

ROZDZIAŁ VI

Sprzęt pomiarowy

VIa. Wzorce i sprawdziany

Sprzęt pomiarowy, a zwłaszcza zasady właściwego jego użytkowania i sprawdzania opisane są szczegółowo w „Zeszytach do ćwiczeń laboratoryjnych z metrologii warsztatowej”, mojego autorstwa, wydanym przez PWSZ w Koninie. Z tego powodu w niniejszym skrypcie znajdują się tylko informacje uzupełniające. Również stosowanie omawianych narzędzi opisane jest tutaj skrótowo. Pełniejsze informacje znajdują się w rozdziałach o pomiarach części maszyn.

1. Wzorce miar

Wzorcem miary wg PN-71/N-02050 „Metrologia. Nazwy i określenia” jest narzędzie pomiarowe odtwarzające, praktycznie niezmiennie podczas jego użycia, jedną lub kilka znanych wartości danej wielkości. W budowie maszyn najpopularniejszymi wzorcami są płytki wzorcowe długości wg PN-EN ISO 3650 „Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Wzorce długości. Płytki wzorcowe” oraz płytki kątowe wg PN-81/M-53108 „Narzędzia pomiarowe. Płytki kątowe”. Są to tzw. wzorce jednomiarowe, tzn. odtwarzające, jedną konkretną wartość określonej wielkości. Oprócz odtwarzania wartości wielkości mogą służyć też do wykonywania pomiarów, ale przy użyciu dodatkowych narzędzi pomocniczych, np. wg PN-74/M-53103 „Narzędzia pomiarowe. Przybory do płytek wzorcowych”. Przybory te pozwalają formować nowe wartości ze stosu płytek pojedynczych, a także przy pomocy wkładek i kłków tworzyć narzędzia pomiarowe. Płytki wzorcowe należą do grupy wzorców końcowych, co oznacza, że miarą długości są w nich skrajne powierzchnie pomiarowe. Szerokie zastosowanie mają też płyty pomiarowe wg PN-ISO 8512-1 „Płyty pomiarowe. Płyty żeliwne” lub wg PN-ISO 8512-2 „Płyty pomiarowe. Płyty granitowe”. Stanowią określonej klasy wzorce płaskości. Poza tym funkcjonuje szereg wzorców użytkowych (sprawdzianów), odtwarzających różne wielkości, jak gwint, promień, szczelinę, średnicę, chropowatość czy też inny określony zarys lub parametr.

1.1. Wzorce długości

Płytki wzorcowe długości wg PN-EN ISO 3650 to stalowe prostopadłościanny lub sześcianny z węglików spiekanych o wymiarach $30 \times 9 \times l_n$ dla długości nominalnej $l_n \leq 10$ mm i $35 \times 9 \times l_n$ dla długości nominalnej $l_n > 10$ mm. Rys. 1 przedstawia pudełko z kompletem płytek wzorcowych oraz płytki pojedyncze.



Rys. 1. Komplet płytek wzorcowych i płytki pojedyncze

Poniżej podane są podstawowe informacje o płytkach wg punktów w/w normy.

„3.1. Płytką wzorcową – wzorzec miary o przekroju prostokątnym, wykonany z materiału odpornego na zużycie, z jedną parą płaskich, wzajemnie równoległych powierzchni pomiarowych, które można przywierać do powierzchni pomiarowych innych płytek wzorcowych i tworzyć stosy płytek, lub do podobnie wykończonych powierzchni płytek pomocniczych przy pomiarach długości.

3.2. Długość płytki wzorcowej – odległość w kierunku prostopadłym między każdym dowolnym punktem powierzchni pomiarowej a powierzchnią płaską płytki pomocniczej z tego samego materiału i o takiej samej strukturze powierzchni, do której druga powierzchnia pomiarowa płytki wzorcowej została przywarta.

3.7. Przywierałość – zdolność powierzchni pomiarowych płytek wzorcowych do adhezyjnego łączenia się z innymi podobnie wykończonymi powierzchniami płaskimi, wynikająca z działania sił międzycząsteczkowych.

5.2. Spójność pomiarowa długości płytki wzorcowej – długość zmierzona płytki wzorcowej jest spójna z państwowymi lub międzynarodowymi wzorcami długości, jeżeli wynik pomiaru można powiązać za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha pomiarów porównawczych, każdego z ustalonymi niepewnościami, z płytką wzorcową, której wzorcowania dokonano metodą interferencyjną, za pomocą odpowiednio wzorowanych długości fal.

5.3. Temperatura odniesienia i ciśnienie normalne – długość nominalna i zmierzone długości płytki wzorcowej odpowiadają temperaturze odniesienia 20°C i ciśnieniu normalnemu 101325 Pa = 1,01325 bara

5.4. Kierunek odniesienia płytek wzorcowych – długość płytki wzorcowej o długości nominalnej do 100 mm włącznie odnosi się do jej ustawienia w kierunku pionowym z poziomymi powierzchniami pomiarowymi.

Długość płytki wzorcowej o długości nominalnej większej niż 100mm odnosi się do kierunku poziomego płytki podpartej jedną z wąskich powierzchni bocznych, bez dodatkowych naprężeń na odpowiednich podporach umieszczonych w odległości 0,211 długości nominalnej od końcówki płytki.”

