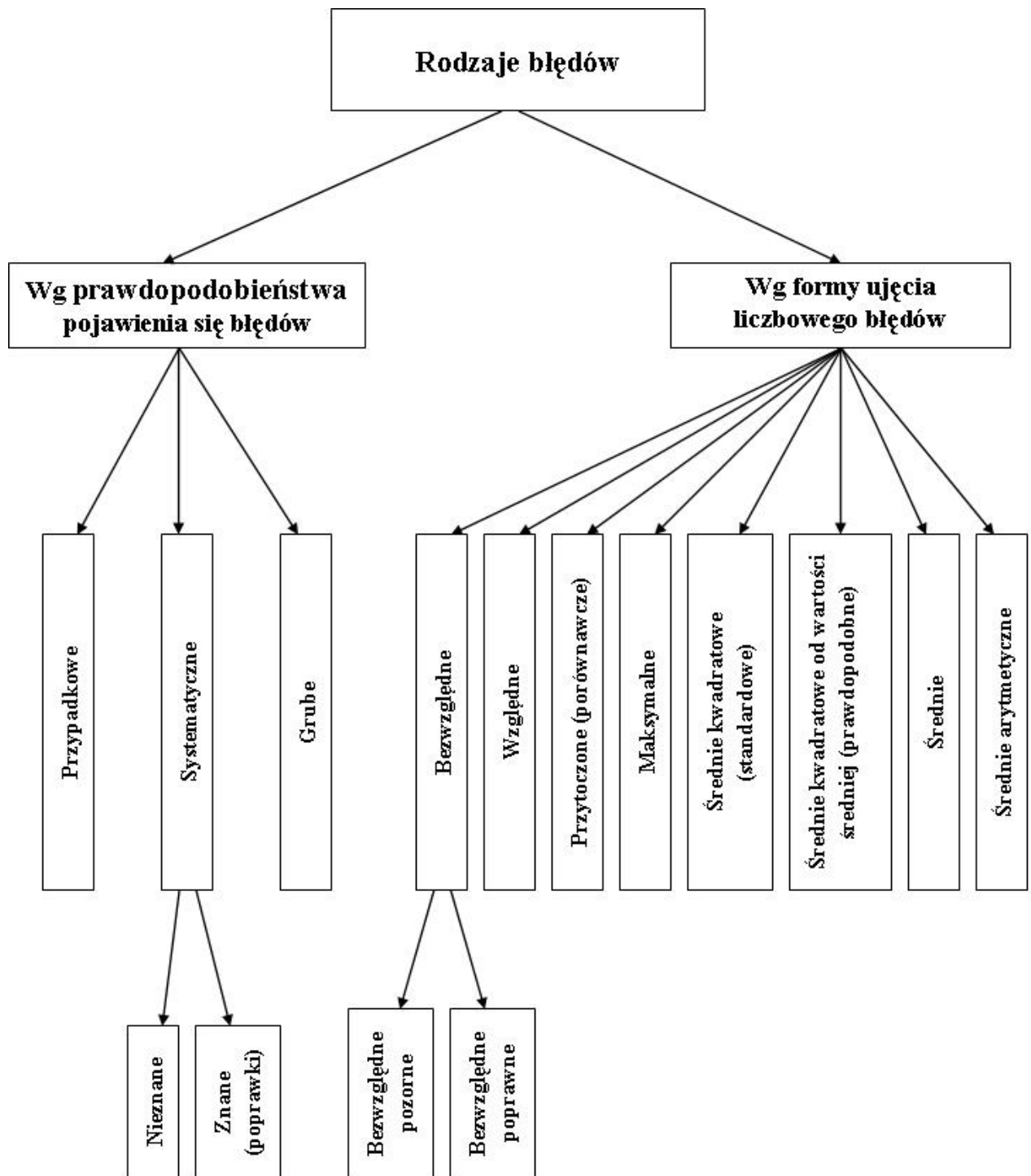
$$e_w = \frac{e_b}{I_r} \text{ błąd względny.}$$

Mierząc kilkakrotnie tą samą wielkość za pomocą tego samego przyrządu pomiarowego, otrzymujemy różne wyniki.

Błędy pomiaru dzielą się na błędy systematyczne i przypadkowe.

Błędy systematyczne spowodowane są wadliwym wykonaniem przyrządu pomiarowego, lub nieprawidłowym jego wyregulowaniem. Znając ich przyczyny można określić ich wartość liczbową i znak i uwzględnić je w wynikach pomiarów w postaci poprawek.

Natomiast błędy przypadkowe nie dają się określić, gdyż są spowodowane wieloma zmiennymi czynnikami, na które składają się zarówno niedoskonałość przyrządów pomiarowych, jak i niedoskonałość zmysłów człowieka dokonującego pomiarów.



Jakubiec W. Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1993

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest metrologia?
2. Czym różni się pomiar od sprawdzenia?
3. Jakie znasz metody pomiarów?
4. Jakie są podstawowe błędy pomiarowe?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ błąd pomiarowy przyrządu suwmiarkowego

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować narzędzie do wykonania pomiaru,
- 2) dobrać odpowiedni wzorzec,
- 3) zmierzyć narzędziem wzorzec,
- 4) odczytać i zapisać wynik pomiaru,
- 5) obliczyć różnicę między wymiarem wzorca i wartością zmierzona,
- 6) zapisać wartość błędu bezwzględnego narzędzia,
- 7) obliczyć wartość błędu względnego narzędzia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- narzędzia pomiarowe i osprzęt,
- wzorce,
- uchwyty pomiarowe,
- kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) wyjaśnić różnice pomiędzy pomiarem i sprawdzeniem?
- 2) wyjaśnić celowość stosowania sprawdzianów?
- 3) dobierać metody pomiarowe?
- 4) rozróżnić błędy pomiarowe i opisać przyczyny ich powstawania?

Tak Nie

☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.4. Klasyfikacja przyrządów pomiarowych

4.4.1. Materiał nauczania

Klasyfikacja

Środki techniczne potrzebne do wykonania zadań pomiarowych można podzielić ogólnie w następujący sposób:

- urządzenia pomiarowe,
- urządzenia pomiarowe pomocnicze (przybory pomiarowe).

Ta druga grupa obejmuje środki techniczne, które bezpośrednio w realizacji pomiaru nie uczestniczą lecz ułatwiają wykonanie czynności pomiarowych, zwiększając czułość narzędzia pomiarowego lub służą do utrzymywania właściwych warunków przy pomiarze. Są to więc wszelkiego rodzaju uchwyty, pryzmy i stoły, statywy pomiarowe, urządzenia optyczne zwiększające dokładność odczytywania wyników pomiaru, urządzenia zapewniające stałość temperatury czy wilgotności (klimatyzatory), bądź też chroniące aparaturę pomiarową przed wstrząsami.

Narzędzia pomiarowe dzielą się na:

- wzorce,
- przyrządy pomiarowe.

Wzorzec pomiarowy jest to ciało fizyczne (na przykład platynowo-irydowy wzorzec metra) lub właściwość fizyczna (na przykład promieniowanie o określonej długości fali) odtwarzające miarę danej wielkości z określoną dokładnością. Wzorce mogą odtwarzać jedną miarę (w przypadku długości jeden konkretny wymiar) bądź też więcej niż jedną miarę (przymiar kreskowy, śruba mikrometryczna). Nazywa się je wówczas odpowiednio wzorcami jednomiarowymi lub wielomiarowymi. Wzorce jednomiarowe ze względów praktycznych często łączy się w komplety, na przykład komplet płytek wzorcowych.

Przyrządy pomiarowe służą do bezpośredniego lub pośredniego wykonywania pomiarów. Odróżniają się od wzorców tym, że zawierają pewien mechanizm, przeznaczony do przetwarzania jednej wielkości w drugą, zwiększenia dokładności odczytywania, regulowania wskazań, kompensacji błędów. Oparte są na różnych zasadach działania (przyrządy mechaniczne, optyczne, elektryczne) i mają różny stopień skomplikowania konstrukcyjnego.

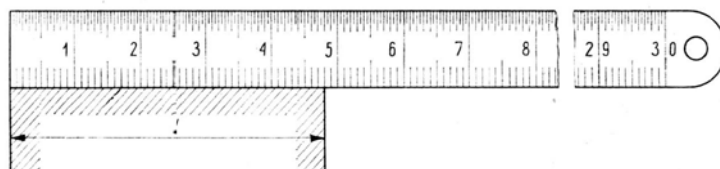
Ze względu na zakres zastosowania niekiedy określa się przyrządy pomiarowe jako uniwersalne (uniwersalny mikroskop pomiarowy, suwmiarka, mikrometr) bądź też jako specjalne – o węższym, specyficznym przeznaczeniu (suwmiarka modułowa do kół zębatach, mikrometr do pomiaru grubości blachy, mikroskop do pomiaru małych otworów, kątomierz narzędziowy).

Zależnie od charakteru dostarczanego zbioru wskazań można rozróżnić przyrządy pomiarowe **analogowe**, gdzie wartość wielkości mierzonej odczytuje się na skali przyrządu według położenia wskazówki (lub podnoszonego wskaźnika umożliwiającego odczyt wskazania), bądź też rzadziej jako zmianę długości (prostoliniowej podziałki skali).

Ostatnio coraz szersze zastosowanie znajdują przyrządy z odczytem **cyfrowym**. Wyniki pomiarów tymi przyrządami, przedstawione w postaci liczb gotowych do zapisu czy przeliczeń tworzą zbiór dyskretny.

Wzorce miary

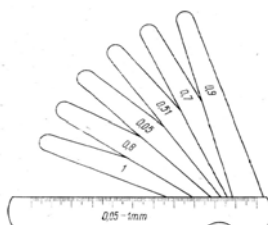
Wzorce miary są to narzędzia pomiarowe określające jedną lub kilka wartości wielkości mierzonej. Należą do nich: wzorce kreskowe, wzorce końcowe, wzorce kątów. Podstawowym wzorcem kreskowym jest przymiar. Ma on postać pręta lub taśmy, na której znajduje się podziałka. Wartość podziałki elementarnej wynosi zwykle 1 mm, a zakres pomiarowy 0–1 m. W przypadku przymiarów wstęgowych zwijanych, stosowanych w warsztatach mechanicznych lub elektrotechnicznych, zakres pomiarowy wynosi 0–2 m.



Rys. 14. Przymiar kreskowy

Źródło: Malinowski J.: Pomiar długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Wzorcami końcowymi są narzędzia pomiarowe, w których ograniczenia miary stanowią końcowe powierzchnie. Do tej grupy narzędzi należą między innymi szczelinomierze i płytki wzorcowe.



Rys. 15. Szczelinomierz

Źródło: Malinowski J.: Pomiar długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Szczelinomierz to komplet płytek o zróżnicowanych grubościach, służących do sprawdzania szerokości szczelin i luzów między częściami maszyn i urządzeń. Zakresy pomiarowe szczelinomierzy wynoszą zwykle 0,05–1,00 mm (ewentualnie od 0,02 mm).

Płytki wzorcowe są wykonane ze stali hartowanej w postaci prostopadłościanów, których dwie ściany przeciwległe są dokładnie szlifowane i następnie docierane. Te dwie płaszczyzny powinny być równoległe względem siebie i ponadto oddalone o ściśle określoną odległość, stanowiącą wymiar nominalny płytki.

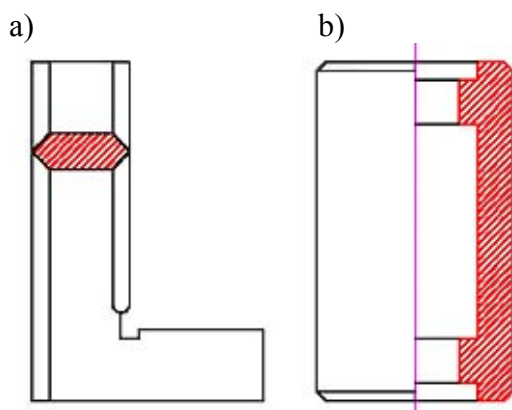
Gładkość i płaskość powierzchni pomiarowych jest tak wielka, że dwie płytki wzorcowe podczas równoległego przesuwania się po powierzchniach pomiarowych przywierają do siebie. W taki sposób tworzy się wymiar sumie grubości płytek przywartych do siebie w stosie. Płytki wzorcowe są kompletowane tak, aby można było ułożyć z nich stos o dowolnym wymiarze. W normie PN - 83/M - 53101 podano wymiary nominalne L płytek:

- 1,0000 – 1,0010 mm, stopniowane co 0,0005 mm,
- 0,990 – 10,10 mm, stopniowane co 0,001 mm,
- 0,5 – 10,10 mm, stopniowane co 0,01 mm,
- 0,5 – 25,0 mm, stopniowane co 0,5 mm,
- 10 – 100 mm, stopniowane co 10 mm,
- 25 – 200 mm, stopniowane co 25 mm,
- 50 – 300 mm, stopniowane co 50 mm,
- 100 – 1000, stopniowane co 100 mm.

Do mierzenia otworów za pomocą płytek wzorcowych (rys. 19) używa się specjalnego przyrządu (4) zaopatrzonego w szczęki (2). Szczęki stanowiące wyposażenie kompletu uchwytów różnej długości mają w części pomiarowej kształt połowy walca o średnicy wykonanej z taką samą dokładnością jak płytki wzorcowe, gdyż tworzą część stosu pomiarowego. Pomiaru średnicy otworu przedmiotu (1) dokonuje się wymieniając kolejne płytki (3) aż do uzyskania stosu, który umożliwia jeszcze wprowadzenie szczęk do otworu lecz ma wymiar tak zbliżony do wymiaru średnicy, wymiana jednej płytki na większą, na przykład o 0,01 mm, już uniemożliwi wprowadzenie stosu pomiarowego do mierzonego otworu.

W celu zestawienia stosu płytek na żądany wymiar należy wybrać z kompletu najcieńszą płytkę, której wymiar odpowiada końcowej cyfrze żadanego wymiaru, po czym składa się z nią taką płytkę, która łącznie z pierwszą umożliwia uzyskanie dwóch końcowych cyfr składanego wymiaru. Postępując dalej w taki sposób przy wyborze kolejnych płytek, dobiera się trzy i następnie wszystkie dalsze cyfry składanego wymiaru.

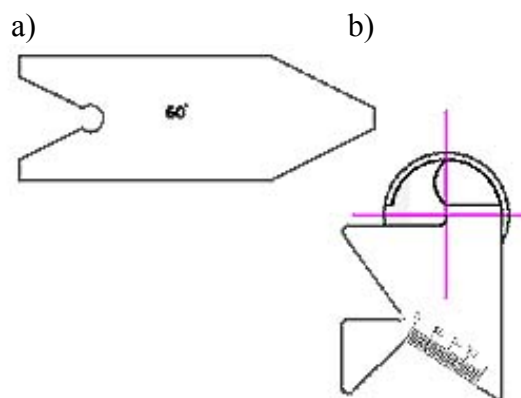
Wzorce kątów to: kątowniki 90° , wzorce kątów często stosowanych oraz płytki kątowe, zależnie od kształtu powierzchni tworzących kąt prosty. Rozróżniamy kątowniki powierzchniowe krawędziowe i walcowe. Są one przydatne przy sprawdzaniu kątów niektórych narzędzi skrawających.



