

**POMIARY I NARZĘDZIA DO
POMIARÓW WARSZTATOWYCH**

Oddział w Bytomiu
BIBLIOTEKA TECHNICZNA

TOM 1.

POMIARY I NARZĘDZIA

DO POMIARÓW WARSZTATOWYCH

NAPISAŁ

INŻ STANISŁAW DĘBICKI



CIESZYN 1925

NAKLAD I WŁASNOŚĆ WYDAWNICTWA B. KOTULI

SKŁADY GŁÓWNE: DOM KSIĄŻKI POLSKIEJ WARSZAWA, GEBETHNER I WOLFF KRAKÓW, GEBETHNER I WOLFF PARYŻ, KSIĄŻNICA-ATLAS ZJEDN. ZAKŁ. KART. I WYD-TOW. NAUCZ. SZKÓŁ ŚRED. I WYŻSZYCH, SKA AKC., LWÓW UL. CZARNIECKIEGO 12, KSIĘGARNIA „KRESY” CIESZYN, KSIĘGARNIA ŚW. WOJCIECHA POZNAŃ.

19210

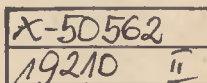
II.

WSZELKIE PRAWA DAJSZYCH TŁUMACZEŃ I
PRZERÓBEK ZASTRZEŻONE.

COPYRIGHT BY B. KOTUŁA CIESZYN, POLAND.



51 -





Słowo wstępne.

Walka jest podstawą życia, bo walką zdobywa się warunki życiowe tak dla jednostki, jak i dla całych narodów. Zwycięża silniejszy w najogólniejszym znaczeniu tego słowa, więc najlepiej zaopatrzony w środki do walki — a trzeba sobie uprzytomnić, że bronią jest nie tylko karabin, bo bitwy są stosunkowo rzadko militarne, lecz także narzędzie pracy, którem walczy się na polu ekonomicznym, zasianem kominiarzami fabrycznymi, gdzie walka nigdy nie ustaje i gdzie odniesione zwycięstwo jest z pewnością bardziej doniosłe od zwycięstw na polach zasianych okopami i kolczastymi drutami. Walka na polu ekonomicznym opiera się przede wszystkim na dobrej organizacji pracy, oszczędności materiału i czasu, dobrem wykształceniu robotnika. Wojna światowa, której byliśmy uczestnikami i widzami, dała wiele wyrazistych przykładów, jakie znaczenie ma organizacja, dobry materiał ludzki i mocny przemysł. Jeszcze bardziej pouczające są obecne czasy, jeżeli się obserwuje sposoby walki ekonomicznej. Widzimy, jak potężnie biorą się za bary najtężsi współzawodnicy: Stany Zjednoczone Ameryki, Anglia, Francja, Niemcy, Japonia. My jesteśmy jeszcze na razie w okresie przygotowawczym, patrzymy na walczących i uczymy się sposobów walki, — ale za naukę trzeba płacić, więc musimy się starać jak najprędzej dorównać współzawodnikom, tem bardziej, że walka na polu ekonomicznym jest bezwzględna i to, że się jest jeszcze uczniem, nie usprawiedliwia ani nie chroni od pobicia — raczej przeciwnie.

Podstawową zasadą nowoczesnego przemysłu technicznego jest wytwarzanie jak najproszymi środkami i jak naj-

mniejszym zużyciem materiału i czasu. Jednym z najważniejszych środków prowadzących do tego celu jest dokładne mierzenie i dobre narzędzie miernicze, bo od tego zależy dokładność wyrabianych części i łatwość składania ich w całość bez konieczności stosowania dawniejszych sposobów dopasowywania, przy którym marnuje się tak wiele czasu i materiału. Dokładność obróbki, zależna od możliwości mierzenia bardzo małych różnic w wymiarach obrabianych przedmiotów, umożliwia wyrób części wymiennych, którymi bez dopasowywania na miejscu można zastąpić części zużyte lub uszkodzone. Zachowanie pożądaných wymiarów obrabianego przedmiotu w bardzo ciasnych granicach dopuszczalnych błędów jest bardzo ułatwione, gdy pomiar jest uniezależniony od »czucia« mierzącego. Mając narzędzie umożliwiające takie mierzenie, osiągamy i tę korzyść, że pomiar jest łatwiejszy i może być wykonany przez robotnika mniej wprawnego, więc tańszego, który skutecznie pomiar z wymaganą dokładnością i w krótszym czasie. Nie należy jednak sądzić, że zdołamy kiedykolwiek osiągnąć bezwzględną dokładność pomiaru. Pomiar wykonany najlepszym narzędziem może wykazać mniejsze lub większe błędy, które można zmniejszyć przez zachowywanie pewnych środków ostrożności. Więc dokładność pomiarów zależy też od tego, czy mierzący zna możliwe źródła błędów, aby ich mógł uniknąć.

Celem tej książki jest zatem wskazanie różnych metod wykonywania pomiarów, narzędzi używanych do tego celu, oraz środków ostrożności, jakie muszą być zachowane, aby pomiar był dokładny. Ponieważ w naszej literaturze technicznej niema jeszcze podręcznika w tym rodzaju, więc sądzę, że praca ta nie będzie bez pożytku.

P o z n a ń, 23. lutego 1924.

Inż. Stanisław Dębicki.



I. Pojęcie zasadnicze.

Mierzenie. — Mierzeniem nazywamy porównywanie jakiejś wielkości nieznanej z wielkością znaną i przyjętą za jednostkę mierniczą. Porównywać ze sobą można tylko wielkości równorzędne (tego samego wymiaru), więc długość z długością, powierzchnię z powierzchnią, siłę z siłą, prędkość z prędkością i t. d. Mając więc n. p. zmierzyć długość pręta, porównujemy ją z długością znaną, n. p. z metrem.