Materiałem powinna być stal wysokiej jakości o twardości min 800HV0,5, odporna na ścieranie, zapewniająca stabilność długości, o powierzchniach wykazujących przywieralność. Współczynnik rozszerzalności cieplnej stalowych płytek wzorcowych powinien wynosić w zakresie temperatur od 10°C do 30°C $(11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Cechy metrologiczne płytek wzorcowych

Wyróżnia się cztery klasy dokładności płytek wzorcowych: K, 0, 1, 2 w kompletach różnej wielkości. Dawniej była jeszcze klasa 00 i 3. W każdym komplecie znajduje się płytka o wymiarze 1,0005 mm, która pozwala na tworzenie przez składanie wymiarów o końcówce 0,5 μm. Najcieńsze spotykane płytki mają grubość 0,200 mm, a najdłuższe 1000 mm ± 8,5 μm (kl. 2) i ± 2 μm (kl. 0).

W praktyce warsztatowej płytki wzorcowe nie są często stosowane, dlatego powinny być starannie zakonserwowane, najlepiej wazeliną bezkwasową, zamknięte w pudełku i przechowywane w temperaturze odniesienia.

Okresowego sprawdzania płytek wzorcowych dokonuje się wg instrukcji zawartej w Dz.U. M i P nr 30/95 oraz 12/96 i wymogów normy PN-EN ISO 3650. Sprawdzanie płytek wzorcowych należy powierzać Urzędowi Miar, zwłaszcza, że komplet płytek powinien mieć aktualne świadectwo wzorcowania.

Przedmiotowa norma podaje wartości odchyłek granicznych dla płytek wzorcowych. Tab. 1. zawiera dane dla najczęściej spotykanych długości.

Tabela 1. Odchyłki graniczne płytek wzorcowych

Długość nominalna	Klasa kalibracyjna K		Klasa 0		Klasa 1		Klasa 2	
	t_e	t_v	t_e	t_v	t_e	t_v	t_e	t_v
mm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
$0,5 \leq l_n \leq 10$	0,2	0,05	0,12	0,10	0,2	0,16	0,45	0,30
$10 < l_n \leq 25$	0,3	0,05	0,14	0,10	0,3	0,16	0,60	0,30

$25 < l_n \leq 50$	0,4	0,06	0,20	0,10	0,4	0,18	0,80	0,30
$50 < l_n \leq 75$	0,5	0,06	0,25	0,12	0,5	0,18	1,00	0,35
$75 < l_n \leq 100$	0,6	0,07	0,30	0,12	0,6	0,20	1,20	0,35

t_e – tolerancja długości względem długości nominalnej w dowolnym punkcie powierzchni pomiarowej,
 t_v – tolerancja zmienności długości, czyli różnica między długością największą a najmniejszą danej płytki.

Z tabeli widać, że nawet dokładność wykonania płytek klasy 2 ma błąd tylko na poziomie $0,001 \div 0,002$ % długości nominalnej. Klasa 0 ma ten błąd jeszcze 4 razy mniejszy. Oznacza to, że stosowanie płytek w pomiarach związane jest z dokładnym utrzymaniem temperatury odniesienia, tj. 20°C .

Przykład. Płytkę wzorcową o długości nominalnej 100 mm i klasy 2 zastosowano w temp. $+30^\circ\text{C}$. Jaka wartość ma błąd temperaturowy przedmiotowej płytki?

$$l_t = l_{20} (1 + \alpha \Delta t)$$

$$l_t = 100 (1 + 11,5 \times 10^{-6} \times ^\circ\text{C}^{-1} \times 10^\circ\text{C})$$

$$l_t = 100 + 1150 \times 10^{-6} \times ^\circ\text{C}^{-1} \times 10^\circ\text{C}$$

$$l_t = 100 + 1150 \times 10^{-6} \times 10$$

$$l_t = 100 + 11500 \times 10^{-6}$$

$$l_t = (100 + 0,011500)\text{mm}$$

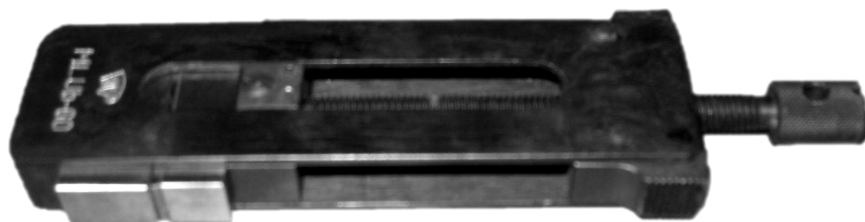
Błąd temperaturowy wyniesie $11,5 \mu\text{m}$, czyli 10 razy więcej niż dopuszczalny błąd wykonania płytki, i 35 razy więcej niż tolerancja zmienności jej długości. Przykład ten pokazuje, że w pomiarach bardzo dokładnych należy bezwzględnie zadbać o temperaturę odniesienia. Jednocześnie widzimy, że zastosowanie płytek wzorcowych w pomiarach warsztatowych (dokładność $0,01\text{mm}$) jest gwarantem wysokiej dokładności, niezależnie od panującej temperatury (w granicach paru stopni). Warto zwrócić uwagę, że w przykładzie zastosowana została płytka klasy 2. W pomiarach warsztatowych ta klasa wystarczy. Zauważamy, wg tabelki, że klasa 1 jest dwa razy dokładniejsza, ale nie wnosi to nic szczególnego w zwykłą dla budowy maszyn precyzję, a koszt zakupu i utrzymania w formie zalegalizowanej takich płytek jest znacznie wyższy. Podana w przykładzie temperatura $+30^\circ\text{C}$ również nie jest przypadkowa. Taką temperaturę może uzyskać płytka trzymana w gołych palcach. Pobieranie i manipulowanie płytką wzorcową powinno odbywać się albo szybko, albo przy pomocy odpowiednich przyborów, najlepiej wg PN-74/M-53103 „Narzędzia pomiarowe. Przybory do płytek wzorcowych” wg rys. 2. Najbardziej wskazane są szczypcy drewniane.