Rys. 20. Kątowniki

a) krawędziowy b) walcowy

Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

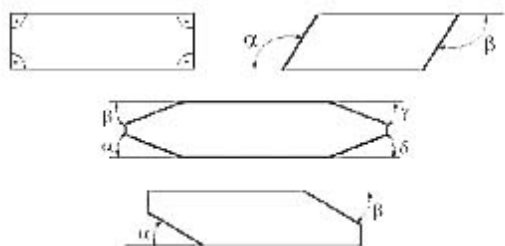


Rys. 21. Wzorce kątów

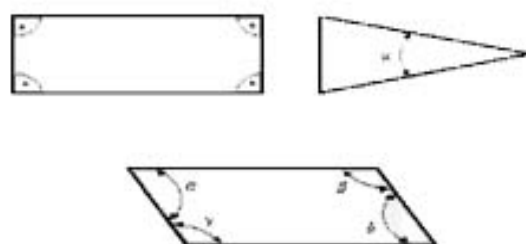
a) do noży gwintowniczych b) do wiertel

Płytki kątowe odwzorowują wzorce wartości wymiarów kątowych. Są to płaskie wieloboki mające powierzchnie pomiarowe nachylone pod określonymi kątami. W użyciu są dwie odmiany wzorcowych płytek kątowych: Johanssona i Kusznikowa.

Płytki Johanssona



Płytki Kusznikowa



Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

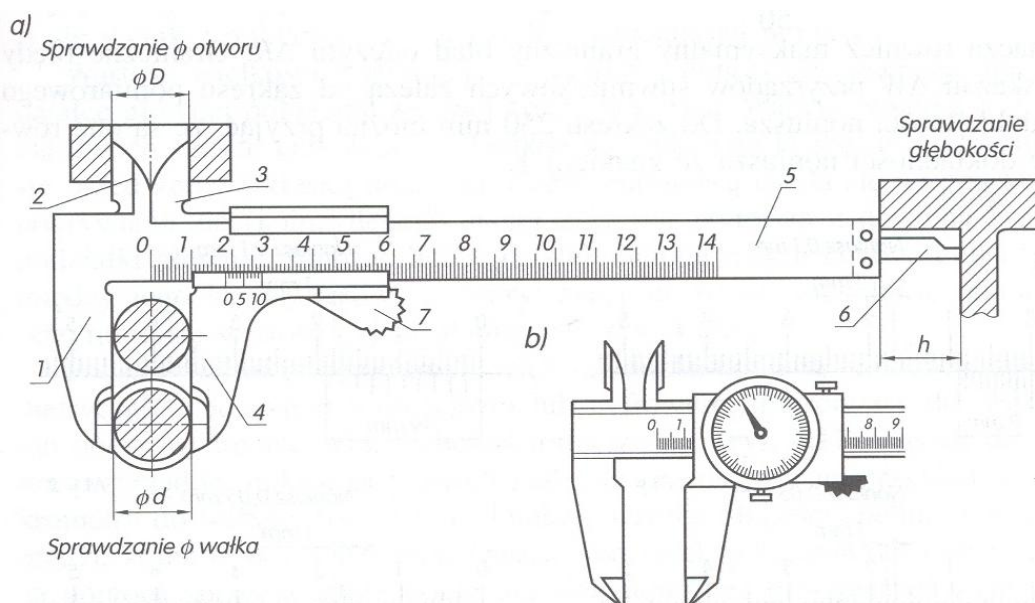
Przyrządy suwmiarkowe

Przyrządy suwmiarkowe tworzą grupę najbardziej rozpowszechnionych przyrządów pomiarowych – stosowanych bezpośrednio przez pracowników przy wymiarowej kontroli drobnych części maszyn.

Przyrządem suwmiarkowym nazywa się przyrząd, w którym po prowadnicy zaopatrzonej w podziałkę kreskową przesuwają się szczęki, często z urządzeniem zwanym noniusem, służącym do zwiększania dokładności odczytywania pomiaru.

Najbardziej charakterystycznym reprezentantem tej grupy jest **suwmiarka** (rys. 22).

Składa się ona zawsze z prowadnicy (5) wraz ze szczęką stałą (2) i szczęki przesuwnej (3) wraz z suwakiem (4). Na prowadnicy umieszczono milimetrową podziałkę kreskową, na suwaku – podziałkę noniusza. Suwak może być unieruchomiony w dowolnym położeniu prowadnicy za pomocą urządzenia zaciskowego wykonanego na przykład w postaci śruby. Przy dociśnięciu do zetknięcia obu szczęk (1) i (4) zerowa kreska noniusza powinna znaleźć się na przedłużeniu zerowej kreski podziałki milimetrowej prowadnicy.



Rys. 22. Suwmiarka (a) z noniusem, b) z czujnikiem)

Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Widok ogólny: 1 – szczeka stała, 2, 3 – ostrza szczęk do pomiaru otworów, 4 – szczeka przesuwna, 5 – prowadnica z podziałką główną 6 – wsuwka, 7 – zacisk samohamowny.

Jeśli między wewnętrznymi powierzchniami pomiarowymi znajdzie się przedmiot mierzony, to jego wymiar można odczytać według położenia pokrywających się kresk podziałki milimetrowej i noniusza.

Przy pomiarze otworów zewnętrznymi, cylindrycznymi, powierzchniami szczęk wprowadzonych w otwór (do zetknięcia się tych powierzchni z powierzchnią otworu), do odczytanej za pomocą noniusza wartości średnicy należy dodać łączną grubość suwmiarki, wynoszącą zazwyczaj 10 mm, aby otrzymać wymiar średnicy otworu.

Posługując się elementami uproszczonego schematu suwmiarki można odczytać schematy innych typowych przyrządów suwmiarkowych, do których zalicza się suwmiarki jednostronne i dwustronne (uniwersalne, z głębokościomierzem), wysokościomierze i głębokościomierze suwmiarkowe.

Należy tu zwrócić uwagę na to, że nawet w tak prostych przyrządach pomiarowych jak suwmiarki, obserwuje się przejawy współczesnych tendencji w kierunku przyspieszania,

ułatwiania i podwyższania dokładności wskazań. Przykładem tego są podjęte również przez przemysł krajowy nowe asortymenty przyrządów suwmiarkowych.

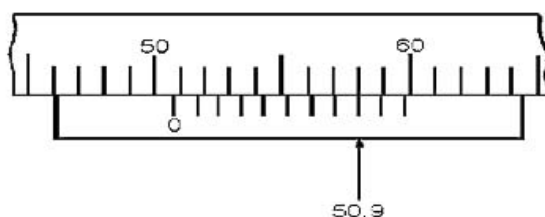
Charakterystycznym, wspólnym elementem przyrządów suwmiarkowych jest noniusz, umożliwiający zwiększenie dokładności odczytywania wyników pomiaru. Podziałka noniusza współpracuje z podziałką stanowiącą wzorzec miary o działce elementarnej długości a .

Podziałka noniusza o całkowitej długości L zawiera określoną liczbę n działek elementarnych o długości działki a'' . Długość noniusza l jest tak dobrana, że stanowi zawsze całkowitą wielokrotność długości działki elementarnej a wzorca miary, spełniając warunek równania :

$$L = na'' = (y \cdot n + 1) \cdot a$$

gdzie:

y – jest całkowitą liczbą nieujemną, nazwaną **modułem noniusza**



Rys. 23. Noniusz liniowy 0,1

Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

W suwmiarkach zazwyczaj $y = 1$, w noniuszach optycznych urządzeń odczytowych przyjmuje się również $y = 0$ (noniusz o module zerowym). Dla noniusza o module zerowym przyjmuje się zazwyczaj $n = 10$. Z powyższej zależności wynika, że długość działki noniusza

$$a'' = \frac{L}{n} = (yn + 1) \cdot \frac{a}{n}$$

dla $y = 1$ długość działki elementarnej noniusza różni się od długości działki elementarnej wzorca o:

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

Wartość działki elementarnej noniusza i stanowi jego cechę znamionową. Gdy mówimy "noniusz 0,02 mm" znaczy to, że działka elementarna tego noniusza ma wartość $i = 0,02$ mm i zarazem, że niedokładność odczytania za pomocą tego noniusza wynosi $i = 0,02$ mm.

W noniuszach przyrządów suwmiarkowych wartość L , n , i , zazwyczaj wynoszą:

- dla prostoliniowych noniuszy metrycznych:

$$L = 9 \text{ mm } n = 10 \text{ } i = 0,1 \text{ mm}$$

$$L = 19 \text{ mm } n = 20 \text{ } i = 0,05 \text{ mm}$$

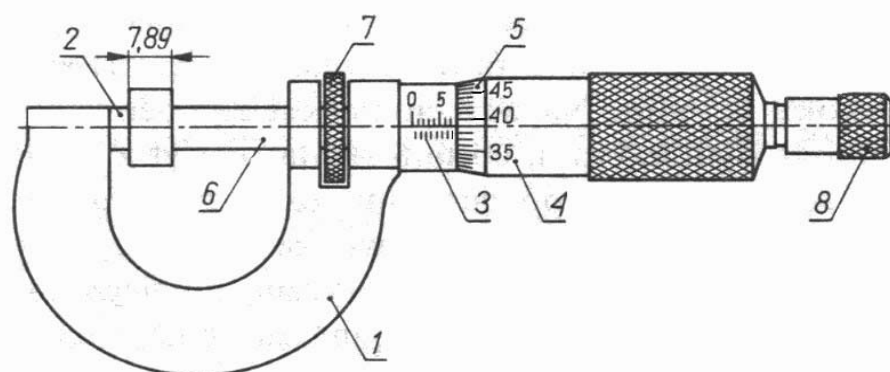
$$L = 49 \text{ mm } n = 50 \text{ } i = 0,02 \text{ mm}$$

- dla prostoliniowych noniuszy calowych:

$$L = 7 / 16 \text{ cala } n = 8 \text{ } i = 1 / 28 \text{ cala}$$

$$L = 11 / 16 \text{ cala } n = 12 \text{ } i = 1 / 192 \text{ cala}$$

Mikrometr (rys. 24) składa się z kablaka 7, którego jeden koniec jest zakończony kowadełkiem 2, a drugi nieruchomą tuleją z podziałką wzdłużną 3 i obrotowym bębnem 4, z podziałką poprzeczną 5. Poza tym mikrometr jest wyposażony we wrzeciono 6, zacisk ustalający 7 i pokrętło sprzęgła ciernego 8. Wrzeciono ma nacięty gwint o skoku 0,5 mm i jest wkręcone w nakrętkę zamocowaną wewnątrz nieruchomej tulei z podziałką wzdłużną. Obracając bęben można dowolnie wysuwać lub cofać wrzeciono. Aby dokonać właściwego pomiaru i uniknąć uszkodzenia gwintu, przez zbyt mocne dociśnięcie czoła wrzeciona do powierzchni mierzonego przedmiotu, mikrometr jest wyposażony w sprzęgło cierne z pokrętłem. Obracając pokrętłem sprzęgła ciernego, obracamy wrzeciono do chwili zetknięcia go z mierzonym przedmiotem lub kowadełkiem, po czym sprzęgło ślizga się i nie przesuwa wrzeciona. Położenie wrzeciona ustala się za pomocą zacisku. Nieruchoma tuleja z podziałką jest wyposażona w kreskę wskaźnikową wzdłużną, nad którą jest naniesiona podziałka milimetrowa. Pod kreską wskaźnikową są naniesione kreski, które dzielą na połowy podziałkę milimetrową (górną).



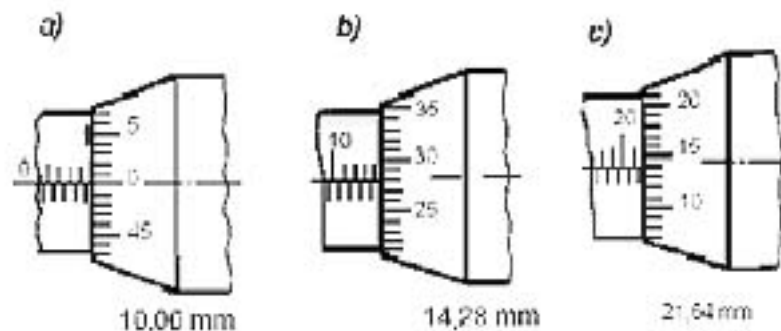
Rys. 24. Mikrometr

Źródło: Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001

Śruba wrzeciona ma zwykle skok wynoszący 0,5 mm, wobec tego jeden obrót śruby przesuwa kowadełko wrzeciona o 0,5 mm. Na tuleje mikrometru nacięta jest podziałka w odstępach co 0,5 mm. Bębenek powodujący przesuwanie się wrzeciona jest podzielony na swym obwodzie na 50 części. Zatem obrócenie bębna o 1/50 część obrotu przesuwa kowadełko wrzeciona o 1/100 część mm, czyli 0,01 mm.

Wartość zmierzonego wymiaru określa się najpierw odczytując na podziałce tulei liczbę pełnych milimetrów i połówek milimetrów odsłoniętych przez brzeg bębna; następnie odczytuje się setne części milimetra na podziałce bębna. Wskaźnikiem dla podziału bębna jest linia podziałki na tulei mikrometru. Kilka przykładów położenia bębna przedstawia poniższy rysunek.

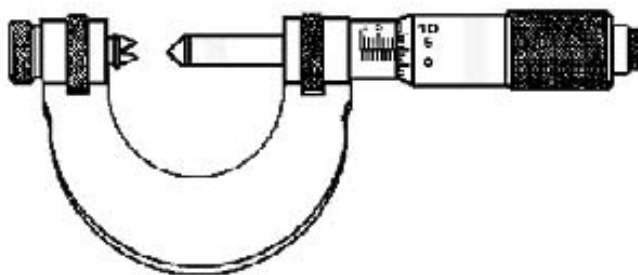
Na rysunku **a** jest ustawiony wymiar 10 mm. Krawędź bębna znajduje się tutaj na dziesiątej kresce tulei. Na rysunku **b** jest ustawiony wymiar 14,28 mm. Rysunek **c** przedstawia ustawienie podziałki na wymiar 21,5 mm, a na podziałce bębna – 0,14 mm, gdyż oś skali milimetrów wskazuje na czternastą kreskę bębna. Razem wyniesie to: $21,15 + 0,14 = 21,64$ mm.



Rys. 25. Wskazania mikrometru

Źródło: Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001

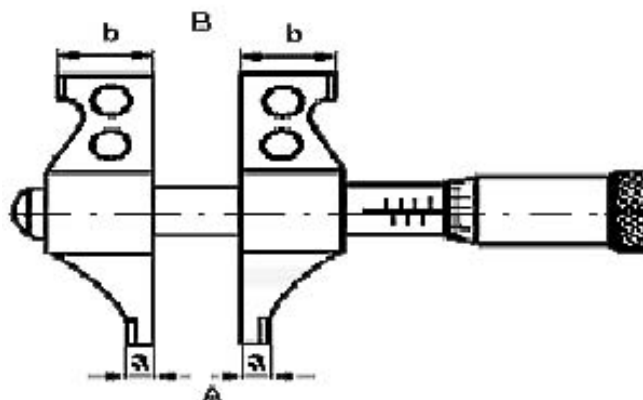
Do pomiarów gwintów używa się mikrometrów wyposażonych w wymienne kowadełka. Poniższy rysunek przedstawi taki mikrometr, który jest wyposażony w trzy komplety kowadełek wymiennych.



Rys. 26. Mikrometr do pomiaru gwintów

Źródło: Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001

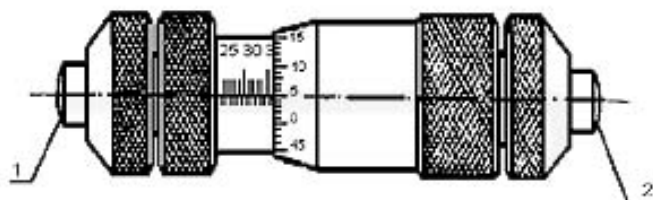
Do pomiaru średnic niewielkich otworów służy mikrometr przedstawiony na poniższym rysunku. Ma on dwustronne szczęki pomiarowe. Grubość tych szczęk jest różna, dzięki czemu można rozszerzyć zakres pomiarowy przyrządu. Jeżeli suma grubości szczęk po stronie A wynosi na przykład 10 mm, a po stronie B–20 mm, to takim przyrządem można mierzyć otwory o średnicy 10–35 mm po stronie A 20–45 mm po stronie B (przy założeniu, że zakres pomiarowy samego mikrometru wynosi 0–25 mm).