Sposoby mierzenia. — Pomiar może być wykonany w sposób bezpośredni lub pośredni. W pierwszym wypadku wyznaczamy wielkość, mierzoną przez bezpośrednie porównanie jej z miarą, czyli z równorzędną wielkością, przyjętą za jednostkę mierniczą. Tego sposobu użyliśmy, wyznaczając długość pręta i ten sam sposób zastosowalibyśmy, mierząc wielkość jakiejś powierzchni w ten sposób, że nakrylibyśmy ją przejrzystym papierem kratkowanym i obliczyli, ile kwadracików kratki mieści się na mierzonej powierzchni. W drugim wypadku, gdy mierzymy sposobem pośrednim, nie wyznaczamy wprost wielkości mierzonej, lecz mierzymy jakąś inną wielkość, która z wielkością mierzoną jest w jakimś ścisłym związku. Tak n. p. zważywszy jakieś ciało, możemy obliczyć jego objętość, znając jego ciężar właściwy (ciężar 1 cm^3 tego ciała). — Przypuśćmy n. p., że pręt stalowy waży 450 gr, to ponieważ ciężar właściwy stali wynosi 7,8 gr, więc objętość naszego pręta będzie równa $\frac{450}{7,8} = 57,6\text{ cm}^3$. Znając jeszcze średnicę pręta, wynoszącą n. p. 16 mm, możemy z je-

go ciężaru obliczyć też pośrednią drogą jego długość l , bo:

$$\frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \cdot l \cdot 7,8 = 450$$

więc $l = 286, \dots$ mm.

Jednostka miernicza. — Pomiar jakiegokolwiek wielkości ma dopiero wtenczas ogólnie praktyczną wartość, gdy użyto do pomiaru ogólnie przyjętej jednostki mierniczej, bo dopiero wtenczas można porównać ze sobą wielkości, zmierzone przez różnych ludzi i w różnych miejscach. Dla pomiarów warsztatowych najważniejsza jest jednostka długości, dlatego też obszerniej się nią zajmiemy.

Już w najdawniejszych czasach obierano pewne długości, dające się łatwo odtworzyć, jako jednostki miernicze. Według wszelkiego prawdopodobieństwa Chajdejczycy byli pierwszym narodem (ok. 3000 lat p. Chr.), który usiłował ustanowić pewne miary. Przez stosunki handlowe przyjęte jednostki miernicze rozpowszechniały się dalej. Długości mierzono wówczas krokiem, stopą, łokciem, szerokością dłoni i palca, długością daktyla i ziarnka jęczmienia, grubością wielbłądziej sierści. U Arabów największą miarą podstawową był »czarny łokieć«, równy długości 519,6 mm, najmniejszą »włos wielbłądzi«, równy 0,4 mm. Grecy przyjęli miary z pewnemi zmianami od Egipcjan. Rzymianie przechowywali swoje miary podstawowe na kapitolu. Poszczególne wielkości miernicze tych narodów nie były uporządkowane w jakimś ustalonym związku i z tego powodu za najlepszy uchodził system miar Chińczyków i Japończyków, którzy zestawili swe miary w systemie dziesiętkowym, co ułatwiało wzajemne porównywanie różnych wielkości. Niektóre z tych najstarszych miar zachowały się dotąd, lecz stopniowo coraz szybszy rozwój przemysłu i stosunków międzynarodowych domagał się coraz usilniej uporządkowanego i ogólnie przyjętego systemu miar. Jako pierwszy wystąpił sławny fizyk holenderski Huygens (1629 — 1695 r.) z propozycją, żeby przyjąć za jednostkę długość wahadła, które w jednej sekundzie przebiega pewną określoną drogę. Projekt ten jednak nie utrzymał się, bo długość takiego wahadła byłaby w różnych miejscach różna, w za-

leżności od siły przyciągania ziemskiego, które nie jest jednakowe we wszystkich miejscach powierzchni ziemi.

W r. 1790 ustanowiono w Paryżu jako jednostkę mierniczą metr, równający się długości jednej dziesięciomiljonowej (10^{-7}) części ćwiartki południka ziemskiego, przechodzącego przez Paryż. Ustaloną we Francji jednostkę długości przyjmowały kolejno inne narody, względnie państwa, lecz mimo oczywistych korzyści, jakie daje ustalenie miar, nie odbywało się to tak szybko, jakby można przypuszczać (Włochy w r. 1803, Holandja i Belgja w r. 1821, Grecja 1836, Hiszpanja 1859, Niemcy 1872, Austrija 1876 i t. d.). Dziś nawet jesteśmy jeszcze dość daleko od powszechnego ujednostajnienia miar, bo jeżeli weźmie się pod uwagę choćby tylko narody zaliczające się do cywilizowanych, to obok miar, których podstawą jest metr, używa się tam także innych jednostek mierniczych (Anglja, Ameryka, Rosja, Bułgarja, Rumunja i t. d.). W każdym razie jednak nie ulega wątpliwości, że metr należy uważać za międzynarodową jednostkę długości, która musi być zatem dokładnie oznaczona, aby można z nią porównywać miary, będące w używaniu. W tym właśnie kierunku pracowała w Paryżu międzynarodowa komisja, która w latach 1875 do 1882 ukończyła swe prace, poczem każde z państw, należących do konwencji, otrzymało prototyp metra i ciężarka kilogramowego. Według prototypu wyrabia się z możliwą dokładnością wzorce, które służą do bezpośredniego sprawdzania miar długości.

Prototyp metra jest wykonany ze stopu platyny z irydem, a jego przekrój ma kształt litery H, aby był możliwie lekki i sztywny, t. zn. nie ulegał odkształceniom — głównie przez wyginanie. Długość metra jest zaznaczona kreskami o grubości 0,006 mm. Porównując długość wzorca z prototypem, używa się specjalnie dostosowanego w tym celu mikroskopu.