Rys. 2. Komplet przyborów do płytek wzorcowych MLUp

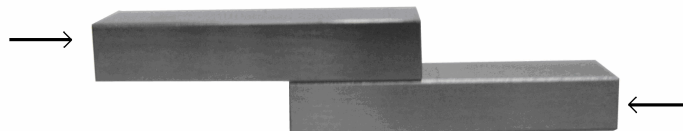
Warto też wiedzieć, że operując płytką wzorcową w temperaturach innych niż temperatura odniesienia, trzeba dać jej czas na wyrównanie temperatury. Pełny czas wynosi: dla klasy 2 i długości 20 mm – 105 minut, a dla długości 100 mm – 135 min. Płytki o długości 100 mm lub więcej, stosowane w pozycji poziomej, powinny być podparte w punktach Airy’ego, tj. w odległości $0,211 \times l_n$ od powierzchni pomiarowych. Zapobiegnie to uginaniu się płytki pod własnym ciężarem. Punkty te powinny być zaznaczone na płytkach kresą.

Biorąc pod uwagę dokładność odtwarzanego wymiaru, to płytka używana do pomiarów powinna być wolna od wszelkich zanieczyszczeń. W tym celu płytkę chwytny za powierzchnie boczne, a w żadnym przypadku nie dotykamy powierzchni pomiarowych. Składanie płytek w stosy wyrażające nowe wartości długości polega na dobraniu właściwego, możliwie najmniejszego ich kompletu. Wygodnie jest zebrać najpierw płytki wyrażające końcówkę ułamkową, a następnie dobrać wymiar nominalny. Wskazane jest, aby płytki cienkie zostały zamknięte w środku, pomiędzy grubszymi, najlepiej w uchwytach wg PN-74/M-53103 – rys.3. Do czyszczenia płytek należy używać irchy lub miękkiego sukna, a do konserwacji wazeliny bezkwasowej.



Rys. 3. Uchwyt do płytek wzorcowych MLUp z płytkami wzorcowymi

Ciekawą cechą płytek wzorcowych jest przywieralność. Dokładność wykończenia powierzchni pomiarowych jest tak duża, że umiejętnie skojarzone dwie płytki łączą się ze sobą w sposób bardzo trwały. Do tego stopnia, że rozerwanie ich siłą prostopadłą jest bardzo trudne. Cecha ta nie ma nic wspólnego ze sztuczkami. Chodzi tu o to, że płytki często łączy się w pakiety celem uzyskania dowolnych wymiarów. Zabieg ten dotyczy czasami kilku płytek na raz. Przywieralność sprawia, że tak uzyskany wymiar wolny jest od błędów szczelin, mogących powstać na granicy dwóch płytek. Takie szczeliny w pakietach przywartych oczywiście powstają, ale ich grubość jest pomijalnie mała – ok. 0,02 μm . Jednocześnie brak skutecznej przywieralności wskazuje, że płytka utraciła swoje cechy metrologiczne (chropowatość, rysy, błędy kształtu). Przywieralność jest podstawową cechą badaną przez Urząd Miar warunkującą dopuszczenie płytki do dalszych pomiarów. Mimo dużej twardości, zwłaszcza przy nieumiejętnym obchodzeniu się, szybkie zużycie jest możliwe, gdyż tolerancja płaskości wynosi tylko 0,05 do 0,25 μm , w zależności od klasy i wielkości płytki. Właściwe łączenie płytek wzorcowych polega na silnym docisku wzajemnym i powolnym nasuwaniu na siebie – wg rys.4



Rys. 4. Nasuwanie płytek wzorcowych. Przywieralność

Posługując się płytkami wzorcowymi, zwłaszcza o długości pomiarowej zbliżonej do ich szerokości (30 lub 35 mm), należy uważać, aby nie pomylić szerokości z długością. Jest to możliwe i zdarza się, zwłaszcza osobom niemającym styku z nimi na co dzień. Powierzchnie pomiarowe wyróżniają się zdecydowanie większym połyskiem niż pozostałe.

Oprócz płytek stalowych, szerokie zastosowanie mają również płytki ceramiczne wykonywane najczęściej z tlenku cyrkonu. Ich współczynnik rozszerzalności termicznej jest zbliżony do stali i wynosi $\alpha = 9,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$. Są one bardzo odporne na uderzenia i łamanie. Podczas zarysowania nie powstaje tzw. wypływka, dzięki czemu są nadal przywieralne. W związku z powyższym oraz znaczną twardością, mają bardzo dużą odporność na ścieranie i wobec tego trwałość. Również zachowują dużą stabilność wymiarową. Jednocześnie są odporne na warunki atmosferyczne i chemiczne, jak: korozja, ługi, kwasy, oleje. Ceramika zapewnia też antystatyczność, antymagnetyczność i nieprzewodzenie prądu elektrycznego. W związku z tym, nie przyciągają pyłu i nie wymagają konserwacji. Są jednocześnie lżejsze od stalowych.