Rys. 27. Mikrometr do mierzenia otworów

Źródło: Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001

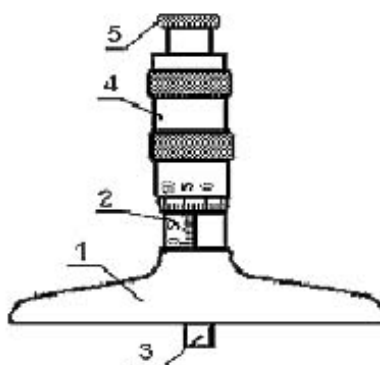
Większe otwory mierzy się za pomocą **średnicówek mikrometrycznych**. Zasada pomiaru jest taka sama jak innych mikrometrycznych przyrządów pomiarowych. Średnicówka jest zwykle wyposażona w komplet przedłużaczy, umożliwiających pomiar otworów o szerokim zakresie. Przedłużacze w postaci prętów odpowiedniej długości wkłada się zamiast jednej z końcówek pomiarowych 1 lub 2. Oprócz przedłużaczy w skład wyposażenia średnicówek wchodzi pierścień nastawczy o znanej średnicy, który umożliwia sprawdzenie prawidłowości wskazań przyrządu. Dzięki zastosowaniu przedłużaczy można wykorzystać jedną średnicówkę mikrometryczną do pomiaru odległości między powierzchniami wewnętrznymi w zakresie od 50 do 900 mm.



Rys. 28. Średnicówka mikrometryczna

Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

Do pomiaru głębokości otworów służy **głębokościomierz mikrometryczny**. Stopa głębokościomierza 1 jest połączona z tuleją mikrometryczną 2, na której znajduje się gwint prowadzący wrzeciono 3. Podobnie jak w mikrometrze zwykłym, do wysuwania wrzeciona służą: bębenek 4 oraz sprzęgło 5. Pomiaru dokonuje się po ustawieniu stopy głębokościomierza na krawędzi otworu. Podczas pomiaru należy dociskać stopę przyrządu do krawędzi otworu, tak silnie, żeby uniesienie jej nad wykrecane wrzeciono nie było możliwe w chwili, gdy oprze się ono o dno otworu. W ostatniej fazie wysuwania wrzeciona należy posługiwać się sprzęgiełkiem, aby nacisk pomiarowy wrzeciona na dno otworu był przy każdym pomiarze jednakowy.



Rys. 29. Głębokościomierz mikrometryczny

Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

Przyrządy mikrometryczne umożliwiają najczęściej pomiar z dokładnością odczytu do 0,01 mm. W niektórych przypadkach są stosowane noniusze, które umożliwiają zwiększenie dokładności odczytu do 0,001 mm. Noniusz taki jest wykonany na odpowiednio dużej tulei mikrometru. Zasada jego działania jest taka sama jak noniuszy suwmiarek.

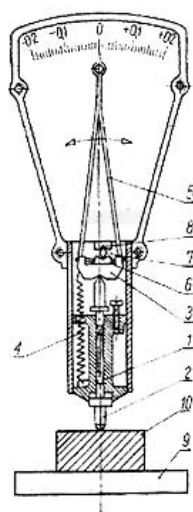
Czujniki to przyrządy pomiarowe, służące najczęściej do określania odchyłek od wymiaru nominalnego. Zakres pomiaru czujników nie przekracza 1 mm, często zamyka się

w granicach kilku dziesiątych części milimetra. Wszystkie czujniki, niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego, są wyposażone w urządzenia, które zamieniają ruch końcówki pomiarowej na ruch wskazówki przyrządu w taki sposób, aby niewielki ruch końcówki pomiarowej powodował znaczne przesunięcie wskazówki. Stosunek przesunięcia końca wskazówki do przesunięcia końcówki pomiarowej nazywa się przełożeniem przyrządu i. W czujnikach przełożenie jest zwykle bardzo duże i wynosi od 100–10 000. Zależnie od rodzaju przekładni rozróżnia się czujniki mechaniczne, pneumatyczne, optyczne i elektryczne. Spośród wielu rozwiązań konstrukcyjnych w praktyce warsztatowej stosuje się najczęściej tylko kilka typów tych przyrządów. Są one wygodne w użyciu, zwłaszcza do kontroli dużych partii takich samych przedmiotów.

Wśród czujników mechanicznych najprostszy jest **czujnik dźwigniowy** wyjaśnia zasadę pracy tego przyrządu. Zależnie od wymiaru mierzonego przedmiotu końcówka pomiarowa 1 działa na dźwignię 2 wspartą na nożu pryzmatycznym. Pod wpływem działania tej końcówki wskazówka 3 przyrządu wychyla się. Jeżeli uprzednio końcówka przyrządu była ustawiona według wzorca o znanym wymiarze w położeniu zerowym, to teraz przy pomiarze przedmiotów o wymiarach większych od wymiaru nominalnego wskazówka przyrządu wychyli się na prawo od punktu zerowego.

W przeciwnym przypadku wskazówka wędrująca od lewej do prawej strony podziałki nie osiągnie punktu zerowego. Na takiej zasadzie jest zbudowany czujnik przedstawiony z prawej strony na poniższym rysunku.

Przesuwany trzpień 1 jest zakończony wymienną końcówką pomiarową 2. Od góry trzpień 1 jest zakończony ostrzem, które naciska dźwignię 3 napiętą sprężyną 4.



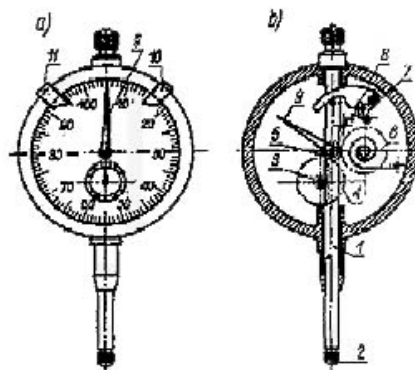
Rys. 30. Czujnik dźwigniowy

Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

Dźwignia ta, wyposażona z drugiej strony w oporę 6, wspiera się o oporę 8 za pośrednictwem noża 7. Na dźwigni jest umocowana wskazówka 5 wskazująca odchylenie wymiaru mierzonego przedmiotu od wymiaru nominalnego, na który czujnik jest ustawiony (położenie 0). Czujnik jest zmontowany na pionowej kolumnie i po niej może być przesuwany w górę lub w dół. Mierzony przedmiot 10 ustawia się na stoliku pomiarowym tak, aby końcówka pomiarowa 2 wspierała się na powierzchni przedmiotu. Na rysunku wysokość mierzonego przedmiotu odpowiada ściśle wymiarowi, na który czujnik został ustawiony. Zakres pomiarowy tego przyrządu wynosi zaledwie 0,2 mm.

Czujniki zegarowe. Jeden z najczęściej stosowanych czujników zegarowych przedstawiono na poniższym rysunku. Wrzeciono przyrządu 1 jest zakończone

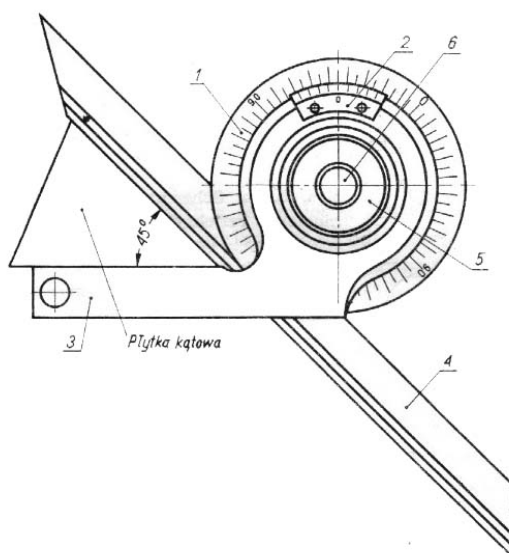
wymienną końcówką 2. Środkowa część wrzeciona zaopatrzona jest w zębatkę współpracującą z kołem zębatym 3, które następnie napędza koła 4, 5 i 6. Na osi koła 5 jest umocowana duża wskazówka 9, wskazująca setne części milimetra, a na osi koła 3 – wskazówka mała, wskazująca całkowite milimetry. Koło 6 służy do kompensacji luzów w zazębieniach. Powrót wrzeciona do położenia wyjściowego zapewnia sprężyna 8, która za pośrednictwem dźwigni 7 naciska na wrzeciono w kierunku przeciwnym do ruchu spowodowanego naciskiem mierzonego przedmiotu. Wskazówki przesuwne 10 i 11 służą do ustawiania wartości odchyłek górnej i dolnej.



Rys. 31. Czujnik zegarowy a) widok b) przekrój

Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

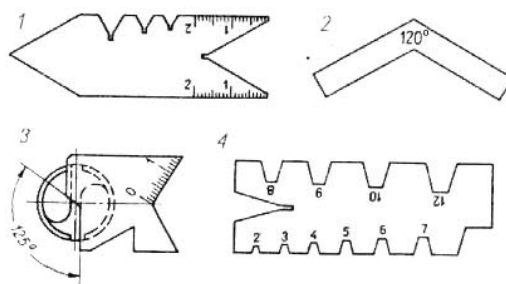
Przyrządy do pomiaru kątów. W praktyce warsztatowej do mało dokładnych pomiarów kątów jest stosowany **uniwersalny kątomierz nastawny**. Korpus przyrządu składa się z ramienia stałego 3, tarczy 1. Na trzpieniu 6 może się obracać część ruchoma, do której jest umocowana podziałka noniusza 2 oraz uchwyt 4. W uchwycie 4 – po zwolnieniu zacisku – można przesuwać ramię 3 wzdłuż jego osi głównej i ustawić w dowolnym położeniu. Za pomocą kątomierza uniwersalnego można zmierzyć kąty z dokładnością 5'.



Rys. 32. Uniwersalny kątomierz nastawny

Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

Sprawdziany. Zastosowanie sprawdzianu nie pozwala na określenie rzeczywistego wymiaru – lecz na stwierdzenie czy sprawdzany wymiar jest prawidłowy czy nieprawidłowy.

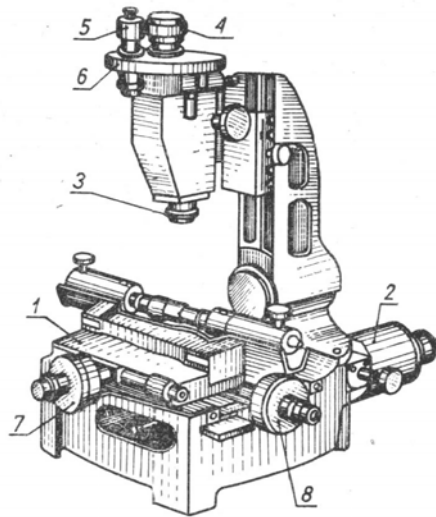


„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

Mikroskop warsztatowy

Do kontroli skomplikowanych wyrobów takich, jak narzędzia skrawające, gwintowniki, wzorniki o złożonych kształtach stosowane są trzy rodzaje mikroskopów pomiarowych:

- mikroskop warsztatowy mały (zwany mikroskopem narzędziowym),
- mikroskop warsztatowy duży,
- mikroskop uniwersalny.

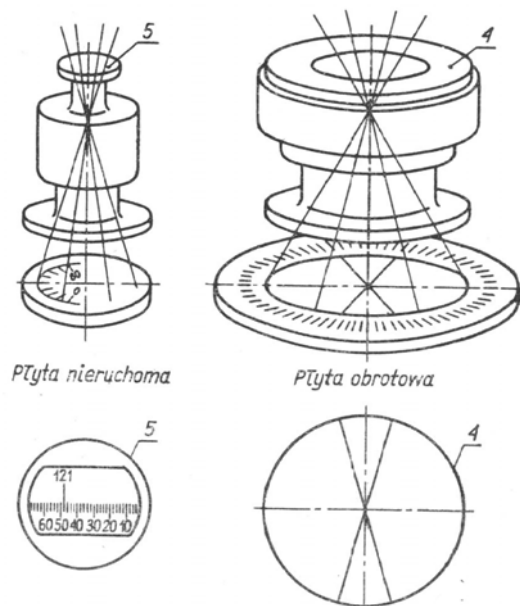


Rys. 35. Ogólny widok mikroskopu narzędziowego

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Mierzony przedmiot kładzie się albo bezpośrednio na szklanej płytce stolika lub układa się na pryzmach i oświetla od spodu lampą 2. Tubus mikroskopu wyposażony jest w okular 3 i wymienną głowicę goniometryczną 4. Do odczytywania kątów służy dodatkowa lupa 5.

Pole widzenia w okularze obserwacyjno-nastawczym głowicy 4 i okularze lupy 5 (dla odczytu kąta) przedstawia rysunek 36.



Rys. 36. Pole widzenia w okularze obserwacyjno-nastawczym głowicy

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pod okulem 4 znajduje się dająca się obracać za pomocą śruby szklana płytka 6 z naniesioną podziałką kątową ($0-360^{\circ}$) i z wzdłużnymi i poprzecznymi rysami. Pod okulem 5 na płycie nieruchomej znajduje się podziałka 60-działkowa. Pomiary bezpośrednie dokonuje się albo w układzie współrzędnych biegunowych, albo w układzie współrzędnych prostokątnych. W tym ostatnim przypadku współrzędne x i y odczytuje się na śrubach mikrometrycznych 7 i 8, służących do przesuwania stolika 1 w kierunku poprzecznym i wzdłużnym. Dokładność odczytu wynosi w tym przypadku 0,01mm. Za pomocą mikroskopu można również dokonywać badań porównawczych, porównując zgodność zarysu przedmiotu sprawdzanego z wzorcowym zarysem w okularze.

Powiększenia mikroskopów warsztatowych wynoszą: 10X, 15X, 30X, 50X.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Dokonaj klasyfikacji przyrządów pomiarowych.
2. Co to jest noniusz?
3. Z jaką dokładnością można dokonać pomiaru przy pomocy suwmiarki?
4. Wymień rodzaje przyrządów mikrometrycznych.
5. Jakie znasz sprawdziany?
6. Do czego służą płytki wzorcowe?
7. Do czego służy liniał sinusowy?
8. Co to jest czujnik zegarowy?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobierz narzędzia pomiarowe do wykonywania pomiarów pośrednich.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować mierzony wymiar,
- 2) określić sposób wykonywania pomiaru,
- 3) dobrać odpowiednie narzędzie pomiarowe,
- 4) uzasadnić dobór.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- narzędzia pomiarowe różnego rodzaju,
- przykładowe elementy,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Na podstawie rysunku wykonawczego detalu (dostarczonego przez nauczyciela) dobierz narzędzia pomiarowe.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować mierzone wymiary,

- 2) określić sposób wykonywania pomiaru,
- 3) dobrać odpowiednie narzędzie pomiarowe,
- 4) uzasadnić dobór.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- narzędzia pomiarowe różnego rodzaju,
- przykładowe elementy,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) dokonać klasyfikacji przyrządów pomiarowych?
- 2) wymienić podstawowe przyrządy suwmiarkowe?
- 3) wymienić podstawowe przyrządy mikrometryczne?
- 4) wymienić podstawowe sprawdziany?
- 5) posługiwać się przyrządami pomiarowymi?