Błędy pomiaru. — Każde porównywanie dwóch wielkości, czyli mierzenie, nie jest nigdy bezwzględnie dokładne, gdyż zależy od zmiennej wrażliwości zmysłów, którymi posługujemy się w czasie wykonywania pomiaru, przytem po-

sługujemy się też różnymi narzędziami mierniczemi, których wykonanie także nie może być bezwzględnie dokładne. — Z tych i innych jeszcze powodów wyniki wielokrotnego pomiaru tej samej wielkości mogą wykazywać pewne różnice w kierunku dodatnim lub ujemnym. Te różnice między wynikami pomiaru a rzeczywistą wartością wielkości mierzonej nazywamy błędami pomiaru. Błąd pomiaru określa zarazem dokładność, względnie niedokładność pomiaru, która może być podana jako wielkość absolutna, n. p. $\pm 0,001$ mm, albo też może być oznaczona w stosunku do wielkości mierzonej, n. p. $\pm 0,2^0/0$. Stosownie do tego odróżniamy **niedokładność bezwzględną i niedokładność względną**.

W cyfrowym wyniku pomiaru dokładność uwidocznia się w ilości miejsc dziesiętnych i dlatego należy wstawiać tylko te, które są zupełnie pewne (nawet gdyby były zerami). Głównym źródłem wstawiania niepewnych cyfr w wyniku jest rachunek. Jeżeli n. p. obliczamy pewną długość jako różnicę dwóch innych długości odmierzonych, to możemy przyjąć, że $32,8 - 0,612 = 32,2$ a nie 32,188, albo jeżeli obliczamy powierzchnię $32,4 \times 0,538$, to pewne jest co najwyżej 17,43 lecz nie 17,4312.

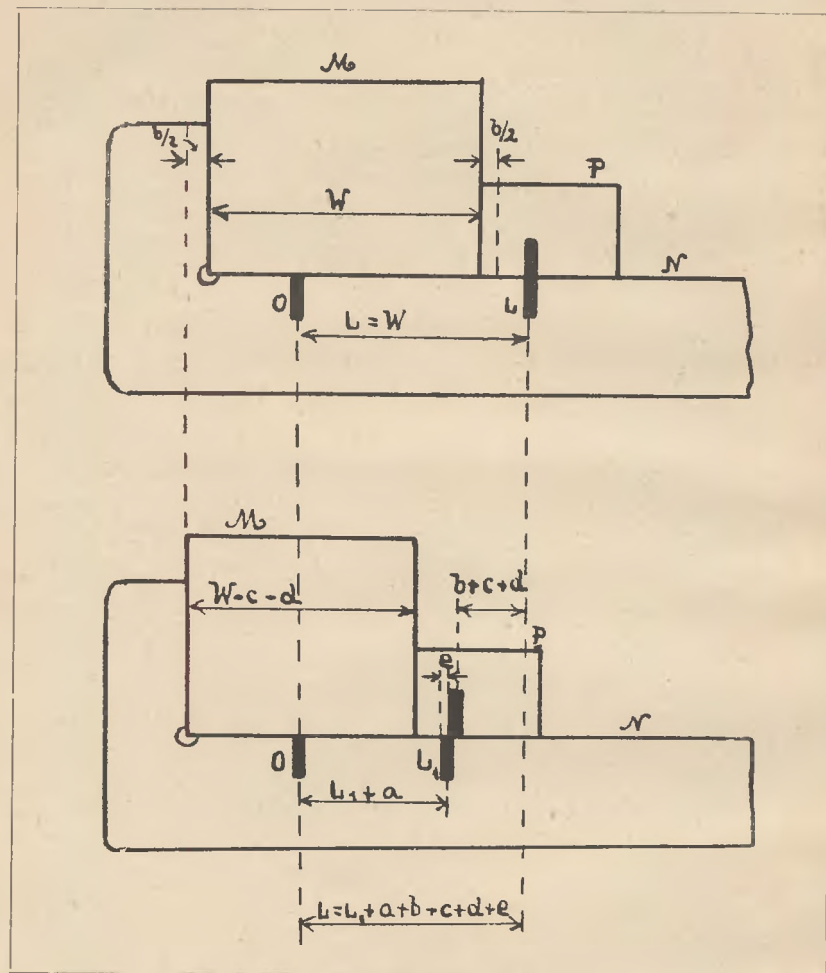
Źródła błędów pomiaru. — Rozważając szczegółowo źródła błędów pomiaru, możemy odróżnić: 1. błędy popełnione przez mierzącego, gdyż dokładność pomiaru zależy od zręczności i wprawy, bystrości wzroku, czułości dotyku i t. d.; 2. błędy, pochodzące od przyrządu mierniczego a wynikające z niedokładności wykonania lub zużycia; 3. błędy mające przyczyny zewnętrzne, jak n. p. zmiany temperatury, złe oświetlenie, niewygodne położenie przymiaru lub trudny dostęp do przedmiotu mierzonego i t. p. Odnosnie do punktu pierwszego stwierdzono doświadczalnie, że czułość dotyku, od której zależy wielkość nacisku, wywieranego na mierzony przedmiot przez części dotykowe narzędzia mierniczego, może powodować błędy dość znaczne, n. p. u drobnomierzy i przymiarów przesuwkowych od 0,02 do 0,05 mm. Podobnie też niedoskonałość oka ludzkiego powoduje błędne odczytywanie uchwyconego wymiaru,

bo trudno jest dokładnie ocenić, czy n. p. kreska podziałki (mająca pewną szerokość) nakrywa się ściśle z krawędzią mierzonego przedmiotu lub z przeciwległą kreską innej podziałki i t. p. W odniesieniu do punktu drugiego można zauważyć, że zużycie narzędzia mierniczego ujawnia się przedewszystkiem na powierzchniach dotykowych, a jego wielkość zależy od twardości tych powierzchni i od sposobu używania narzędzia mierniczego, bo niektóre z nich nasuwa się na przedmiot mierzony (n. p. sprawdziany widelkowe), natomiast innemi mierzy się w ten sposób, że powierzchnie dotykowe zbliżają się prostopadle do przedmiotu.