1.2. Szczelinomierze

Szczelinomierze MWSa i MWSb wg PN-75/M-53390 „Narzędzia pomiarowe. Szczelinomierze” są przykładem płytek wzorcowych użytkowych. Są to płasko-równoległe i podłużne z reguły zestawy cienkich blaszek (pasków, listków) o długości 100 lub 200 mm. Występują najczęściej w kompletach o wymiarach grubości od 0,03 mm do 1 mm

Składając je w pakiety otrzymujemy dowolne, ale małe wymiary, maksymalnie to grubość całego zestawu. Podczas składania obowiązuje zasada, że płytki cienkie wkładamy pomiędzy grubsze, podobnie jak w płytkach wzorcowych. Zabezpiecza je to przed szybkim zniszczeniem. Służą, jak nazwa wskazuje, do pomiaru szerokości szczelin. Są to wzorcowe grubości przeznaczone do pomiarów warsztatowych o dokładnościach dużo mniejszych od płytek wzorcowych. Oczywiście nie mają też zdolności do przywierania wzajemnego. Odchyłki Δa grubości pomiarowej szczelinomierzy w milimetrach – wg tab. 2.



Rys. 5. Szczelinomierze w komplecie

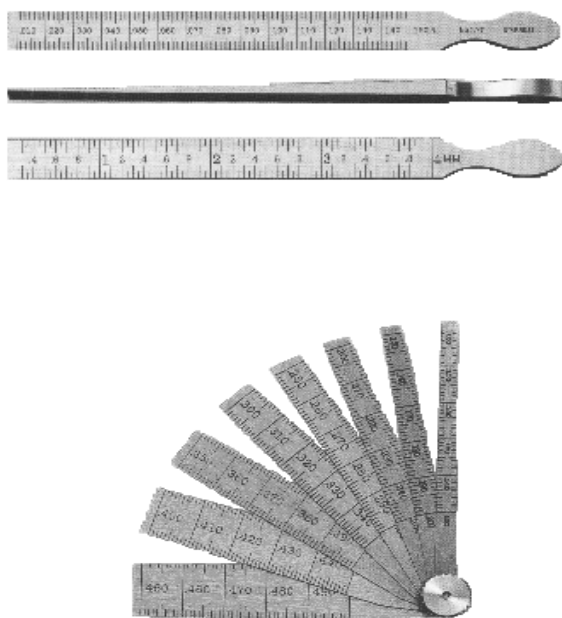
Tabela 2. Wartości odchyłki Δa grubości pomiarowej grubościomierzy

Grubość a [mm]		$\pm\Delta a$ [mm]
ponad	do	–
–	0,06	0,003
0,06	0,10	0,004
0,10	0,20	0,005
0,20	0,30	0,006
0,30	0,45	0,007
0,45	0,60	0,008
0,60	0,80	0,010
0,80	1,00	0,012

Szczelinomierze są bardzo popularnym środkiem pomiarowym, szczególnie w budowie maszyn. Mierzy się nimi szczeliny i luzy, w szczególności łożysk tocznych i ślizgowych, par kół zębatych, elektrod w świecach itp.

Pomiar szczelinomierzem polega na wsunięciu płytki lub ich zestawu w badaną szczelinę. Czynność tę należy wykonać z „czuciem”, tzn. nie może występować luz ani też wcisk. Należy tak długo dobierać płytki aż trafimy na takie, które wchodzi z lekkim tylko oporem. Umiejętne posługiwanie się szczelinomierzem jest głównym czynnikiem determinującym jakość pomiarów. Dokładność wykonania płytek ma znaczenie wtórne.

Listki cienkie ulegają szybkiemu zużyciu i uszkodzeniu. Praktykuje się obcinanie zużytych fragmentów. W użyciu są też szczelinomierze klinowe, wg rys. 6.



Rys. 6. Szczelinomierze klinowe

Wymiar szczeliny uzyskuje się wsuwając prostopadle płytkę szczelinomierza możliwie głęboko i odczytując wskaz znajdujący się przy krawędzi badanego przedmiotu. Pomiar jest szybszy niż przy składaniu płytek płaskich, ale sprawdzają się tylko w głębokich szczelinach. Przy tym nie można ocenić szerokości całej szczeliny. Można wsuwać ten szczelinomierz ukośnie i wtedy można zmierzyć nieco płytsze szczeliny. Ten rodzaj szczelinomierza nie jest opisany w Polskich Normach.

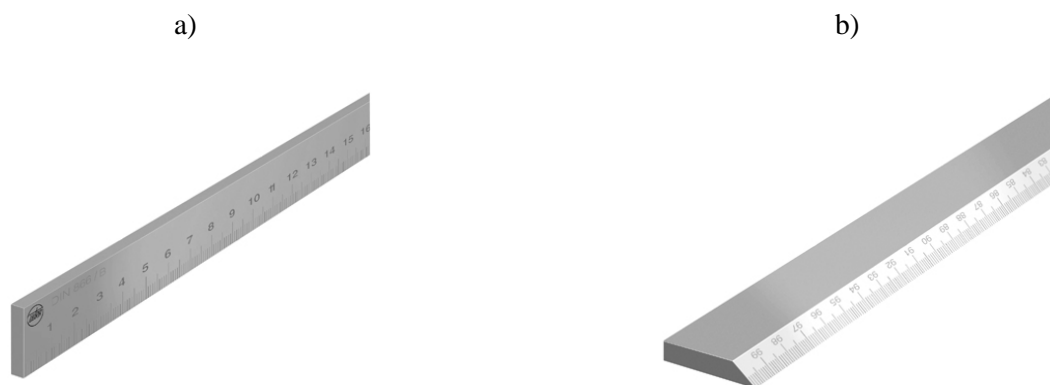
1.3. Kreskowe wzorce długości

Kreskowe wzorce długości mogą stanowić część bardziej złożonego przyrządu pomiarowego, np. suwmiarka, a mogą też być samodzielnymi miarami. W tym drugim przypadku są stosowane jako wzorce