Tak	Nie
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.5. Użytkowanie, dobór, konserwacja i przechowywanie przyrządów pomiarowych

4.5.1. Materiał nauczania

Użytkowanie, konserwacja i przechowywanie przyrządów pomiarowych

Narzędzia pomiarowe należy chronić przed uszkodzeniami mechanicznymi, nagrzewaniem, zanieczyszczaniem, korozją. Pomieszczenie do przeprowadzania pomiarów, zwłaszcza za pomocą przyrządów dokładnych, musi być suche i wolne od kurzu i pyłu (zwłaszcza szlifierskiego) oraz znajdować się dość daleko od hal, w których pracują maszyny udarowe. Temperatura w pomieszczeniach powinna wynosić $+20^{\circ}\text{C}$.

Powierzchnie pomiarowe i robocze narzędzi pomiarowych wykonanych ze stali nie powinny być dotykane palcami, gdyż pot ludzki wpływa korodująco. Po skończeniu pomiaru powierzchnie pomiarowe należy wymyć w benzynie, wytrzeć do sucha ściereczką (z flaneli lub irchy) i nasmarować cienką warstwą tłuszczu. Przed pomiarem warstewkę tłuszczu zmywa się w benzynie i powierzchnie robocze wyciera do sucha. Na stanowisku roboczym narzędzia pomiarowe powinny leżeć na filcu, flaneli lub desce.

Narzędzia pomiarowe nie wyposażone w futerały powinny być przechowywane w szufladach lub regałach zaopatrzonych w odpowiednie gniazda, zabezpieczające narzędzia przed uszkodzeniem. Elementy optyczne w narzędziach pomiarowych, jeśli nie są zakryte osłoną lub włożone do futerału mogą łatwo ulec porysowaniu przez kurz czy pył. Kurz z elementów optycznych należy ścierać najpierw pędzelkiem, a dopiero potem szmatką lub irchą.

Nie wolno wykonywać pomiarów przedmiotów będących w ruchu.

Dobór przyrządów pomiarowych

Przy doborze sprzętu pomiarowego i najwłaściwszej metody pomiarowej, która powinna być zastosowana w danych warunkach pomiaru, należy uwzględnić następujące czynniki:

1. kształt mierzonego przedmiotu,
2. rozmiary (wielkość) przedmiotu,
3. rodzaj mierzonego wymiaru,
4. wartość liczbowa mierzonego wymiaru,
5. wielkość tolerancji wykonania rozpatrywanego wymiaru,
6. chropowatość powierzchni ograniczających mierzony wymiar,
7. czasochłonność i koszt wykonania pomiaru.

Kształt mierzonego przedmiotu (płaski, walcowy lub złożony) ma wpływ na dobór końcówki lub nasadki mierniczej przyrządu oraz sposób ustalenia i zmiany położenia przedmiotu podczas pomiaru. W celu uzyskania dużej dokładności pomiaru należy dążyć do zastosowania przyrządu mierniczego o takiej końcówce lub nasadce mierniczej, która zapewni uzyskanie najkorzystniejszego styku, jakim jest styk punktowy. Styk liniowy może być w określonych przypadkach dopuszczalny, natomiast w przypadku pomiarów dokładnych niedopuszczalny jest styk powierzchniowy. Aby zapobiec nieporządnemu przemieszczaniu się przedmiotu podczas pomiaru, należy przewidzieć najodpowiedniejszy dla jego kształtu sposób ustalenia (ustawienie na płycie kontrolnej, na pryzmie lub zamocowanie w przyrządzie kłowym) tak, aby w razie potrzeby było możliwe uzyskanie wygodniejszej zmiany położenia przedmiotu podczas pomiaru.

Rozmiary przedmiotu mają wpływ na dobór przyrządów pomiarowych przede wszystkim w zakresie decyzji o zastosowaniu sprzętu mierniczego przenośnego, stosowanego do przedmiotów o dużych rozmiarach (pomiar średnicy otworu za pomocą średnicówki czujnikowej) lub nieprzenośnego, stosowanego do mierzenia przedmiotów o małych rozmiarach (pomiar średnicy otworu za pomocą mikroskopu warsztatowego).

Rodzaj mierzonego wymiaru w zależności od tego, czy jest on zewnętrzny, wewnętrzny czy mieszany, ma wpływ na dobór odpowiedniego sprzętu pomiarowego, jak i właściwej dla danego przypadku metody pomiarowej.

Wartość liczbowa mierzonego wymiaru ma wpływ na dobór sprzętu o odpowiednio dużym zakresie pomiarowym oraz na zastosowanie pomiaru bezpośredniego lub pośredniego.

Wartość tolerancji wykonania rozpatrywanego wymiaru ma wpływ na przyjęcie odpowiedniej metody pomiarowej i sprzętu pomiarowego o właściwej dokładności wskazania.

Chropowatość powierzchni ograniczających mierzony wymiar decyduje o dokładności i rodzaju stosowanego do pomiaru sprzętu. Nie należy mierzyć dokładnym sprzętem pomiarowym wymiarów ograniczonymi powierzchniami o dużej chropowatości, bo jest to szkodliwe dla powierzchni mierniczych sprzętu (porysowanie), jak również błędy wykonania takiej powierzchni mogą być większe lub niewiele mniejsze od tolerancji wykonawczej, przy której powinien być stosowany dany sprzęt pomiarowy.

Czasochłonność i koszt wykonania pomiaru decydują o przyjęciu takiego sprzętu pomiarowego i takiej metody pomiarowej, które umożliwiają uzyskanie najlepszych wyników przez zastosowanie najprostszych i najtańszych środków (zastąpienie średnicówki mikrometrycznej średnicówką czujnikową przy pomiarze większej liczby otworów o takiej samej średnicy).

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe zasady prawidłowego użytkowania narzędzi pomiarowych?
2. Jakie parametry bierzemy pod uwagę dobierając narzędzia pomiarowe?
3. W jaki sposób powinny być przechowywane narzędzia pomiarowe?
4. Omów sposób konserwacji dowolnego narzędzia pomiarowego.

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przeprowadź konserwację przyrządów pomiarowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dobrać środki zmywające i konserwujące,
- 2) zapoznać się z instrukcjami stosowania wyżej wymienionych środków,
- 3) dokładnie umyć środkiem zmywającym wszystkie powierzchnie narażone na korozję,
- 4) dokładnie wytrzeć do sucha umyte powierzchnie przy pomocy miękkiej szmatki,
- 5) nanieść na konserwowane powierzchnię warstwę środka konserwującego,
- 6) umieścić przyrząd w oryginalnym futerale chroniącym przed zakurzeniem i uszkodzeniami mechanicznymi.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- narzędzia pomiarowe,
- środki zmywające,
- środki konserwujące,
- czyściwo,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) prawidłowo korzystać z narzędzi pomiarowych?
- 2) konserwować narzędzia pomiarowe?
- 3) wymienić materiały do konserwacji narzędzi pomiarowych?
- 4) opisać sposób przechowywania narzędzi pomiarowych?

Tak **Nie**

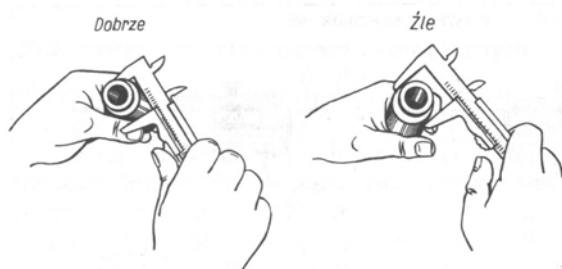
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.6. Pomiar wielkości geometrycznych

4.6.1. Materiał nauczania

Pomiary wymiarów zewnętrznych

Średnice wałków mierzy się najpierw za pomocą suwmiarki uniwersalnej z noniusem 0,1 mm. Pomiaru dokonuje się przy obu końcach wałka oraz po środku. Następnie w tych samych miejscach mierzy się średnice za pomocą suwmiarki z noniusem 0,05 mm oraz mikrometru.

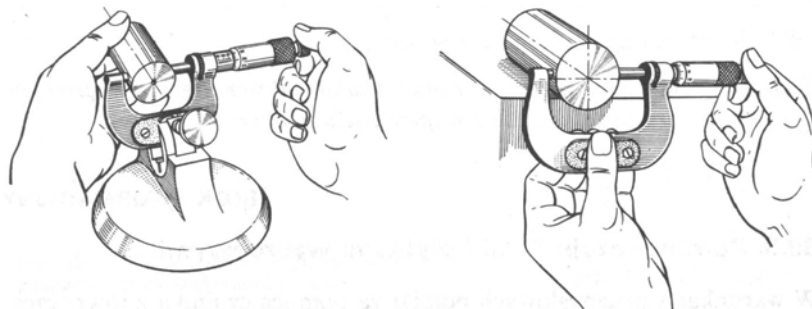


Rys. 37. Zastosowanie suwmiarki

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Jeśli mikrometr jest cięższy od wałka należy go zamocować w specjalnym uchwycie. Wałek podtrzymuje się lewą ręką, a prawą wolno obraca pokrętko sprzęgła.

Jeśli wałek jest cięższy od mikrometru należy przedmiot położyć na stole, lewą ręką trzymać się wówczas kabłąk mikrometru, a prawą obraca pokrętkę sprzęgła.



Rys. 38. Zastosowanie mikrometru

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Średnicę wałka można mierzyć dokładniejszymi przyrządami pomiarowymi na przykład transametrem.

Znając średnicę wałka ustawia się zestaw płytek wzorcowych na ten wymiar. Następnie według zestawu ustawia się przesuwne wrzeciono transametru, po czym wsuwa mierzony wałek pomiędzy kowadełko i wrzeciono. Wychylająca się wskazówka na podziałce wyznacza wartość odchyłki wykonania wałka.

Podobnie przeprowadza się pomiar średnicy za pomocą każdego dowolnego przyrządu czujnikowego na przykład za pomocą mikrokatora lub ortotestu tj. czujnika mechanicznego

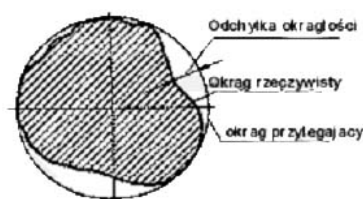
o przekładni dźwigniowo-zębatej. Korzysta się tu również z zestawu płytek wzorcowych ustawionego na wymiar nominalny.

Stos płytek ustawi się na stoliku przyrządu. Po zetknięciu trzpienia pomiarowego z zestawem wzorcowym ustawia się urządzenie odczytowe na zero. Następnie płytki zastępuje się mierzonym wałkiem i na podstawie odchylenia wskazówki wyznaczana jest odchyłka średnicy wałka od wartości nominalnej.

Wyznaczanie błędów kształtu wałka

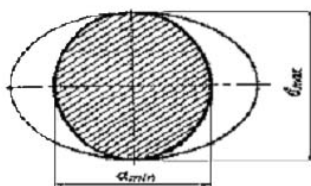
Najczęściej występujące błędy kształtu powierzchni walcowej to :

W przekroju poprzecznym– odchyłka kołowości (to największa odległość między kołem rzeczywistym a kołem przylegającym).

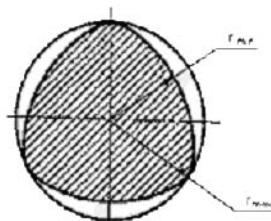


Odmiany odchylek okrągłości:

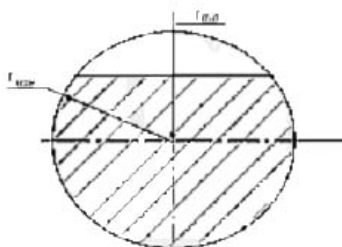
– owalność



– graniastość

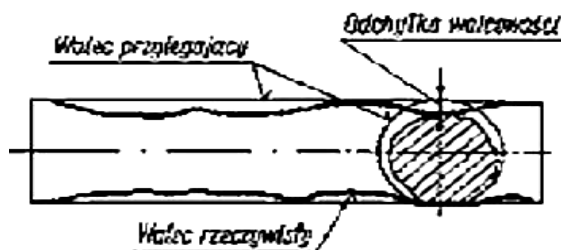


– spłaszczenie



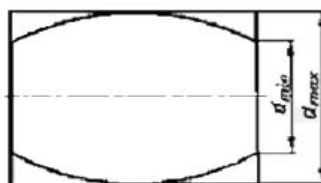
Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

W przekroju wzdłużnym – odchyłka walcowości (to największa odległość między walcem rzeczywistym a walcem przylegającym)



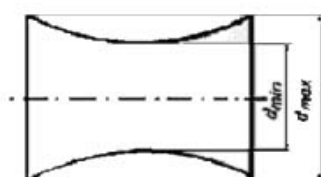
Odmiany odchyłek walcowości:

– baryłkowatość



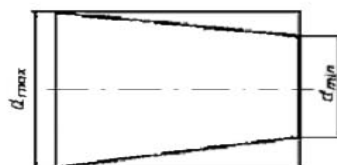
$$k_{01} = d_{\max} - d_{\min}$$

– zwężkowatość (siodłowość)



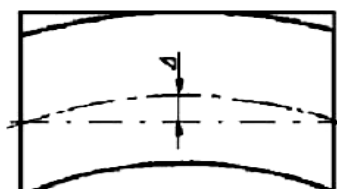
$$k_{02} = d_{\max} - d_{\min}$$

– stożkowość



$$k_{03} = d_{\max} - d_{\min}$$

– wygięcie



$$k_{04} = r_{\max} - r_{\min}$$

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

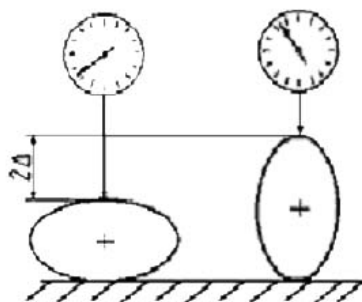
Pomiar okrągłości wałka

Okrągłość można mierzyć następującymi metodami:

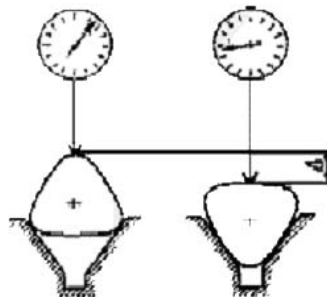
- metodą odniesienia polegającą na ocenie położenia rozpatrywanych punktów od jednego lub kilku innych punktów zarysu.
- metodą bezpośrednią polegającą na ocenie różnicy odległości poszczególnych punktów zarysu od środka.

Owalność można zmierzyć metodą dwupunktową przy użyciu czujnika zamocowanego w podstawie przez obracanie wałka na płaskim stoliku odczytywaniu wskazań czujnika. Sposób ten nadaje się też do wykrywania graniastości parzystokątnej, obracając wałek na stoliku o bardzo małej powierzchni na specjalnej podstawie. Pomiaru owalności można także dokonać w przyrządzie kłowym.

– wykrywanie owalności



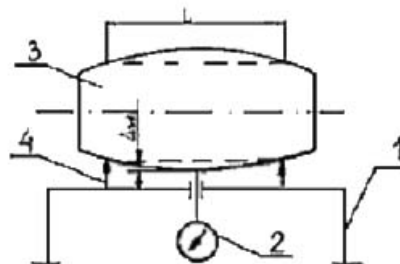
– wykrywanie graniastości



Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pomiary walców

Pomiar baryłkowatości lub siodłowości przeprowadza się według rysunku:

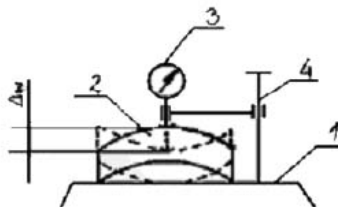


Rys. 39. Pomiar walca

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

W podstawie 1 jest zamocowany czujnik 2. Przedmiot 3 ustawia się na dwóch płytkach wzorcowych 4 o tej samej wysokości. Ustawienie zerowe czujnika, przed pomiarem dokonuje się na liniale płaskim ułożonym po obu stronach płytek.