Wpływ temperatury. — Jak wiadomo, wszystkie ciała zmieniają swą objętość w zależności od zmian temperatury, wskutek czego ulegają też zmianom ich poszczególne wymiary. Jeżeli zatem oznaczenie jakiegoś wymiaru ma być jednoznaczne, to musi być podana temperatura, przy jakiej pomiar wykonano. Należy też uwzględnić, że różne materiały mają różne współczynniki rozszerzalności, co może być również źródłem błędu, jeżeli się nie uwzględni temperatury pomiaru. Jeżeli n. p. oznaczmy długość 1 m na stali i na mosiądzu przy temperaturze 0^0 C i jeżeli stal rozszerza się przy ogrzaniu o 1^0 C o 0,0115 mm na 1 m, a mosiądz o 0,00185 mm na 1 m, to przy temperaturze 20^0 C metr stalowy będzie miał długość 1,000230 m, a mosiężny 1,0000370 m. Obydwie miary, zgadzające się dokładnie przy temperaturze 0^0 C , będą się zatem różniły przy 20^0 C o 0.14 mm. Z tych powodów narzędzia miernicze muszą być kalibrowane przy pewnej z góry określonej temperaturze, zwanej temperaturą normalną, która powinna być zaznaczona na narzędziu, bo tylko w tej temperaturze posiada ona swój wymiar nominalny.

W Niemczech ustalono jako temperaturę normalną 20^0 Celsjusza (Francja 0^0 C , Ameryka i Anglja $16,7^0\text{ C}$), chociaż jasnem jest, że teoretycznie każdą dowolną temperaturę możnaby obrać za normalną, ale ze względów praktycznych jest najkorzystniej, gdy temperatura normalna odpowiada o ile możności temperaturze używania narzędzia mierniczego. Mniejsze wahania temperatury, nie przekraczające kilku

stopni, nie powodują większych błędów, które są wtedy mniejsze od dokładności samego narzędzia mierniczego, lecz trzeba pamiętać o tem, że błąd ten znacznie się powiększa,



Rys. 1. a, b.

gdy wykonywamy pomiar na przedmiocie ogrzanym, n. p. wskutek obróbki, albo gdy narzędzie miernicze ogrzało się wskutek dłuższego trzymania go w ręku i t. p. W jaki sposób poszczególne błędy pomiaru wpływają na ogólny wynik pomiaru, objaśnia rys. 1. a, b, przedstawiający pomiar

długości przedmiotu M pomiędzy powierzchnią dotykową narzędzia mierniczego N i suwki P.¹⁾

Przypuszczamy, że przedmiot jest o parę stopni chłodniejszy, więc skurczył się o długość c ; wskutek zbyt silnego nacisku suwka jest za blisko o długość d , więc długość W mierzonego przedmiotu wynosi pozornie $W - c - d$ (jeżeli przyjmiemy, że zbyt silny nacisk suwki spowodował zgniecenie mierzonego przedmiotu). Obydwie powierzchnie dotykowe są starte na długościach $b/2$, razem zużycie ich wynosi b . Kreska podziałki suwki nie nakrywa się dokładnie z kreską podziałki prowadnicy narzędzia mierniczego i jest przesunięta na prawo o wielkość e , różnicy tej jednak oko nie dostrzega. Kresce podziałki prowadnicy odpowiada wymiar L_1 , który jednak z powodu niedokładności wykonania znajduje się nie w odległości L_1 od O , lecz w odległości $L_1 + a$. Odczytujemy zatem skróconą długość przedmiotu, równą odstępowi znaków na podziałce $L_1 + a$, powiększonemu o nieuwzględnione przy odczytywaniu zużycie b i błąd odczytu e , więc $W - c - d = L_1 + a + b + e$, skąd $W = L_1 + a + b + c + d + e$. Porównując obydwie szkice, widzimy jasno, że rzeczywisty wymiar $L = L_1 + a + b + c + d + e$, względnie $L = L_1 - a - b - c - d - e$ różni się od błędnego odczytu o sumę wszystkich błędów.

Jeżeli naodwrot odnośny znak podziałki narzędzia mierniczego będzie przesunięty o długość a w lewo, części narzędzia są niezużyte, przedmiot mierzony ogrzany, nacisk suwki anormalnie mały, to błąd pomiaru przesunie się w przeciwnym kierunku i wtedy odczytana długość:

$$L_2 = L + a + c + d + e,$$

więc krańcowe odczyty błędne różnią się o:

$$R = 2a + b + 2c + 2d + 2e,$$

zatem dokładność pomiaru równa się algebraicznej sumie wszystkich błędów.

Rozważaliśmy tu krańcowe wypadki takie, że wszystkie błędy występowały w tym samym kierunku, lecz w rze-

¹⁾ Zob. W. T. r. 1920, str. 426.

czywistości kierunki ich mogą być różne, to znaczy, że w sumie algebraicznej będą one miały różne znaki, wskutek czego sumaryczny błąd pomiaru może być mniejszy lub w szczególnie korzystnych warunkach może nawet zupełnie zniknąć.

Znając źródła błędów pomiaru, staramy się wielkość ich o ile możliwości zmniejszyć. W tym kierunku właśnie dąży nowoczesna technika, ulepszając ciągle narzędzia miernicze tak co do dokładności ich wyrobu, jako też starając się poprawić niedoskonałość zmysłów ludzkich środkami mechanicznymi. Należy jeszcze zauważyć, że błędy te brane poszczególnie nie wykazują żadnej prawidłowości, lecz zależą od przypadku, więc chcąc otrzymać jak najprawdopodobniejszą wartość mierzonej wielkości, wykonywamy większą ilość pomiarów tej samej wielkości. Z uzyskanych wyników obliczamy wartość średnią, która będzie najwięcej zbliżona do rzeczywistej, bo w dużej ilości pomiarów znajdzie się prawie tyle błędów w jednym kierunku, co i w drugim, więc niektóre z nich znikną a inne się zmniejszą.