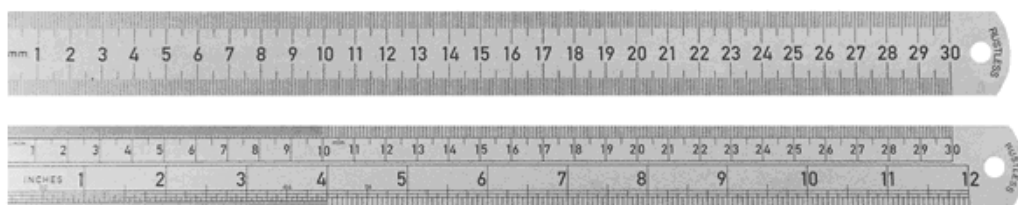
kontrolne do sprawdzania narzędzi użytkowych lub bezpośrednio do pomiarów warsztatowych. Wtedy nazywane są przymiarami. Przymiary mogą być kreskowe i końcowo-kreskowe. Te drugie mają wskaźy zerowe i końcowe lub tylko jeden z nich jako krawędź, a pozostałe są kreskami. Wzorce kreskowe mogą być wykonane jako: sztywne MLPa i MLPb, półsztywne MLPd, wstęgowe zwijane MLKc i MLKb oraz składane MLSa, MLSb. Przymiary sztywne w praktyce warsztatowej mają najczęściej zastosowanie w pracach traserskich, a półsztywne i zwijane w pomiarach odbiorczych.

Przymiary sztywne używane są głównie w pracach traserskich. Szlifowane i wywzorcowane obrzeże umożliwia zastosowanie przymiaru jako liniału, o ile nie zostało zużyte lub uszkodzone przez trasowanie.

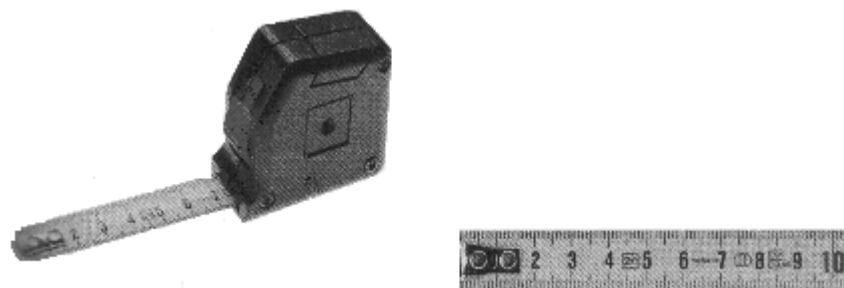
Przymiary zwijane produkowane są najczęściej w wersji końcowo-kreskowej z lekko wygiętej taśmy, co zwiększa ich sztywność – wg rys. 9. Kształt nieckowy taśmy sprawia, że używanie ich do pomiaru obwodu, np. walca jest niewskazane, gdyż powstaje duży, bliżej nieokreślony błąd. Wskaz zerowy, czyli początkowy, realizowany jest przez ruchomy zaczep o grubości 1 mm i skoku również 1 mm. Przy pomiarach wymiarów zewnętrznych zaczep wysuwa się i bazą zerową jest jego powierzchnia wewnętrzna. Przy pomiarach wewnętrznych zaczep wsuwa się i wtedy bazą zerową staje się jego powierzchnia zewnętrzna. Aby zaczep działał prawidłowo, należy dbać o czystość osadzenia go na trzpieniu lub dwóch trzpieniach. Odchyłka wskazań wynosi praktycznie od ± 1 do ± 2 mm, ale producenci zapewniają, że jest to $\pm 0,4$ mm.



Rys. 7. Przymiar sztywny: a) powierzchniowy, b) krawędziowy



Rys. 8. Przymiar półsztywny



Rys. 9. Przymiar zwijany

Pomiary wewnętrzne przestrzeni węższych niż szerokość taśmy mierniczej należy realizować od wybranej kresy podziałki, np. 10 cm, uwzględniając to w odczycie wyniku. Szczególnie jest to ważne przy pomiarach małych otworów.

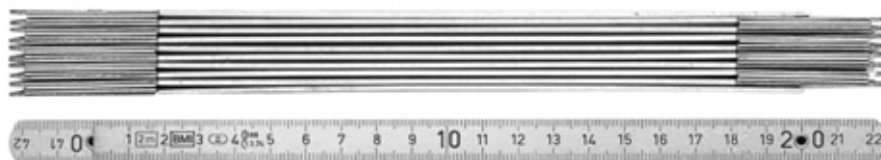
Przy pomiarach dużych odległości przymiarem zwijanym, powstaje błąd spowodowany zwisem taśmy. Likwidując zwis poprzez zwiększenie naciągu powodujemy z kolei rozciągnięcie przymiaru. Przymiary zwijane powinny posiadać hamulec utrzymujący taśmę w ustalonym położeniu oraz urządzenie do samoczynnego wciągania taśmy do obudowy, po zwolnieniu hamulca. Brak normy na przymiary kreskowe zwijane.