Pomiar wygięcia:



Rys. 40. Pomiar wygięcia

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pomiar wygięcia można przeprowadzać za pomocą czujnika 3 zamocowanego w statywie 4. Przedmiot 2 obraca się na płycie pomiarowej – o pełny obrót, ustalając największe i najmniejsze wskazania czujnika. Różnica tych wskazań jest miarą wygięcia przedmiotu.

Pomiar stożkowości

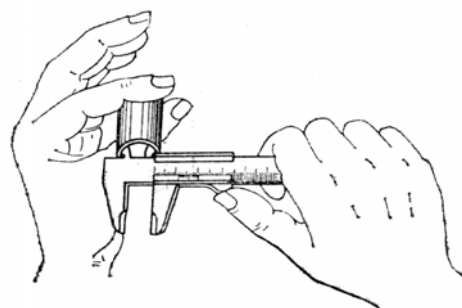
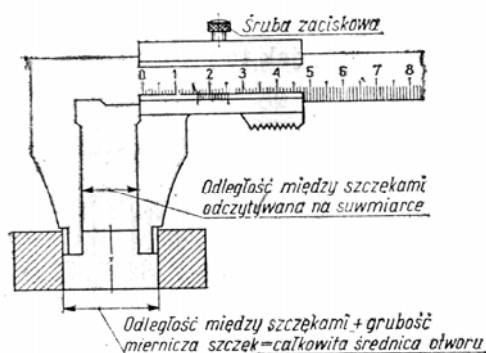
Należy zmierzyć dwie średnice wałka położone w odległości L od siebie oraz tą odległość

$$S = \frac{d_1 - d_2}{L}$$

Pomiary wymiarów wewnętrznych (otworów)

Pomiar otworu suwmiarką

- uniwersalną: dokonuje się pomiaru średnic na głębokość do 15 mm,
- jednostronną: dokonuje się pomiarów otworów o średnicach większych od 10 mm.



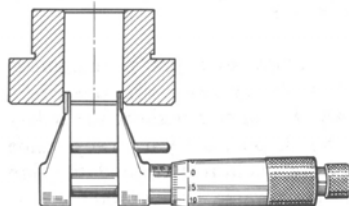
Rys. 41. Pomiar otworu suwmiarką

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pomiar otworu mikrometrem wewnętrznym szczękowym

Mikrometrem szczękowym mierzy się otwory o średnicach 5–30 mm i 30–55 mm.

Graniczny błąd wskazań mikrometrów szczękowych wynosi $\pm 4 \mu\text{m}$ i $\pm 3 \mu\text{m}$.

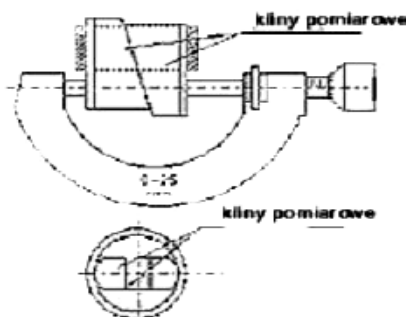


Rys. 42. Pomiar otworu mikrometrem wewnętrznym szczękowym

Źródło: Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000

Kliny do pomiaru średnic otworu charakteryzują się jednakowymi kątami pochylenia płaszczyzn, dzięki czemu przeciwległe powierzchnie cylindryczne zachowują równoległość przy przesuwaniu klinów względem siebie.

Parę klinów po włożeniu w otwór mierzony należy przesunąć wzajemnie tak, by właściwe pod względem nacisku zetknięcie ich powierzchni cylindrycznych z powierzchniami otworu.



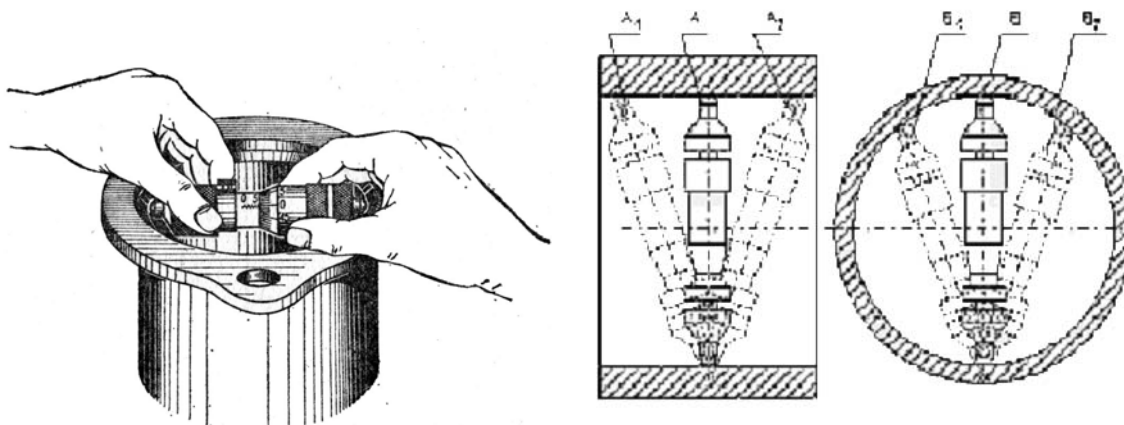
Rys. 43. Pomiar otworu mikrometrem wewnętrznym szczękowym

Źródło: Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000

Mikrometrem dokonujemy pomiaru szerokości wystających końców klinów, których wymiar będzie odpowiadał średnicy mierzonego otworu. Błąd graniczny pomiaru tą metodą wynosi $\pm 5\text{--}8 \mu\text{m}$.

Pomiar średnic otworów średnicówką mikrometryczną

Metodą tą dokonuje się pomiarów średnic otworów większych (50-200 mm). Średnicówkę ustawia się w mierzonym otworze tak, aby w płaszczyźnie przekroju poprzecznego był wymiar największy. W celu prawidłowego usytuowania średnicówki w płaszczyźnie przekroju poprzecznego otworu należy narzędzie pomiarowe jednym końcem stopniowo przemieszczać zachowując to położenie, w którym będzie możliwe maksymalne odkręcenie bębna mikrometrycznego, a więc uzyskanie wymiaru największego. Graniczny błąd wskazania wynosi $\pm 8 \mu\text{m}$.



Rys. 44. Pomiar średnic otworów średnicówką mikrometryczną

Źródło: Jakubiec W. Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1993

Pomiar otworu średnicówką czujnikową

Średnicówkę czujnikową ustawia się na wymiar nominalny w uchwycie ze stosem płytek wzorcowych lub w otworze pierścienia wzorcowego. Następnie średnicówkę wkłada się do mierzonego otworu i odczytuje wskazania czujnika.

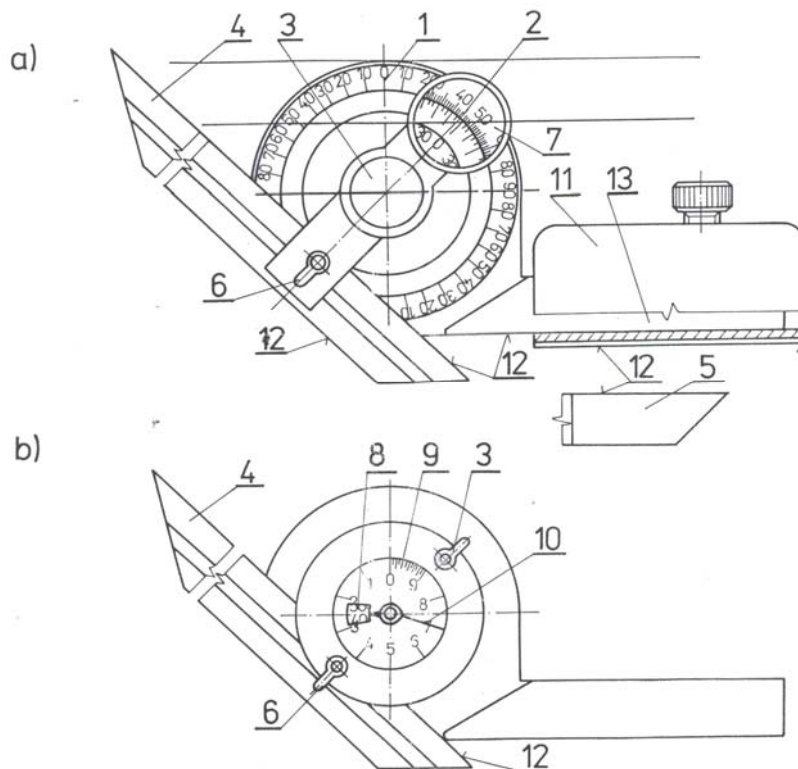
Średnicę otworu D oblicza się jako sumę wymiaru nominalnego N i różnicę wskazań czujnika O_1 i O_2 :

$$D = N + (O_1 - O_2)$$

O_1 – wskazanie czujnika przy wymiarze nominalnym O_2 – wskazanie czujnika przy pomiarze średnicy otworu.

Pomiary kątów i stożków

Pomiar kątów kątomierzem uniwersalnym i optycznym:

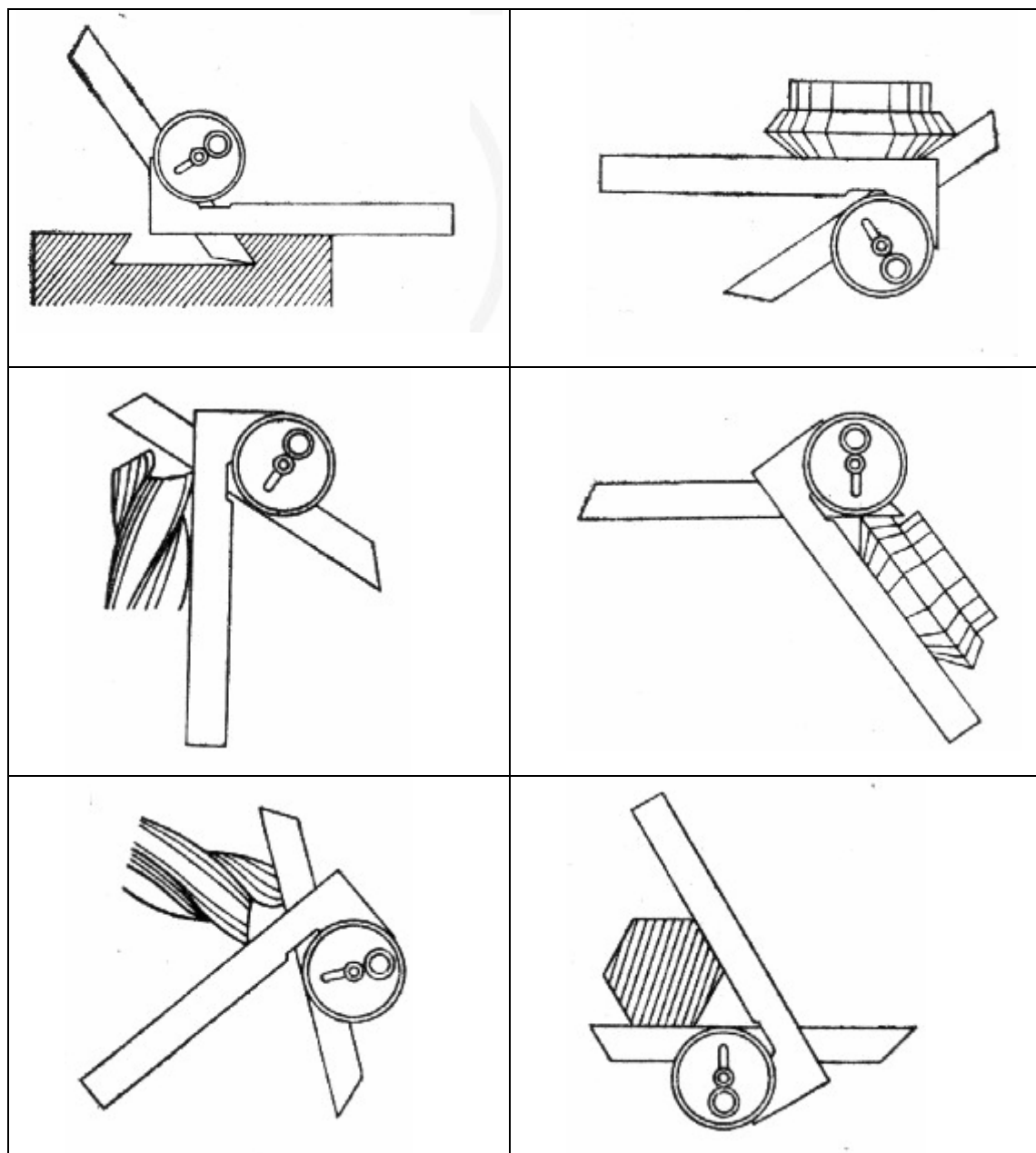


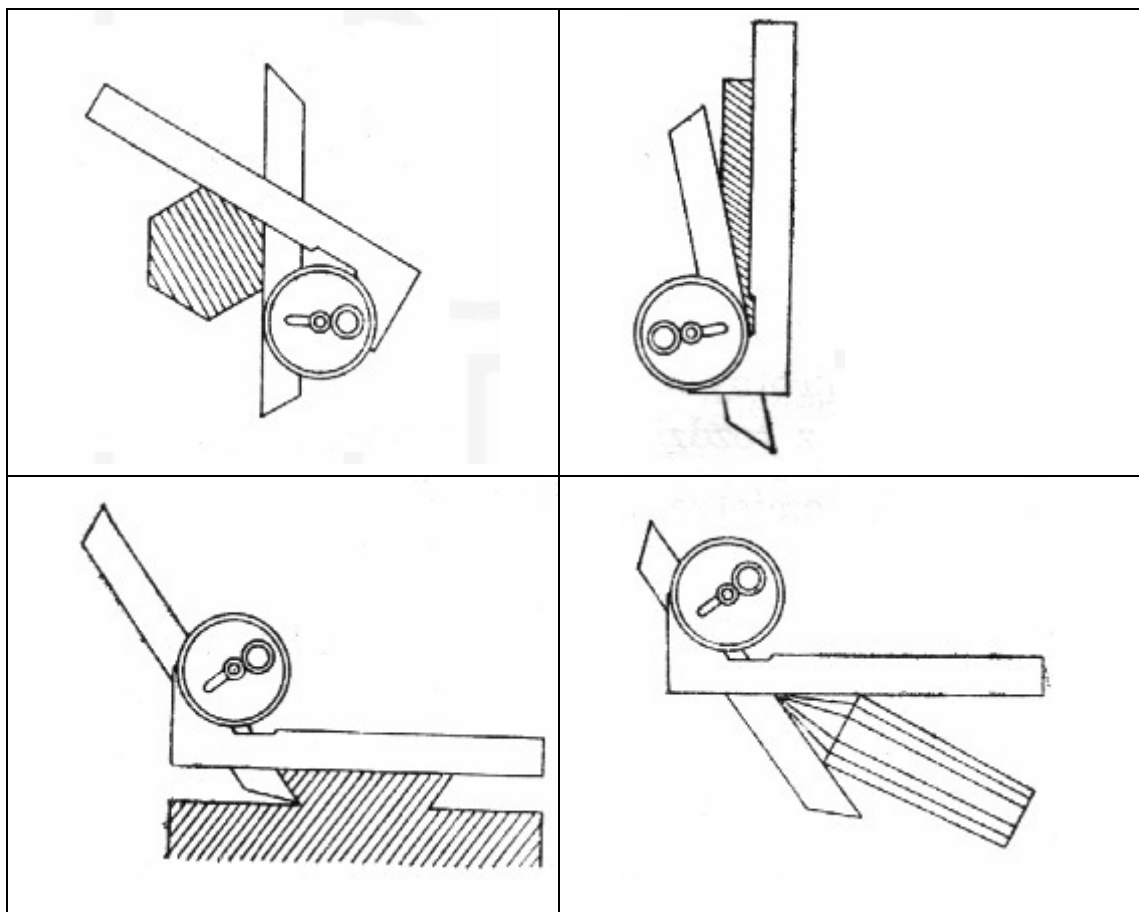
Rys. 45. Pomiar kątomierzem uniwersalnym 1 – podziałka tarczy głównej korpusu, 2 – tarcza obrotowa, 3 – zacisk tarczy, 4 – liniał, 5 – liniał do małych kątów, 6 – zacisk liniału, 7 – lupa, 8 – podziałka, 9 – podziałka II, 10 – wskazówka, 11 – podstawa do kątomierza, 12 – powierzchnie pomiarowe, 13 – stopa