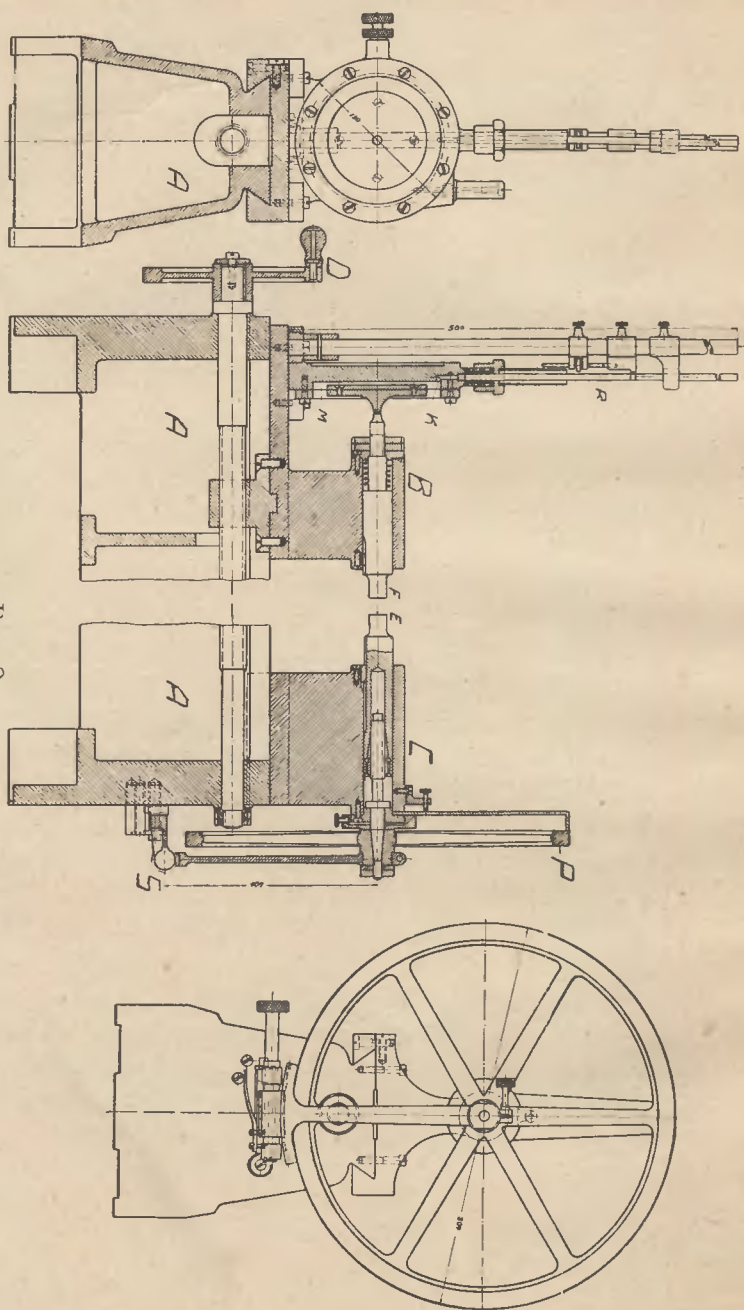
SPRAWDZANIE MIAR. Jednym z najważniejszych źródeł błędów pomiaru jest niedokładność narzędzia mierniczego, której powodem może być wadliwe wykonanie narzędzia, albo też jego zużycie. Z tego powodu każde nowe narzędzie miernicze musi być dokładnie sprawdzone a także narzędzia, będące już w użyciu, należy co pewien czas sprawdzać. Sprawdzanie to jest oczywiście znowu mierzeniem, więc może wykazywać te same błędy, które omówiliśmy poprzednio, lecz wielkość ich staramy się sprowadzić do minimum, uskuteczniając ostateczne sprawdzanie w specjalnych zakładach, zaopatrzonych w najczulsze przyrządy miernicze, obsługiwane przez personal wyszkolony i doświadczony. Mierzenie czyli sprawdzanie odbywa się wtedy zapomocą **maszyny mierniczej**, na której oznacza się wymiary wzorców, służących dalej do sprawdzania narzędzi mierniczych, przeznaczonych do szerszego użytku. Warsztatowych narzędzi mierniczych nie sprawdza się bezpośrednio przy pomocy maszyny mierniczej, bo to wymaga, jak już wspomniano, specjalnie wyszkolonej obsługi i ściśle

określonych warunków otoczenia (temperatura, światło i t. d.), więc taka centralizacja kontroli miar jest konieczna ze względów praktycznych.

MASZYNA MIERNICZA. Maszyna miernicza służy zatem do porównywania sprawdzanych miar z precyzyjną miarą kontrolną czyli wzorcową. Dokładność maszyn mierniczych różnego typu może wynosić od $2\ \mu$ do $2\ \mu$ ($\mu = 0,001\text{ mm}$). Zasada działania maszyn mierniczych polega na tem, że pomiędzy powierzchnie dotykowe maszyny wstawia się miarę wzorcową, poczem dosuwa się jeden z dotyków aż do osiągnięcia pewnego określonego nacisku między dotykami a kocówkami miary wzorcowej. Nastawialny dotyk przesuwają się zapomocą śruby drobnomierza, na którego tarczy odczytuje się położenie dotyku maszyny. Po zdjęciu z maszyny wzorca wstawia się w jego miejsce miarę sprawdzaną i postępuje jak przedtem. O ile długości obu miar nie są zgodne, to różnica ich długości odczytuje się na skali tarczy drobnomierza. Wrzeczono śrubowe, przesuwające ruchomy dotyk, musi być oczywiście wykonane z możliwą dokładnością i zabezpieczone przed luznymi ruchami. Niezmienny nacisk dotyków na końcówki miary sprawdzanej względnie wzorca uzyskuje się różnymi sposobami. Najczęściej określa się wielkość tego nacisku sposobem hydraulicznym lub przy pomocy czujnika, albo też elektrycznie. Maszyna miernicza jest także zaopatrzona w precyzyjną miarę z podziałką na całej długości, co umożliwia bezpośrednio odczytywanie długości bez porównywania ze wzorcem.

Rys. 2. przedstawia maszynę mierniczą starszego typu (J. E. Reinecker, Chemnitz), która nie dorównuje dokładnością maszynom nowszym (Hommelwerke, Mannheim; C. Mahr, Esslingen; Sautter i Messner, Aschaffenburg), lecz wystarcza do zrozumienia zasady działania takich maszyn.