Szczególnością odmian przymiarów zwijanych są stalowe taśmy pomiarowe – wg rys. 10. Służą do pomiaru obwodu walców i z tego powodu wykonane są z płaskiej taśmy. Wyposażone są w dwie podziałki do jednoczesnego odczytywania obwodu i odpowiadającej mu średnicy. Mogą posiadać nośnik 0,1 mm.



Rys. 10. Stalowa taśma pomiarowa

Przymiary składane – rys. 11 – w budowie maszyn są rzadziej stosowane. Z założeń konstrukcyjnych są mniej dokładne. Działką elementarną jest najczęściej 1 mm, a dokładność wskazań uzależniona jest od długości pomiarowej i wskazań producenta (wynosi $0,1 \div 0,2$ mm), a realnie ± 1 mm. Wykonywane są ze stopów metali lekkich, z tworzyw sztucznych lub z drewna. Przy dłuższym użytkowaniu następują wypracowania na sworzniach łączących poszczególne elementy, co daje błąd zwiększający się wraz z długością mierzoną.



Rys. 11. Przymiar składany

Pomiar przymiarami obarczony jest pewnymi błędami, jak:

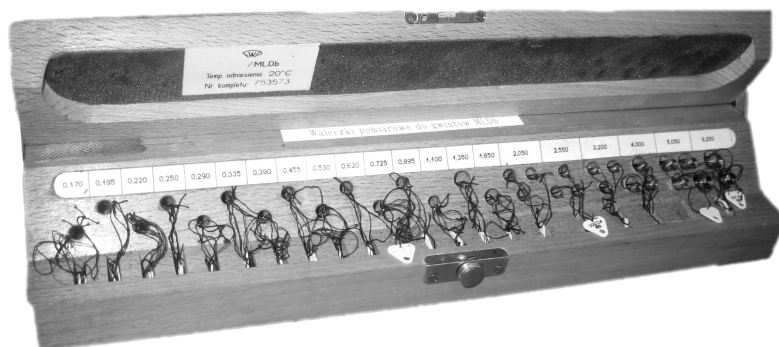
- wzrokowe przenoszenie punktów mierzonych na wskaźy przymiaru,
- błąd zera, zwłaszcza w przymiarach sztywnych i półsztywnych,
- kłopoty z interpolacją działki elementarnej, (gdy krawędź przedmiotu mierzonego znajduje się pomiędzy kresami podziałki przymiaru).

Z tych i wielu innych powodów przymiary spełniają tylko rolę pomocniczą w dziedzinie budowy maszyn.

2. Wałeczki pomiarowe

Wałeczki pomiarowe wg PN-79/M-53088 „Narzędzia pomiarowe. Wałeczki pomiarowe do gwintów” MLDa służą głównie do pomiaru średnicy podziałowej gwintu zewnętrznego. Komplet wałeczków – wg rys. 12 składa się z zestawu o wymiarach od 0,170 do 6,350 mm i dokładności $\pm 0,0005$ mm (0,5 μm). Wykonane są ze stali o twardości HV 700 (HRC 59) i współczynnika rozszerzalności cieplnej $\alpha = (12 \pm 2)10^{-6}\text{K}^{-1}$. Pomiar polega na włożeniu w bruzdę gwintu odpowiedniego kompletu wałeczków. Następnie dokonujemy pomiaru mikrometrem tak uzyskanej wielkości. Dzięki wałeczkom średnica podziałowa zostaje przeniesiona na zewnątrz zarysu gwintu, co umożliwi użycie zwykłego mikrometru. Mankamentem tej metody jest konieczność wykonania szeregu obliczeń dla uzyskania ostatecznego wyniku, tj. średnicy podziałowej badanego gwintu. Jednak wałeczki mają zastosowanie również w innych dziedzinach. Można nimi podnieść dokładność pomiaru stożków zewnętrznych i klinów oraz średnicy podziałowej kół zębatach o zębach prostych. Do kół zębatach stosuje się wałeczki MLCa – wg rys. 14 – o wymiarach 1,7 do 17 mm, a do dużych modułów można stosować wałeczki pobrane z łożysk wałeczkowych, oczywiście nieużywanych, o średnicy zbliżonej do szerokości wrębu międzyzębnego zmierzonego na wysokości średnicy podziałowej.

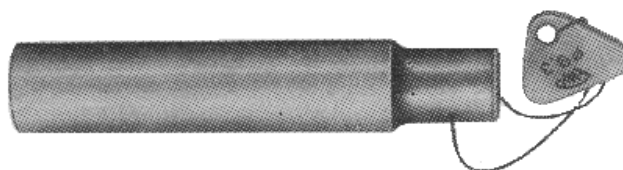
Wałeczki pomiarowe znajdują również inne zastosowania. Można nimi kontrolować odległość osi otworów równoległych (trzpienie kontrolne), oceniać ich równoległość, kontrolować średnice małych otworów a także sprawdzać i nastawiać przyrządy pomiarowe. W takich przypadkach nazywane są też trzpieniami pomiarowymi.



Rys. 12. Zestaw wałeczków pomiarowych do gwintów



Rys. 13. Komplet wałeczków pomiarowych do gwintów



Rys. 14. Wałeczek pomiarowy do kół zębanych

Wałeczki w pomiarach gwintów mają znikome zastosowanie, zwłaszcza w metrologii warsztatowej. Natomiast w innych zastosowaniach są ważnym elementem technik pomiarowych.