Źródło: Jakubiec W. Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1993

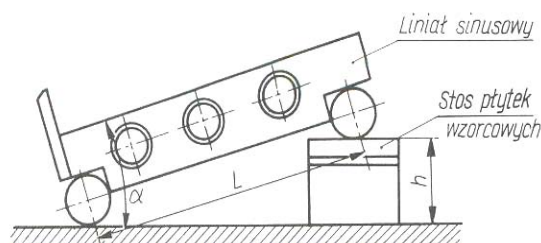
Pomiar kątomierzem polega na przyłożeniu bez szczelin, obu ramion kątomierza do boków mierzonego kąta. Wskazania kątomierzy optycznych odczytuje się z podziałki kreskowej przez wbudowaną w przyrząd lupę, natomiast w kątomierzach uniwersalnych bezpośrednio z podziałki. Zarówno jedne jak i drugie kątomierze mają noniusek zwiększający dokładność odczytywania wskazań. Noniusek kątomierza uniwersalnego jest dwukierunkowy. Przy odczytywaniu wskazania należy posługiwać się tą częścią noniusza, którego kierunek rosnących wartości podziałki jest zgodny z kierunkiem podziałki głównej.

Tabela 3. Przykłady zastosowań kątomierza uniwersalnego optycznego do pomiaru różnych kątów Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993





Pomiar kątów liniałem sinusowym



Rys. 46. Pomiar kątów liniałem sinusowym

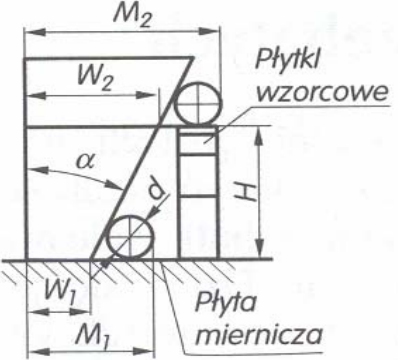
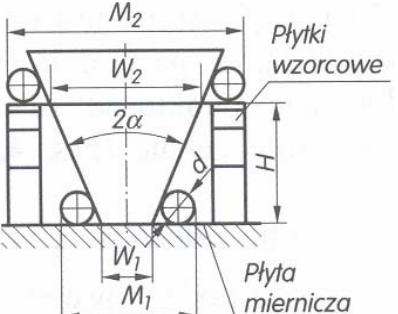
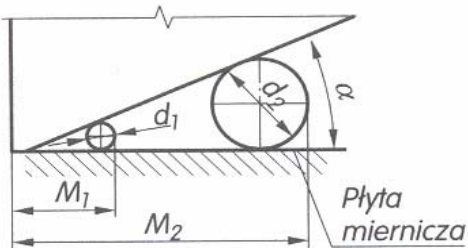
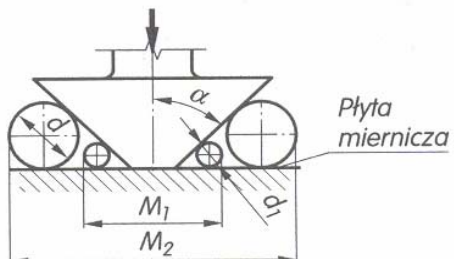
Źródło: Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993

Pomiar kątów liniałem sinusowym

Liniał sinusowy składa się z liniału opartego na dwóch wałkach, jednakowej średnicy, których osie są równoległe do siebie i leżą w płaszczyźnie równoległej do górnej płaszczyzny liniału. Odległość między osiami wałków wynosi zazwyczaj 100 lub 200 mm

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}$$

Liniał ustawia się na kąt, mierzony uprzednio kątomierzem. Pod jeden wałek liniału ustawia się stos płytek wzorcowych o wysokości obliczonej według wzoru $h = 100 \cdot \sin \alpha$ (przy czym 100 jest wartością L liniału, a $\sin \alpha$ wyznacza się z tablic trygonometrycznych).

Schemat pomiaru	Wzory
Pomiar kąta pochylenia klina 	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_2 - M_1}{H}$ $w_1 = M_1 - \frac{d}{1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$ $w_2 = M_1 - \frac{d}{1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$
Pomiar kąta pochylenia stożka zewnętrznego 	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_2 - M_1}{2H}$ $w_1 = M_1 - \frac{2d}{1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$ $w_2 = M_1 - \frac{2d}{1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$
Pomiar małego kąta 	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2(M_2 - M_1) - (d_2 - d_1)}$
Pomiar stożka o dużej zbieżności 	$\operatorname{tg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{(M_2 - M_1) - (d_2 + d_1)}$

Po ustawieniu liniału sinusowego należy na nim umieścić przedmiot sprawdzany, a następnie za pomocą czujnika sprawdzić równoległość górnej krawędzi przedmiotu do płaszczyzny. Różnicę d między kątem ustawienia liniału a rzeczywistym kątem α przedmiotu oblicza się według wzoru:

$$d_a = \left(\frac{d_n}{L} \right) \cdot 3438$$

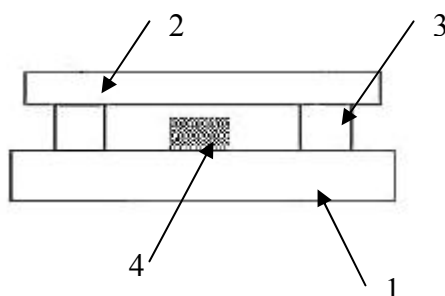
d_n – odchyłka czujnika w (mm),

L – odległości między skrajnymi położeniami czujnika w mm,

3438 – współczynnika wynikający z przeliczenia radiana na minuty (d_a jest wyrażona w minutach kątowych).

Pomiary prostoliniowości i płaskości, sprawdzanie prostoliniowości

Sprawdzanie prostoliniowości można wykonać wieloma metodami. Wybór metody zależy od długości sprawdzanej płaszczyzny. Przy dużych długościach stosuje się na przykład strunę stalową i lunetę z okularum mikrometrycznym. Przy małych długościach stosuje się sprawdzanie „na szczelinę” między liniałem a płaszczyzną sprawdzaną.



Rys. 47. Sprawdzanie prostoliniowości

Źródło: Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000

Na mierzoną powierzchnię przedmiotu 1 ustawia się liniał płaski 2 podparty na dwóch płytkach wzorcowych 3 o jednakowej wysokości. Wsuwając pod liniał możliwie największe stosy płytek wzorcowych 4, dokonuje się pomiaru odchyłek prostoliniowości w ustalonych punktach pomiarowych.

Mierząc prostoliniowość płaszczyzn w co najmniej trzech kierunkach, można określić jej płaskość. Równoległość dwu płaszczyzn sprawdza się czujnikiem zegarowym w podstawie.

Pomiar równoległości polega na zmierzeniu wzajemnej odległości między dwoma sprawdzanymi elementami w dwóch miejscach oddalonych od siebie o możliwie dużą odległość L . Położenie poziome lub pionowe płaszczyzny sprawdza się poziomnicą liniową lub ramową. Wartość działki elementarnej poziomnicy jest wyrażona w jej oznaczeniu, na przykład 0,1/1000 – oznacza, że jeśli poziomica zostanie ustawia na liniale o długości 1000 mm, którego jeden koniec znajduje się 0,1 mm niżej od drugiego, to wykaże przesunięcie pęcherzyka gazowego o 1 działkę elementarną.

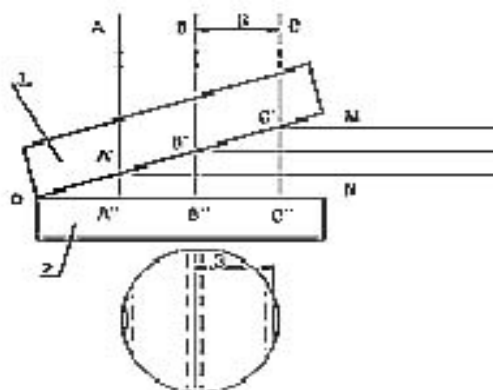
Używając poziomnicy z działką 0,02/1000 pomiar jest możliwy, tylko na betonowym cokole lub co najmniej na sztywnym, ciężkim stole ustawionym na posadzce (nigdy na drewnianej podłodze). Przy odczycie nie wolno opierać się o mierzonym układzie, ani go dotykać.

Sprawdzanie płaskości metodą farbowania, wykonuje się następująco:

Płytkę pomiarową powleka się bardzo cienką warstewką farby (farba drukarska, farba do powielaczy lub inny tłusty barwnik). Nakłada się ją szmatką i rozprowadza płytką metalową. Tą samą płytką zbiera się nadmiar farby. Sprawdzaną powierzchnię przedmiotu, przykładą się do powierzchni wzorcowej i przesuwają kilkakrotnie w różnych kierunkach (farba powinna pokryć wszystkie wypukłe miejsca powierzchni sprawdzanej). Na tak przygotowaną płaszczyznę kładziemy płytkę z wyciętym kwadratem o boku 25 mm.

Liczy się zafarbowane miejsca, będące punktami styku badanej powierzchni z wzorcową. Liczba zafarbowanych, mieszczących się w kwadracie określa błąd płaskości sprawdzanej powierzchni. Im więcej punktów przylegania w kwadracie 25 x 25 tym powierzchnia jest bardziej płaska.

Do kontroli płaskości i równoległości mniejszych powierzchni o dużej dokładności wykorzystuje się zjawisko interferencji światła.



Rys. 48. Kontrola płaskości i równoległości z wykorzystaniem się zjawiska interferencji światła

Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Na sprawdzaną powierzchnię przedmiotu 2 nakłada się szklaną płytkę płasko-równoległą 1 w taki sposób, że między przyległymi płaszczyznami pojawiają się prążki interferencyjne. Ciemne prążki są wynikiem zanikania fali świetlnej, która występuje, gdy odbity promień świetlny spotyka się i interferuje z promieniem padającym o fazie przeciwnej (przesuniętej o pół długości fali świetlnej).

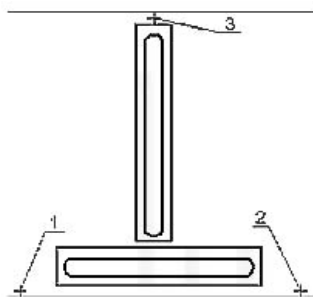
W klinie powietrznym ciemne prążki powstają tam, gdzie odległość między obu płaszczyznami klina jest równa nieparzystej wielokrotności ćwiartek długości fali świetlnej $\lambda/4$, $(3/4)$, $(5/4)$, $(7/4)$ przy prostopadłym kierunku padania światła. Oznacza to, że między jednym a drugim prążkiem grubość klina powietrznego zmienia się o $\lambda/2$ (długość fali użytego przy pomiarze światła).

Wystąpienie klina powietrznego można wywołać naciskając mimośrodowo palcem na płytkę szklaną leżącą na badanej powierzchni. Jeśli powierzchnia ta jest idealnie płaska, prążki są prostoliniowe i równoległe. Jeśli powierzchnia ta, nie jest płaska, prążki są krzywoliniowe. Pomiar najlepiej przeprowadzić przy świetle jednobarwnym (na przykład przy lampie z ciemni fotograficznej).

Przebieg pomiaru

Wyregulować ustawienie płyty traserskiej, używając poziomnicy.

Na płycie ustawić poziomnice 0,1/1000 równoległe do dwóch punktów podparcia na śrubowych podstawkach 1 i 2



Źródło: Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998

Przez pokręcanie śrub dwu podstawek na linii ustawienia poziomnicy doprowadzić powierzchnie do poziomu (poziomnice obracać o 180 stopni dla wyeliminowania jej błędu systematycznego). Następnie ustawić poziomnice prostopadłe do poprzedniego kierunku. Pokręcać podstawkę 3, aż do zerowego wskazania poziomnicy (nie zmieniać ustawienia podstawek 1 i 2).

Sprawdzić poziome ustawienie płyty traserskiej, za pomocą poziomnicy o działce 0,02/1000. Poziomnice ustawić kolejno, po środku i przy końcach płyty, a wyniki wpisać do karty ćwiczeń.

Na płycie postawić skrzynkę traserską. Do pionowej płaszczyzny przykładając poziomnicę ramową (w kilku miejscach odpowiednio wybranych). Zmierzyć odchylenie obu płaszczyzn od prostokątności.

Sprawdzić prostokątność płaszczyzny kątownikiem krawędziowym, obserwując pod światło, a wyniki wpisać do karty ćwiczeń.

Sprawdzić prostoliniowość liniałem krawędziowym. Liniał przykładają się do sprawdzanej płytki i obserwuje pod światło szczelinę między krawędzią liniału, a powierzchnią płytki. Powtórzyć pomiar na powierzchniach obrabianych innymi rodzajami obróbki. Przy większych szczelinach próbować usunąć szczelinę jedną z płytek szczelinomierza. Wyniki obserwacji wpisać do karty ćwiczeń. Płaskość płytki o powierzchni struganej i frezowanej sprawdzić przykładając liniał krawędziowy w kilku miejscach równoległych do jednego boku, następnie do drugiego boku oraz do obu przekątnych.

Sprawdzić prostoliniowość oraz płaskość płytki czujnikiem. Na płycie traserskiej położyć sprawdzaną płytę, obok ustawić podstawkę z zamocowanym czujnikiem, końcówkę pomiarową oprzeć na sprawdzanej powierzchni. Podstawkę czujnika przesuwając równoległe do dłuższego boku płytki. W równych odległościach odczytywać odchyłki na podziałce czujnika. Czujnik prowadzić wzdłuż paru równoległych linii przy krawędzi płytki i po środku. (Przy przesuwaniu czujnika jego końcówka pomiarowa nie powinna zsuwać się poza krawędź mierzonej płytki). Pomiary dokonać dla powierzchni struganej, frezowanej i skrobanej. Wyniki nanieść na odpowiednie punkty rzutu powierzchni płytek. Z pomiaru wyciągnąć wnioski co do płaskości sprawdzanej powierzchni.

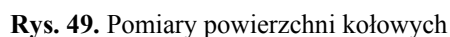
Sprawdzić płaskość „na farbę”. Mały odcinek płyty pokryć farbą. Określić liczbę plam w kwadracie 25 x 25 mm.