Na dokładnie wykonanem łożu A znajdują się dwa koziółki B, C, z których prawy jest nieruchomy a lewy przesuwalny wzdłuż łoża zapomocą śruby i kółka ręcznego D. W koziółku C jest pomieszczony dotyk E, nastawialny za-

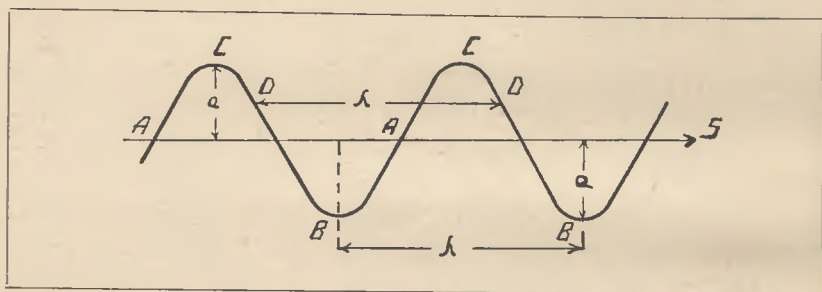


pomocą śruby mikrometrycznej z kołem podziałkowym P. W koziołku B znajduje się dotyk czujkowy F, który przenosi nacisk, wywierany na jego powierzchnię w czasie mierzenia, na ciecz zawartą w komorze K, za pośrednictwem błony M. Wskutek tego ciśnienia słupek cieczy w pionowej rurce R podnosi się do pewnej wysokości, zależnej od wielkości ciśnienia. Przesunięcie dotyku o 0,001 mm powoduje podniesienie się słupka cieczy o 10 mm. Pomiar odbywa się w ten sposób, że pomiędzy dotyki maszyny wstawiamy naprzód na stosownych podpórkach miarę wzorcową i dosuwamy dotyk drobnomierza z grubsza przez pokręcanie koła podziałkowego P., poczem ostateczne dosunięcie dotyku F. uskutecznia się przy pomocy wycinka koła ślimakowego i ślimaka S, przyczem słupek cieczy w rurce musi dojść do pewnej oznaczonej wysokości. Teraz odczytuje się położenie koła podziałkowego P, a potem zluźniwszy dotyk drobnomierza, wyjmuje się wzorzec i wstawia w jego miejsce miarę, której długość ma być sprawdzona. Dotyk E dosuwamy tak samo jak poprzednio, a gdy słupek cieczy w rurce R dojdzie do poprzedniej wysokości, odczytujemy położenie koła podziałkowego P. Różnica obu odczytów podaje różnicę długości wzorca i miary sprawdzanej.

KOMPARATOR INTERFERENCYJNY. Porównanie dwóch różnych długości można też uskutecznić, wyzyskując w tym celu zjawisko, zwane interferencją fal światła. Podstawą do zastosowania interferencji były klasyczne prace A. A. Michelsona (Trav. et Mem. du Bureau International des Poids et Mesures, 1895, Nr. 11).

Interferencją nazywamy wzmaganie się lub osłabianie, a nawet zupełne zanikanie światła w takich punktach, w których schodzą się ze sobą przeciwne fazy fal świetlnych. Teoria falowa światła przyjmuje mianowicie, że promienie światła mają ustrój falisty. Światło powstaje (dla naszego oka) w ten sposób, że w pewnym punkcie rozpoczynają się drgania cząsteczek eteru wypełniającego cały wszechświat i przenoszą się wzdłuż promienia światła z chyżością 300000 km. na sekundę. Cząsteczki eteru drgają w kierunku prostopadłym do kierunku promienia światła, tak że chwilowe po-

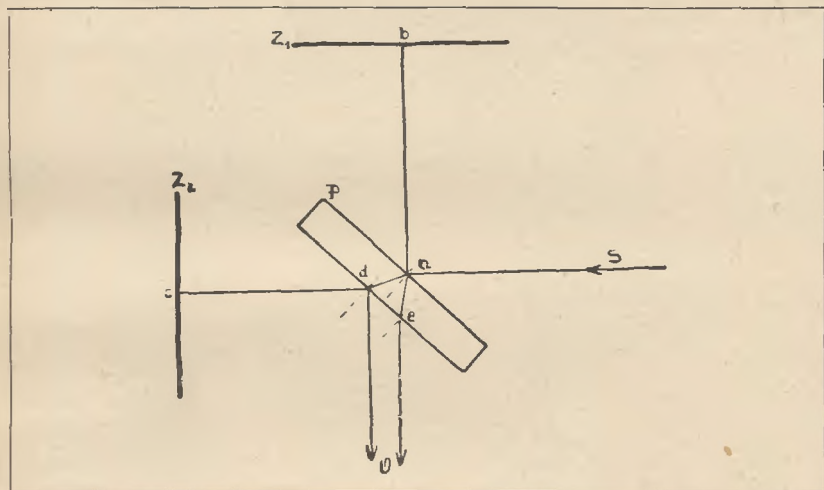
łożenia tych cząsteczek względem kierunku promienia światła S (p. rys. 3) można oznaczyć krzywą falistą $A, C, B, C...$, zwaną sinusoidą. Największe wychylenia (a) cząstek w czasie drgania nazywamy amplitudą, położenie drgającej cząstki w dowolnie obranej chwili fazą a odległość tych samych faz, n. p. BB, DD, CC , nazywamy długością fali λ . Długości fal są różne, zależnie od rodzaju światła i wynoszą od $0,4 \mu$ dla światła fioletowego do $0,7 \mu$ dla światła czerwonego. Jeżeli w pewnym punkcie, czyli na jednej cząstce eteru, zejdą się dwie fale, to cząstka ta otrzymuje dwie pobudki do ruchu, więc zależnie od faz i wielkości amplitud obu fal wy-



Rys. 3.