3. Kulki pomiarowe

Stalowe kulki o znanej średnicy MLEa są przydatne do pomiaru stożków i kątów wewnętrznych, otworów o małych średnicach, rowków o zarysie trapezowym i bicia średnicy podziałowej kół zębanych o zębach skośnych oraz kół ślimakowych. Są one produkowane jako narzędzia pomiarowe, choć nieznormalizowane. Dobrym sposobem ich pozyskania jest rozebranie łożyska kulkowego. Oczywiście po uprzednim sprawdzeniu przydatności zawartych w nim kulek do pomiaru. Łożysko musi być nieużywane, a kulki nieuszkodzone. Następnie należy ustalić ich dokładną średnicę i błąd kształtu. Oczywiście materiałem jest stal łożyskowa o twardości HV 772.

4. Płyty pomiarowe

Płyta pomiarowa MLFa wg normy PN-ISO 8512-1 „Płyty pomiarowe. Płyty żeliwne” lub PN-ISO 8512-2 „Płyty pomiarowe. Płyty granitowe” jest wzorcem płaskości o określonej dokładności. Wykonywane są z żeliwa szarego o twardości min.150 HB. Nie jest to twardość zbyt duża i nie gwarantuje samoistnej nieuszkodzalności płyty. Z tego powodu należy je nakrywać płytami drewnianymi lub pilśniowymi. Celowe jest okresowe sprawdzanie właściwości metrologicznych płyty wg wytycznych Dziennika Urzędowego Miar i Probiernictwa nr 7/96. Podczas pracy z przedmiotami ze stali należy poruszać je ostrożnie, aby nie zarysować powierzchni płyty, a w szczególności unikać punktowego styku przedmiotu z płytą. Wskazane jest wykorzystywanie całej powierzchni płyty, co wydłuży jej żywotność. Płyty pomiarowe powinny być ustawione poziomo. Ułatwi to pracę z kulkami i walcami. Są używane jako płaszczyzny podstawowe przy pomiarach i pracach traserskich. Wyposażone są w trzy punkty podparcia i dwa wkręcane uchwyty do transportu.



Rys. 15. Kwadratowa żeliwna płyta pomiarowa

Płaskość powierzchni roboczej płyt pomiarowych podaje tabela 3 – wg w/w normy.

Tabela 3. Dokładność wykonania płyt pomiarowych

Wymiary płyty [mm]	Tolerancja płaskości całej powierzchni roboczej płyty wg klas w [μm]			
	0	1	2	3
160 x 100	3,0	6	12	25
250 x 160	3,5	7	14	27
400 x 250	4,0	8	16	32
630 x 400	5,0	10	20	39
1000 x 630	6,0	12	24	49
2000 x 1000	9,5	19	38	75
250 x 250	3,5	7	15	30
400 x 400	4,5	9	17	34
630 x 630	5	10	21	42
1000 x 1000	7	14	28	56



Rys. 16. Płyta pomiarowa granitowa ze stojakiem

Aby zachować płaskość płyty w granicach tolerancji jej obciążenie musi być dostosowane do wytrzymałości. Maksymalne obciążenia skupione płyt pomiarowych żeliwnych podaje tabela 4.

Tabela 4. Maksymalne obciążenie skupione płyt pomiarowych żeliwnych

Wymiary płyty	Masa skupiona obciążenia maks. [kg]			
	0	1	2	3
prostokątne				
400 x 250	40	80	160	320
630 x 400	50	100	200	390
1000 x 630	60	120	240	490
1600 x 1000	80	160	320	500
2000 x 1600	95	190	380	500
2500 x 1600	115	230	460	500
kwadratowe				
400 x 400	45	90	170	340
630 x 630	50	100	210	420
1000 x 1000	70	140	280	500

Na płytach żeliwnych można mocować czujnik zegarowy na podstawce magnetycznej. Zaletą płyt granitowych jest to, że nie ulegają wpływom pól elektromagnetycznych i oczywiście nie przewodzą prądu elektrycznego. Twardość użytego granitu wynosi 6 do 7 stopni wg skali Mohs'a, i jest większa od żeliwa. Współczynnik rozszerzalności cieplnej jest mniejszy od żeliwa i wynosi:

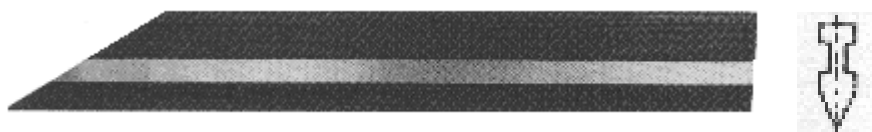
$$\alpha = 8,5 \times 10^{-6} \times \text{°K}^{-1}.$$

5. Liniąły pomiarowe

Liniąły pomiarowe służą do oceny odchyłki prostoliniowości i płaskości badanych przedmiotów; nie służą do pomiaru długości, gdyż nie mają podziałki, lecz wykazują szczeliny między powierzchnią badaną a krawędzią lub powierzchnią liniąłu. Pomiar szczeliny należy dokonać innymi narzędziami.