Określenie braku płaskości powierzchni metodą interferencyjną

Do płaszczyzny płytki stalowej (polerowanej) położyć płytkę interferencyjną, nacisnąć ją lekko i obserwować kształt powstających prążków. Określić miejsca wypukłe i wklęsłe.

Pomiary powierzchni kołowych

Mikroskop warsztatowy wyposażony jest w okular rewolwerowy z zarysami łuków.



Pomiar promienia łuku z użyciem głowicy profilowej do łuków

-

Rys. 50. Trójpunktowy pomiar promienia łuku na mikroskopie

Na podstawie tych wartości oblicza się długość cięciwy łuku c oraz długość strzałki S . Promień r oblicza się według wzoru:

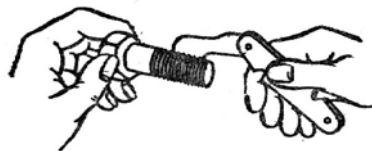
(pomiar ten można również wykonać suwmiarką modułową).

Sprawdzanie za pomocą projektora polega na obserwacji pokrywania się zarysu przedmiotu z zarysem wykonanym na rysunku. Dokładność sprawdzania zależna jest głównie od dokładności wykonania rysunku.

Pomiary wielkości charakterystycznych gwintów

Pomiar skoku gwintu: Przez porównanie go z wzorcem zarysu gwintu MWGa lub MWGb.

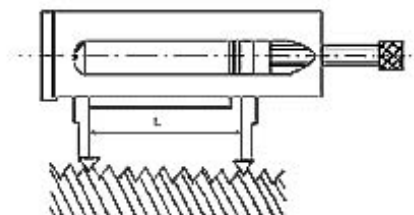
Wzorce MWGa są przeznaczone do sprawdzania gwintów metrycznych o skokach od 0,4 do 6 mm, wzorce MWGb – do gwintów calowych o liczbie skoków na długość cala od 28 do 4.



Rys. 51. Pomiar skoku gwintu

Źródło: Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000

Przez pomiar za pomocą płytek wzorcowych i wkładek ostrzowych



Rys. 52. Pomiar skoku gwintu

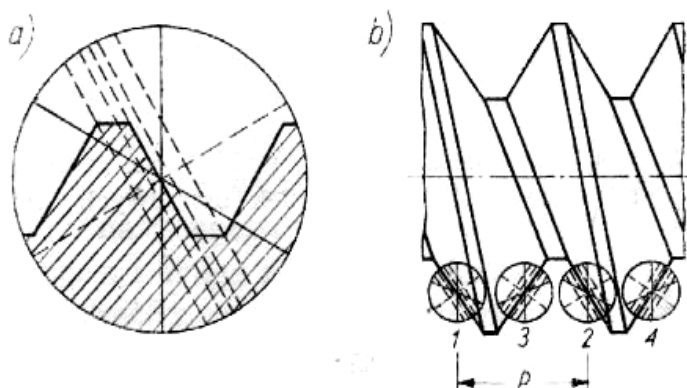
Źródło: Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000

Pomiar ten polega na określaniu odległości zwojów gwintu za pomocą wkładek ostrzowych i płytek wzorcowych zamocowanych w uchwycie MLUb, a następnie podzieleniu tej odległości przez liczbę zwojów. W przypadku gwintów całowych ustawia się w uchwycie wkładki ostrzowe na odległość 25,4 mm i liczy się liczbę zwojów przypadających na tę odległość.

Pomiar skoku gwintu na mikroskopie warsztatowym

Podczas pomiaru skoku gwintu na mikroskopie doprowadza się do pokrycia przerywanej linii okularu głowicy goniometrycznej z zarysem gwintu. Punkt przecięcia kreski siatki okularu powinien leżeć w przybliżeniu w połowie długości boku zarysu gwintu. Odczytu dla położenia 1 dokonuje się na bębnie mikrometrycznym przesuwu wzdłużnego. Następnie przesuwą się gwint o jeden zwoj – do pokrycia się sąsiedniego, jednoimiennego zarysu z przerywaną kreską okularu (położenie 2) i ponownie dokonuje się odczytania na bębnie.

Różnica odczytów odpowiada skokowi gwintu.



Rys. 53. Pomiar skoku gwintu na mikroskopie warsztatowym

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

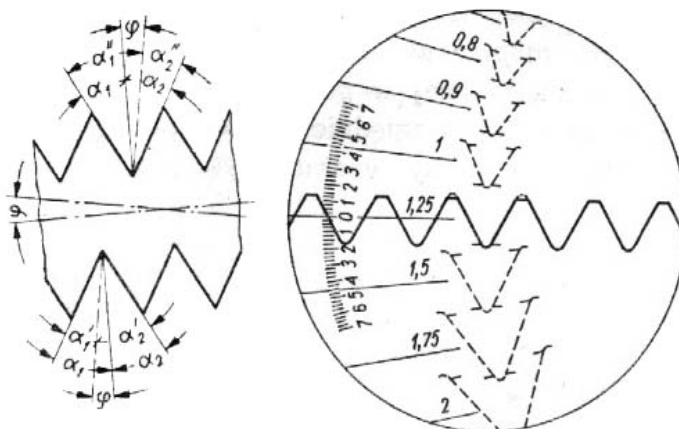
W celu wyeliminowania wpływu niesymetrii kąta rozwarcia zarysu oraz wpływu błędów ustawienia gwintu, względem osi wzdluznego przesuwu mikroskopu na dokladnosc wyniku pomiaru, nalezy dokonac pomiaru dla prawej i lewej strony zarysu (polozenia 1 i 2 oraz 3 i 4). Skok gwintu okresla sie srednica arytmetyczna z takich dwuch pomiarow. Chcac zwiekszyc dokladnosc pomiaru mozna mierzyc odleglosc kilku zwojow, a otrzymany wynik podzielic przez ich liczbe. Graniczny blad pomiaru skoku na duzym mikroskopie warsztatowym wynosi :

$$S_{\max} = \pm \left(2,5 + \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{L}{16} \right) [\mu m]$$

L – mierzona dlugosc w mm

Pomiar kąta gwintu, za pomocą mikroskopu warsztatowego

Pomiar kąta gwintu na mikroskopie dokonuje się przy użyciu głowicy goniometrycznej. Ustawia się środkową przerywaną linię głowicy goniometrycznej tak, aby pokrywała się z boki sprawdzanego zarysu. Wartość kąta odczytuje się bezpośrednio w okularze głowicy goniometrycznej. W celu wyeliminowania wpływu błędu ustawienia gwintu względem osi przesuwu mikroskopu, pomiary wykonuje się po obu stronach osi gwintu.



Rys. 54. Pomiar kąta gwintu, za pomocą mikroskopu warsztatowego

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Kąty α_1 i α_2 określa się z sum wartości kątów zarysu zmierzonych po obu stronach osi :

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1' + \alpha_1''}{2} \qquad \alpha_2 = \frac{\alpha_2' + \alpha_2''}{2}$$

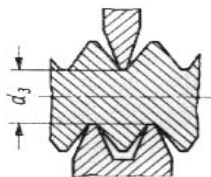
Graniczny błąd pomiaru kąta w minutach:

$$S_{\max} = \pm \left(2,5 + \frac{1,2}{F} \right)$$

Pomiar średnicy podziałowej gwintu. Pomiar średnicy podziałowej mikrometrem do gwintów MMGe

Mikrometr do gwintów wyposażony jest w komplet wymiennych końcówek pomiarowych o określonym kształcie. Końcówkę stożkową osadza się we wrzecionie, a końcówkę pryzmatyczną w kowadełku mikrometru. Parę końcówek dobiera się dla mierzonego gwintu w zależności od jego skoku i kąta.

Każda para końcówek jest przeznaczona dla pewnego zakresu skoków. Mikrometry do pomiaru gwintów są przeznaczone do mierzenia średnic podziałowych od 2 do 100 mm gwintów metrycznych. Pomiar przeprowadza się tak samo, jak przy użyciu mikrometru, ogólnego przeznaczenia. Dokładność pomiaru waha się w granicach 0,04–0,15 mm.



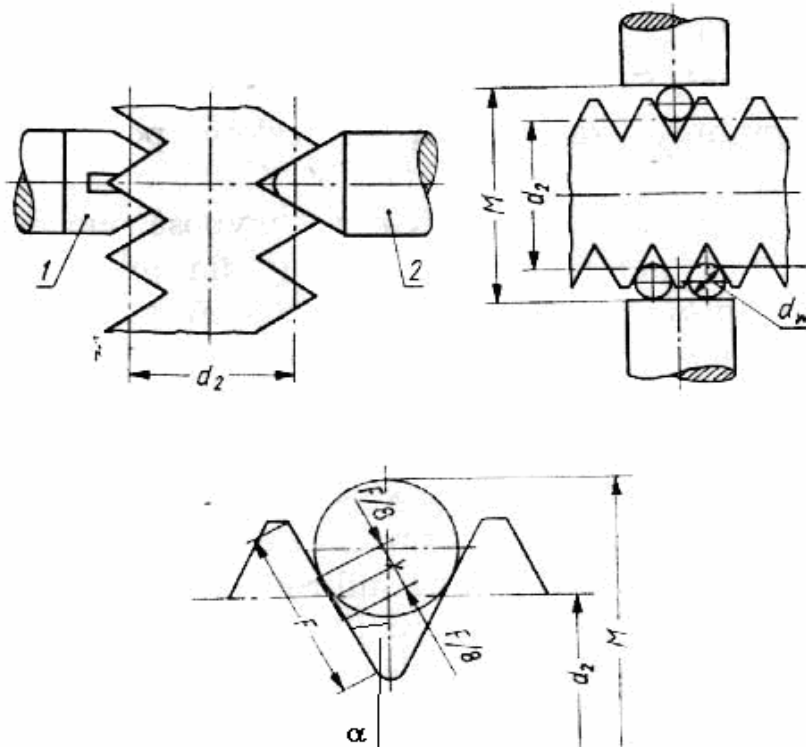
Rys. 55. Pomiar średnicy wewnętrznej gwintu

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pomiar średnicy podziałowej gwintu metodą trójwałeczkową

Trójwałeczkowa metoda pomiaru średnicy podziałowej gwintu polega na pomiarze rozstawienia M trzech wałeczków pomiarowych o jednakowej średnicy umieszczonych w odpowiednich bruzdach gwintu.

Średnicę wałeczków dobiera się w zależności od skoku P i kąta 2α . Stosuje się wałeczki pomiarowe z zaczepami MDDa lub MLDF. Rozstawienie wałeczków M mierzy się uniwersalnymi przyrządami pomiarowymi, jak mikrometr, transametr, optimetr i inne. Mikrometr mocuje się w podstawie, a wałeczki z zaczepami zawiesza się na wieszakach.



Rys. 56. Pomiar średnicy podziałowej gwintu metodą trójwałeczkową

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Średnicę podziałową d_2 mierzonego gwintu oblicza się z zależności:

$$d_2 = M - d_w \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha}\right) + \frac{P}{2 \tan \alpha} - A_1 + A_2$$

M – mierzone rozstawienie wałeczków

d_w – średnica wałeczków

α – kąt boku zarysu

P – skok gwintu

A_1 – poprawka na skrzywienie wałeczków

A_2 – poprawka na sprężyste odkształcenia powierzchniowe pod wpływem nacisku pomiarowego

$$A_1 = 0,07599 d_w \left(\frac{P}{d_2}\right)^2 \text{ mm}$$

$$A_2 = 0,004 \sqrt{\left(\frac{5}{d}\right)^2} \text{ mm}$$

Pomiary wielkości charakterystycznych kół zębatach

Koła zębata są głównymi elementami przekładni zębatach, na przykład reduktorów lotniczych, samochodowych skrzynek biegów, skrzyń prędkości i posuwów obrabiarek. Najczęściej są stosowane koła zębata walcowe, to znaczy takie, których powierzchnie podziałowe są walcami. Dzieli się je na koła o zębach prostych, skośnych i daszkowych. Najprostsze konstrukcyjnie są koła walcowe o zębach prostych – linie zębów są tworzącymi walców podziałowych. Zarysy boków zębów są ewolwentami. Położenie koła zasadniczego o średnicy d_b jest określone przez nominalny kąt zarysu (przyporu) α , który jest znormalizowany (najczęściej $\alpha = 20^\circ$). Kąt zarysu jest to kąt zawarty między styczną do zarysu zęba w punkcie leżącym na średnicy podziałowej a linią wyznaczającą najkrótszą odległość tego punktu od osi koła zębatego. Podstawowe wielkości charakteryzujące koło zębata to:

z – liczba zębów,

m – moduł, wielkość charakterystyczna określona zależnością $m = \frac{p_t}{\pi}$,

p_t – podziałka czołowa mierzona na łuku okręgu podziałowego

$$p_t = \pi \cdot m,$$

p_b – podziałka zasadnicza mierzona na łuku okręgu zasadniczego

$$p_b = p_t \cdot \cos \alpha,$$

d – średnica koła podziałowego $d = m \cdot z$,

d_a – średnica koła wierzchołków $d_a = d + 2h_a = m(z + 2y + 2x)$,

d_f – średnica koła podstaw

$$d_f = d - 2(y + k')m + 2xm = m(z - 2y - 2k' + 2x),$$

d_b – średnica koła zasadniczego $d_b = d \cdot \cos \alpha$,

h_a – wysokość głowy zęba $h_a = m(y + x)$,

h_f – wysokość stopy zęba $h_f = m(y + k' - x)$,

h – wysokość zęba $h = h_a + h_f$,

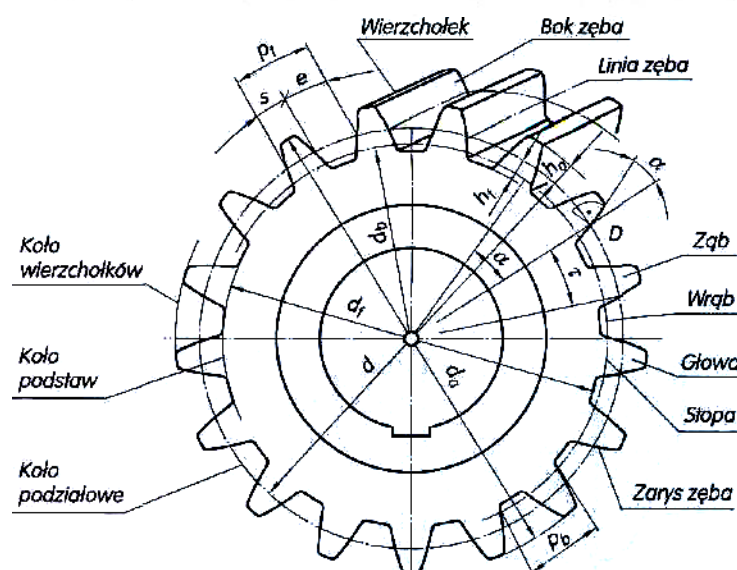
α – nominalny kąt zarysu,

s – teoretyczna grubość zęba ($\hat{s}$ – po łuku, $\bar{s}$ – po cięciwie),

s_r – rzeczywista grubość zęba ($\hat{s}_r$ – po łuku, $\bar{s}_r$ – po cięciwie),

$e = s$ – teoretyczna grubość wrębu,

- c – luz wierzchołkowy $c = k' \cdot m$
 l_n – normalny luz międzyzębny boczny ($\delta_s = (0,015 \div 0,03)m$ – luz obwodowy),
 a – odległość osi kół współpracujących $a = 0,5m(z_1 + z_2)$,
 x – współczynnik przesunięcia zarysu zęba (współczynnik korekcji),
 $x = 0$ – koło, bez korekcji, $x > 0$ – korekcja dodatnia, zarys zęba przesunięty na zewnątrz koła, $x < 0$ – korekcja ujemna, zarys zęba przesunięty do wewnątrz koła,
 y – współczynnik wysokości głowy zęba, może przyjmować następujące wartości: $y = 1$, $y > 1$, $y < 1$ dla zębów: normalnych, wysokich i niskich,
 k' – współczynnik luzu wierzchołkowego, $k' = 0,1 \div 0,3$ (zalecane $k' = 0,2$).