chylenia tej cząstki staną się większe lub mniejsze, albo też zanikną zupełnie, gdy amplitudy będą równe a fazy przeciwne. Oko spostrzeże to jako wzmożenie względnie osłabienie natężenia światła, lub też jako zupełny jego zanik. Jeżeli spotkanie fal odbywa się nie w jednym punkcie, lecz na szerszej przestrzeni, to w obrębie wspólnym obu wiązkom światła powstaną jaśniejsze i ciemniejsze paski, zwane prążkami interferencyjnymi, które są tem wyraźniejsze i czystsze, im bardziej światło jest jednorodne, t. z. zawierające fale tylko o tej samej długości. N. p. światło słoneczne, lampy łukowe i t. p. nie dają prążków zupełnie czarnych i prążki te są na brzegach zabarwione tęczowo. Celem uzyskania światła dostatecznie jednorodnego używa się filtrów, n. p. szkła zabarwionego czerwono i t. p. Gdy wymagana jest bardzo wielka dokładność, to używa się czerwonego światła kadmu. Odstęp prążków jest tem większy, im większa jest długość fali.

Istnieją różne sposoby wywoływania zjawiska interferencji; dla nas najbardziej interesujący jest ten wypadek, gdy interferencja powstaje wskutek odbijania się promieni światła od bardzo cienkiej warstewki jakiegokolwiek ciała przezroczystego, n. p. cienkiej płytki szklanej, warstewki tłuszczu i t. p. Interferencja powstaje tu wskutek tego, że część światła odbija się od przedniej powierzchni warstewki a część od tylnej, tak że między obu snopami światła nastę-



Rys. 4.

puje przesunięcie faz. Prążki interferencyjne w jednorodnym świetle można zobaczyć już, gdy się złoży dwie płytki szklane, bo wtedy powstawanie ich powoduje warstewka powietrza zamkniętego między płytkami. Rozkład i kształt tych prążków zależy od kształtu warstwy powietrza, w której one się tworzą.

Przykładem zastosowania opisanego zjawiska jest interferometr Michelsona, przedstawiony schematycznie na rys. 4. Snop światła s pada pod kątem 45° na grubą płytę szklaną P , przyczem odbija się częściowo w kierunku $a b$, a częściowo przechodzi przez płytę, załamując się w kierunku $a d c$. Promienie $a b$ padają prostopadle na zwierciadło Z_1 , od którego odbijają się i wracają w kierunku $b a e o$, podobnie też promienie $d c$ odbijają się od zwierciadła Z_2 i

wzdłuż c.d. biegną również do o. Na drodze Sa promienie te mają zgodne fazy, lecz po rozdzieleniu się w punkcie a przebywają różne drogi, tak że po przybyciu do o wykazują różnicę faz, która zależy od położenia zwierciadeł i od grubości płyty P. Tę różnicę faz można dowolnie zmieniać, przesuwając jedno ze zwierciadeł. Jeżeli n. p. przesuniemy zwierciadło Z_1 o ćwierć długości fali ($\lambda/4$), to droga pomienia a b b a e o zmieni się o pół długości fali ($2\lambda/4$), wskutek czego odpowiedni punkt w polu widzenia zaciemnia się, o ile przedtem był jasny. Jeżeli do przesuwania zwierciadła użyjemy śruby, to możemy w ten sposób zmierzyć jej skok czyli wielkość jego określić długością fali użytego światła. Tym właśnie sposobem Michelson sprowadził długość metra do długości fal czerwonego światła rozżarzonych par kadmu ($1 \text{ m.} = 1553163.5 \lambda$).

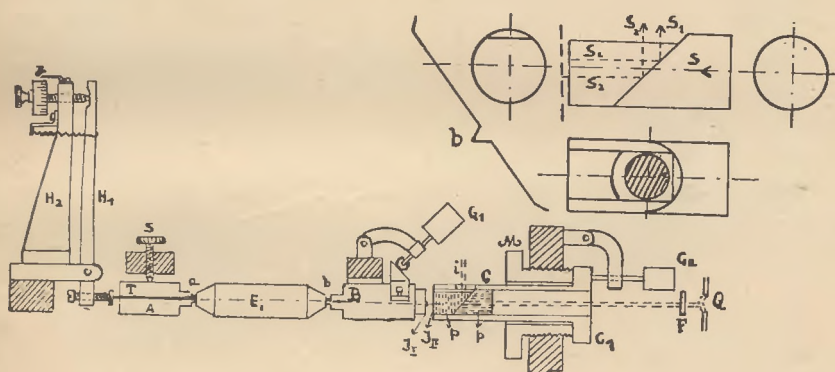
Zjawisko interferencji ma już obszerne zastosowanie w technice pomiarowej¹⁾ i jest też wyzyskane w celach budowy maszyn mierniczych, których konstrukcja jest dość prosta, gdy ma służyć tylko do porównywania miar, t. z. do mierzenia względnego. Jedną z takich maszyn mierniczych jest komparator interferencyjny, używany w niemieckim Państwowym Zakładzie fizykalno-technicznym.²⁾ Zasadę działania tej maszyny mierniczej objaśnia rys. 5 a b.

Przypuśćmy, że mamy porównać z długością sprawdziana normalnego E_1 długość jakiegoś sprawdziana E_2 , który jest już nieco zużyty lub tym podobny. Przedewszystkiem zbliżamy dotyk a, przesuwalny na prowadnicach łoża maszyny, do dotyku b na odległość, odpowiadającą w przybliżeniu długości sprawdziana normalnego E_1 , poczem ustalamy położenie walca A śrubą S. Gdy teraz włożymy normalny sprawdzian E_1 między dotyki a, b, komparatora, to ciężarek g_1 dociska ruchomy walec B z dotykiem b do sprawdziana E_1 , zapewniając w ten sposób dobre przyleganie obu dotyków do końcówek

¹⁾ Zob. Pomiarzy techniczne zapomocą fal świetlnych. Prof. Inż. E. T. Geisler.