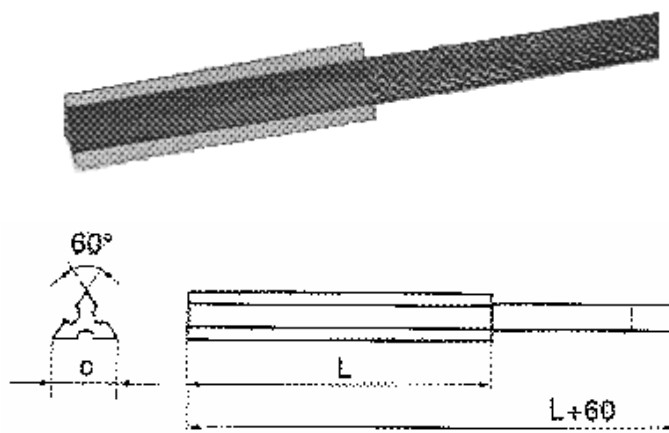
Liniały krawędziowe znajdują zastosowanie przy sprawdzaniu prostoliniowości lub płaskości powierzchni przez obserwację szczeliny świetlnej między liniałem a sprawdzaną powierzchnią. W/w błędy o większej wartości, gdy prześwit jest dostatecznie duży, można mierzyć szczelinomierzem, mniejsze poprzez porównanie ze szczeliną wzorcową. Liniały krawędziowe opisuje norma PN-74/M-53180 „Narzędzia pomiarowe. Liniały krawędziowe i powierzchniowe”. Wyróżnia następujące ich rodzaje:

- a) jednokrawędziowe MLWa o tolerancji prostoliniowości w dwóch klasach; 0 i 1, uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 5;



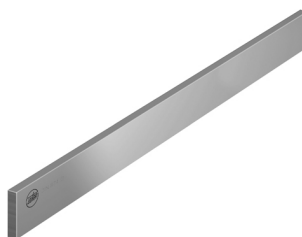
Rys. 17. Liniał jednokrawędziowy

- b) trójkrawędziowe MLWc, o tolerancji prostoliniowości w dwóch klasach; 0 i 1, uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 5;



Rys. 18. Liniał trójkrawędziowy

- c) powierzchniowe prostokątne MLTa o tolerancji płaskości w trzech klasach: 00, 0, 1 uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 5;



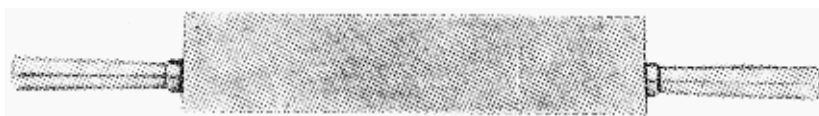
Rys. 19. Liniał powierzchniowy prostokątny

- d) powierzchniowe uźebrowane MLTb, o tolerancji płaskości w trzech klasach; 0, 1, 2, uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 7;



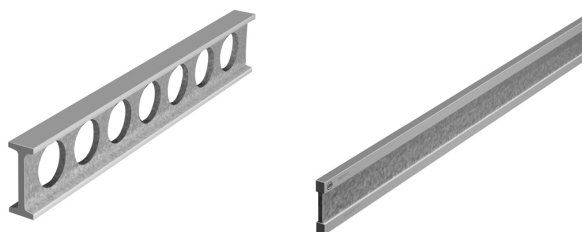
Rys. 20. Liniał powierzchniowy uźebrowany

- e) powierzchniowe trójkątne MLTc, o tolerancji płaskości w trzech klasach; 0, 1, uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 7. Dodatkowo liniały trójkątne odtwarzają kąty o wartościach 45° , 60° , 90° lub rzadziej 50° i 55° w zależności od wykonania. Tolerancja $\pm T_\alpha/2$ kąta pomiarowego liniałów trójkątnych powierzchniowych znajduje się w tab. 8 (s. 127).



Rys. 21. Liniał powierzchniowy trzykrawędziowy

- f) powierzchniowe dwuteowe MLTe, o tolerancji płaskości w trzech klasach; 00, 0, 1, uzależnionej od długości liniału L w mm, wyrażone w μm – wg tab. 7;



Rys. 22. Liniały powierzchniowe dwuteowe

- g) liniał strunowy, czyli napięta, ale dostatecznie wiotka struna (najczęściej żyłka); często stosowany na warsztacie sposób pomiaru odchyłki od prostości i płaskości, zwłaszcza brył dużych i nieforemnych. Nowoczesną formą liniałów strunowych są urządzenia laserowe;

- h) suwmiarka, ramiona kątownika, przymiary są również stosowane w praktyce warsztatowej jako linały powierzchniowe, a przechylone na bok służą jako linały krawędziowe. Również prowadnice obrabiarek w pewnych okolicznościach mogą pełnić rolę linału. Oczywiście należy przedtem upewnić się, co do ich własności metrologicznych jako linałów.

Linały krawędziowe (zwane też włosowymi) i powierzchniowe prostokątne oraz dwuteowe wykonane są ze stali stopowej narzędziowej do pracy na zimno o twardości HRC 60 lub stali odpornej na korozję o twardości HRC 50. Linały powierzchniowe uźebrowane i trójkątne wykonane są z żeliwa szarego o twardości min. 170 HB. Chropowatość krawędzi i powierzchni pomiarowych wynosi od Ra 0,08 do 1,25 μm , w zależności od klasy dokładności.

Tabela 5. Tolerancje prostoliniowości w [μm] krawędzi pomiarowych linałów krawędziowych

Długość linału L [mm]	Linały jednokrawędziowe		Linały trójkrawędziowe	
	Klasy dokładności			
	0	1	0	1
50	–	–	1	3
75	0,5	2		
100				
150	1,0	3	–	–
200				
300	1,5	4	–	–
400				
500	2,5			

Tabela 6. Tolerancje płaskości linałów powierzchniowych prostokątnych dwuteowych

Długość linału [mm]	Tolerancja płaskości [μm] Klasa dokładności		
	00	0	1
400	2,5	6	10
630	4,0	10	16
1000	6,0	12	20
1600	–	16	25
2500	–	25	40
4000	–	40	60