Rys. 57. Podstawowe oznaczenia walcowego koła zębatego

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Jedną z ważniejszych wielkości w kołach zębatych jest grubość zęba. W celu wyznaczenia grubości zębów konieczne jest ustalenie znormalizowanej wartości modułu oraz współczynnika korekcji. Sposób postępowania jest następujący. Za pomocą dokładnej suwmiarki mierzy się średnice: zewnętrzną d_a i podstaw d_f . Po założeniu wartości współczynników $y = 1$ oraz $k' = 0,2$ otrzymuje się układ dwóch równań z niewiadomymi m i x w postaci:

$$d_a = m(z + 2 + 2x)$$

$$d_f = m(z - 2,4 - 2x)$$

Ciągi modułów m kół zębatych z PN ISO 54:2001

I	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
II	1,12	1,375	1,75	2,25	2,7?	3,5	4,5	5,5	6,5	9	11
I	12	16	20	25	32	40	50				
II	14	18	22	28	36	45					

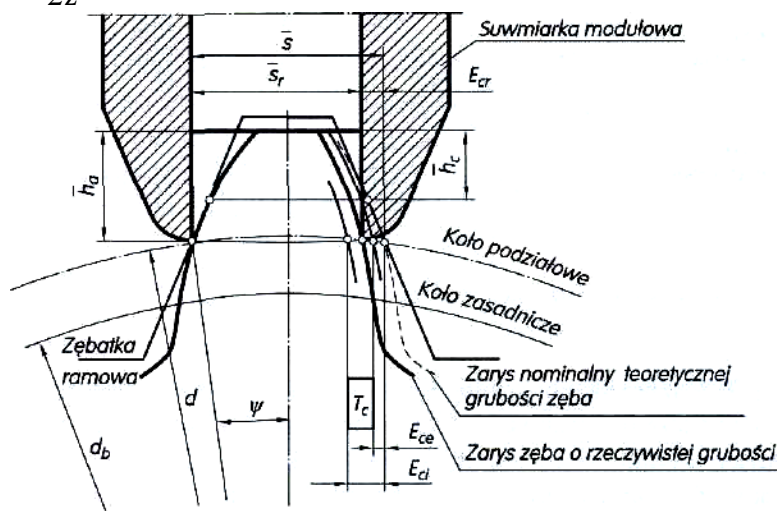
Uwaga: Moduły pierwszego ciągu są uprzywilejowane.

Po rozwiązaniu tego układu równań przyjmuje się właściwą, znormalizowaną wartość modułu m , oblicza się x i przyjmuje wartość najbardziej prawdopodobną. Następnie można

obliczyć inne wielkości, które są funkcjami $f(m,x)$. Jeżeli nie jest wymagana duża dokładność, to grubość zęba można mierzyć suwmiarką modułową. Do ustawienia suwmiarki należy obliczyć wysokość pomiarową

$$h_a = 0,5(d_a - d \cdot \cos \varphi)$$

$$\text{gdzie: } \varphi = \frac{\pi + 4x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2z}$$



Rys. 58. Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową

Źródło: Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997

Pomiar grubości zęba suwmiarką modułową i położenie pola tolerancji T_c : E_{ce} i E_{ci} – dopuszczalne odchyłki odpowiednio górna i dolna, E_{cr} – rzeczywista odchyłka grubości zęba na cięciwie.

Wartość odczytu z suwmiarki modułowej (noniusz 0,02) przyjmuje się jako rzeczywistą grubość zęba mierzona po cięciwie s_r . Rzeczywista grubość zęba mierzona po łuku koła podziałowego

$$S_r = d \cdot \varphi_r$$

gdzie: φ_r w radianach jest rzeczywistym kątem środkowym odpowiadającym połowie grubości zęba na okręgu podziałowym ($\sin \varphi_r = \frac{S_r}{d}$).

Teoretyczną grubość zęba mierzona po łuku oblicza się dla zębów zerowych ($x = 0$) lub korygowanych według wzorów:

$$S = \frac{\pi \cdot m}{2} \quad \text{lub} \quad S = (0,5\pi + 2x \cdot \operatorname{tg} \alpha)m.$$

Teoretyczna grubość zęba mierzona po cięciwie wynosi: $S = d \cdot \sin \varphi$. Odchyłka grubości zęba (wzdłuż cięciwy)

$$E_{cr} = S_r - S$$

oraz (wzdłuż łuku)

$$\delta_{Sr} = |S_r - S|.$$

Pomiary należy wykonać na kilku zębach w celu oceny prawidłowości nacięcia zębów lub nierównomierności zużywania się zębów.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakich wymiarów można zmierzyć przy pomocy suwmiarki?
2. Jakich przyrządów użyjesz do pomiaru średnicy otworu?
3. Jakich znasz sposoby pomiaru kąta?
4. Jakich pomiary należy wykonać, aby sprawdzić odchyłki kształtu powierzchni walcowych?
5. Jakich znasz sposoby pomiaru skoku gwintu?
6. Jakich wielkości charakterystycznych mierzymy podczas pomiarów kół zębatych

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj pomiary części maszyn o różnych kształtach za pomocą przyrządów suwmiarkowych i mikrometrycznych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dokonać identyfikacji mierzonych wymiarów,
- 2) dobrać sposób ustalenia elementu na stanowisku pomiarowym,
- 3) wybrać bazę pomiarową,
- 4) dobrać narzędzia pomiarowe i metody pomiarów,
- 5) dokonać niezbędnych pomiarów,
- 6) zapisać wyniki pomiarów,
- 7) zinterpretować wyniki pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przykładowe elementy,
- przyrządy pomiarowe i osprzęt,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Sprawdź wymiary otworów i wałków sprawdzianami jednogranicznymi i dwugranicznymi.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zidentyfikować sprawdzaną średnicę,
- 2) dobrać odpowiedni sprawdzian,
- 3) dokonać sprawdzenia średnicy sprawdzianem przechodnim w trzech kierunkach (co 60°),
- 4) zinterpretować wynik sprawdzenia,
- 5) dokonać sprawdzenia średnicy sprawdzianem nieprzechodnim w trzech kierunkach (co 60°),
- 6) zinterpretować wynik sprawdzenia,
- 7) dokonać oceny wykonania danego elementu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przykładowe wałki,
- sprawdziany jednograniczne i dwugraniczne,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Sprawdź skok i zarys gwintu wewnętrznego oraz zewnętrznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) zidentyfikować sprawdzany gwint,
- 2) dobrać metodę sprawdzania,
- 3) dobrać odpowiednie przyrządy pomiarowe i sprawdziany,
- 4) uzasadnić powyższe wybory,
- 5) dokonać niezbędnych pomiarów i sprawdzeń,
- 6) zinterpretować uzyskane wyniki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- elementy gwintowane,
- narzędzia pomiarowe z osprzętem,
- sprawdziany,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 4

Dokonaj pomiaru kątów:

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) dobrać uchwyty pomiarowe,
- 2) zidentyfikować mierzone powierzchnie,
- 3) dobrać przyrządy pomiarowe i metodę pomiaru,
- 4) dokonać pomiaru kąta,
- 5) zapisać i zinterpretować wyniki pomiarów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przykładowe elementy,
- uchwyty pomiarowe,
- przyrządy pomiarowe,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.6.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) dokonywać pomiarów podstawowymi przyrządami pomiarowymi?	☐	☐
2) dokonywać pomiarów wymiarów geometrycznych?	☐	☐
3) dokonywać sprawdzenia wymiarów i kształtów podstawowymi sprawdzianami?	☐	☐
4) korzystać z mikroskopu warsztatowego?	☐	☐
5) dokonywać pomiarów walcowości i okrągłości wałków i otworów?	☐	☐
6) dokonywać pomiarów bicia promieniowego i osiowego?	☐	☐

4.7. Zasady bhp podczas wykonywania pomiarów

4.7.1. Materiał nauczania

Podczas pomiarów należy zwrócić szczególną uwagę na staranne ustawienie i ostrożne przenoszenie ciężkich przedmiotów, żeby nie spowodować obrażeń kończyn w razie upadku przedmiotu.

Należy zachować porządek w rozłożeniu narzędzi pomiarowych, zwłaszcza ostrych, aby zapobiec ewentualnym skaleczeniom. Ponadto upadek przyrządu pomiarowego może spowodować jego uszkodzenie.

Na stanowisku pomiarowym powinny znaleźć tylko niezbędne narzędzia pomiarowe i uchwyty.

Oświetlenie stanowiska pomiarowego powinno umożliwiać precyzyjne odczytywanie zmierzonych wartości i nie powodować zmęczenia oczu.

W przypadku pomiarów dokładnych konieczne jest zapewnienie stałej temperatury równej 20°C, gdyż w tej temperaturze wzorcowane są narzędzia pomiarowe, a pomiar w innych temperaturach będzie obarczony błędem.

Konserwacji narzędzi pomiarowych należy dokonywać stosując odpowiednie środki zgodnie z zaleceniami producenta.

Podczas obróbki elementów na obrabiarkach pomiarów można dokonywać tylko na elementach nieruchomych – obrabiarka zatrzymana.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie podstawowe wymogi bhp obowiązują podczas wykonywania pomiarów?
2. Jak należy dokonywać pomiarów elementów podczas obróbki?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zorganizuj zgodnie z zasadami bhp stanowisko do pomiaru wałków.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) opisać jakie warunki powinny panować w pomieszczeniu, w którym wykonywane będą pomiary,
- 2) dobrać odpowiedni sposób zamocowania wałków podczas pomiaru,
- 3) wypisać niezbędne narzędzia pomiarowe,
- 4) opisać zagrożenia występujące na zorganizowanym stanowisku.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- rysunek techniczny wału maszynowego,
- obowiązujące normatywy,
- narzędzia pomiarowe i uchwyty,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.7.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) stosować przepisy bhp podczas wykonywania pomiarów?
- 2) prawidłowo zorganizować stanowisko do wykonywania pomiarów?

Tak	Nie
☐	☐
☐	☐

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIA

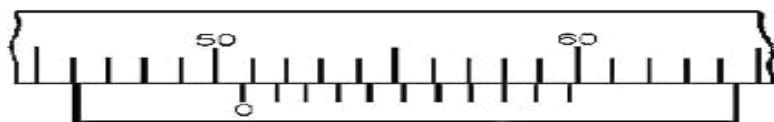
1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem pytań testowych.
4. Test zawiera 15 zadań dotyczących wykonania pomiarów warsztatowych. Zadania: 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11 są to zadania wielokrotnego wyboru i tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa; zadania: 3, 6, 9 to zadania na które należy udzielić krótkiej odpowiedzi, pytania 12, 13, 14, 15 to zadania otwarte.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi:
 - w zadaniach wielokrotnego wyboru zaznacz prawidłową odpowiedź X, w przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową,
 - w zadaniach otwartych wpisz odpowiedź w wyznaczone pole.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas. Trudności mogą przysporzyć Ci zadania: 11–15, gdyż są one na poziomie trudniejszym niż pozostałe.
8. Na rozwiązanie testu masz 45 min.

Powodzenia

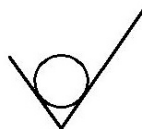
Zestaw zadań testowych

1. Zamiennność technologiczna części w budowie maszyn polega na:
 - a) wymianie części bez dodatkowych operacji,
 - b) kojarzeniu elementów z odpowiednich grup selekcyjnych,
 - c) wykonaniu dodatkowej obróbki w celu usunięcia niekorzystnego zbiegu odchyłek wymiarów w danym zespole,
 - d) braku możliwości montażu pewnej liczby części, gdyż ze względów ekonomicznych tolerancje ich wykonania zostały powiększone.
2. Tolerując wymiar z użyciem symboli należy stosować:
 - a) dla wymiarów zewnętrznych (wałków) małe litery,
 - b) dla wymiarów wewnętrznych (otworów) małe litery,
 - c) wielkość liter (małe/duże) nie ma znaczenia,
 - d) dla wymiarów zewnętrznych (wałków) duże litery.
3. Uzupełnij :
Metoda pomiarowa pośrednia polega na :....
4. Odchyłką zarysu przekroju wzdłużnego nie jest:
 - a) stożkowość,
 - b) wygięcie,
 - c) baryłkowatość,
 - d) spłaszczenie.

5. Wzorcem długości jest:
- przymiar kreskowy,
 - szczelinomierz,
 - suwmiarka,
 - zestaw płytek wzorcowych.
6. Na podstawie rysunku dokonaj odczytu pomiaru dokonanego suwmiarką:



7. Sprawdzian służy do:
- określenia rzeczywistego wymiaru,
 - pomiaru tolerancji wykonanego przedmiotu,
 - określenia stanu powierzchni,
 - stwierdzenia czy wymiar jest prawidłowy lub nie.
8. Do konserwacji narzędzi pomiarowych stosujemy:
- smar grafitowy,
 - wazelinę,
 - wosk,
 - terpentynę.
9. Wypisz nazwy przyrządów służących do pomiaru kątów
Suwmiarka, mikrometr, kątomierz, czujnik dźwigniowy, liniał sinusoidalny, mikroskop warsztatowy.
10. Przedstawiony na rysunku znak chropowatości określa:



- powierzchnię uzyskaną bez zdjęcia warstwy materiału,
 - powierzchnię uzyskaną dowolnym sposobem obróbki,
 - powierzchnię uzyskaną metodą galwaniczną,
 - powierzchnię uzyskaną przez zdjęcie warstwy materiału (na przykład skrawaniem).
11. Pomiaru skoku gwintu dokonujemy:
- przez porównanie go z wzorcem zarysu gwintu,
 - przymiarem kreskowym,
 - suwmiarką,
 - kątownikiem.

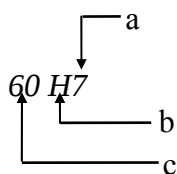
12. Oblicz wymiary graniczne dla danych wymiarów tolerowanych liczbowo

$$\begin{array}{r} 40 \\ - 0,12 \\ - 0,24 \end{array}$$

13. Wyjaśnij pojęcie „granica maksimum materiału”, wskaż różnice dla wałka i otworu:

14. Przedstaw graficznie znane ci odchyłki kołowości w przekroju poprzecznym.

15. Objasnij poszczególne elementy zapisu tolerowanego symbolowo



KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Wykonywanie pomiarów warsztatowych

Zakreśl poprawną odpowiedź, wpisz brakujące części zdania lub opisz

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3					
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6					
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9					
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12					
13					

14		
15	a: b: c:	
	Razem	

6. LITERATURA

1. Górecki A.: Technologia ogólna. WSiP, Warszawa 2000
2. Jakubiec W. Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1993
3. Lubiński Z. Kociszewski M, Szczurek K.: Rysowanie i projektowanie części maszyn – poradnik. WSiP, Warszawa 1989
4. Malinowski J. Jakubiec W. Starczak M.: Sprawdzanie dokładności w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1997
5. Malinowski J. Jakubiec W.: Tolerancje i pasowania w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998
6. Malinowski J.: Pomiary długości i kąta w budowie maszyn. WSiP, Warszawa 1998
7. Malinowski J.: Pasowania i pomiary. WSiP, Warszawa 1993
8. Praca zbiorowa pod redakcją Reymer B.: Mały poradnik mechanika. WNT, Warszawa 1994
9. Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa 2001
10. Obowiązujące normatywy.