²⁾ Tätigkeitsbericht der Physik. Techn. — Reichsanstalt, 1916; W. T. Sonderheft II, listopad 1919.

sprawdziana. Powierzchnie obu dotyków są kołowe (średnica około 1,5 mm.), dokładnie płaskie i prostopadłe do osi walców A, B. W tem położeniu powierzchnia I_1 walca B nie styka się z powierzchnią I_2 urządzenia interferencyjnego, lecz pozostaje tam szczelina o pewnej szerokości. Urządzenie interferencyjne składa się z dwóch pryzmatów, całkowicie odbijających światło (p. rys. 5 b) i osadzonych w stalowej rurze C_1 . Lewa powierzchnia skośna (lewego pryzmatu) jest przeźroczysta posrebrzona i spojona kanadyjską żywicą ze skośną powierzchnią prawego pryzmatu. Promienie rtę-



Rys. 5. a, b,

ciowej lampy łukowej Q przechodzą przez filtr F (przepuszczający promień światła o długości fal $\lambda = 0,436 \mu$) i przez pryzmaty, poczem odbijają się od powierzchni I_1 i I_2 ograniczających szczelinę, wracają i odbijają się od posrebrzonej powierzchni pryzmatu tak, że wychodzą na zewnątrz w kierunku i. Jeżeli płaszczyzny I_1 i I_2 są bardzo nieznacznie nachylone względem siebie, to w okienku C zobaczymy prążki interferencyjne równej grubości. Z pomocą mechanizmu dźwigniowego H_1 H_2 przesuwamy teraz bardzo powoli tłoczek T, przechodzący przez wnętrze cylindra A. Wskutek tego przesuwa się także E_1 i B, a w miarę przesuwania się B zmienia się szerokość szczeliny między powierzchniami I_1 , I_2 . Z chwilą, gdy szerokość szczeliny zaczyna się zmieniać, zaczynają się też przesuwać prążki

interferencyjne i zatrzymują się dopiero wtedy, gdy nastąpi zetknięcie się powierzchni I_1 , I_2 . Patrząc w okienko C, można policzyć przesuwające się prążki z dokładnością do $1/10$ wzgl. $1/20$, a ponieważ przejściu jednego paska odpowiada zmiana szerokości szczeliny o $\lambda/2 = 0,218 \mu$, więc dokładność pomiaru szczeliny wynosi 0,002 do $0,01 \mu$.

Jeżeli teraz wyjmiemy sprawdzian E_1 a włożymy E_2 i wraz z dotykami sprowadzimy go do początkowego położenia, to znowu powstanie między I_1 , I_2 szczelina, której szerokość mierzy się tak, jak poprzednio. Różnica szerokości obu szczelin równa się różnicy długości obu sprawdzianów. Dokładne sprowadzenie rury C_1 do początkowego położenia umożliwia jej kryza, opierająca się na śrubie mikrometrycznej M, przyczem dobre przyleganie zabezpiecza ciężarek g_2 . Pokręcając śrubę M, można tak uregulować szerokość szczeliny, aby ona była prawie równa różnicy mierzonych długości, bo w ten sposób skraca się czynność liczenia prążków interferencyjnych.



II. Narzędzia miernicze.

UWAGI WSTĘPNE. Ze względu na rodzaj i sposób używania można podzielić narzędzia miernicze na p o m o c n i c z e, które nie podają bezpośrednio mierzonych wymiarów i narzędzia miernicze w ściślejszem znaczeniu, na których odczytujemy mierzoną wielkość. Te ostatnie mogą służyć do mierzenia wzgl. sprawdzania zawsze tej samej wielkości, i to są miary stałe czyli nienastawialne, jak n. p. wzorce, albo też mogą być nastawialne, jak n. p. drobnomierze i wtedy mogą służyć do mierzenia wymiarów różnych, lecz zawartych w pewnych granicach, określonych wielkością samego narzędzia.

Dobre narzędzie miernicze powinno odpowiadać następującym warunkom: Praktyczne używanie narzędzia powinno być łatwe, t. z. wygodne i niemęczące, bo im mniej wygodne jest w używaniu, tem niedokładniejszy jest pomiar i tem prędzej narzędzie ulega zniszczeniu. — Konstrukcja narzędzia powinna być jak najprostsza tak ze względu na jego używanie, jak i ze względu na jego fabrykację. — Od narzędzia należy wymagać jak największej trwałości, gdyż zwłaszcza części dotykowe są narażone na zużycie, które staje się źródłem błędów pomiaru. Z tego to powodu wyrabia się narzędzia miernicze ze stosownie dobranych materiałów, dających się dobrze hartować i szlifować. Celem zniesienia wewnętrznych napięć, powstałych wskutek hartowania, wygrzewa się gotowe wyroby w oliwnej kąpieli o temperaturze $140\div 150^{\circ}$ C. przez $12\div 24$ godzin. — Wreszcie każde narzędzie miernicze powinno mieć dokładną podziałkę; na narzędziu powinna być oznaczona dokładność, jaką ono daje przy pomiarze i temperatura, przy jakiej po-

działka względnie wymiar narzędzia odpowiada jego nominalnej wartości.

Widzimy zatem, że wyrób narzędzi mierniczych wymaga stosownie urządzonych warsztatów i wyszkolonych pracowników. Wyrób narzędzi mierniczych u siebie nie jest naogół wskazany i lepiej je zakupić u znanych firm, nawet jeżeli chodzi o narzędzia mniej ważne, bo niedokładne narzędzie miernicze niema wogóle żadnej wartości.

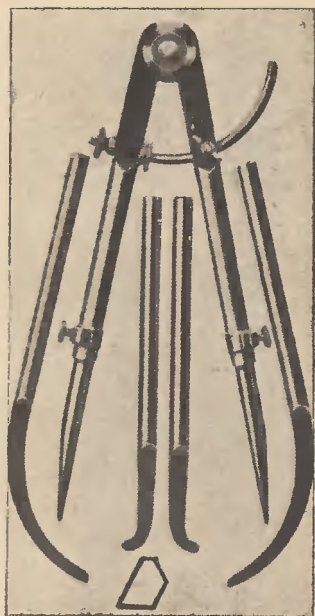
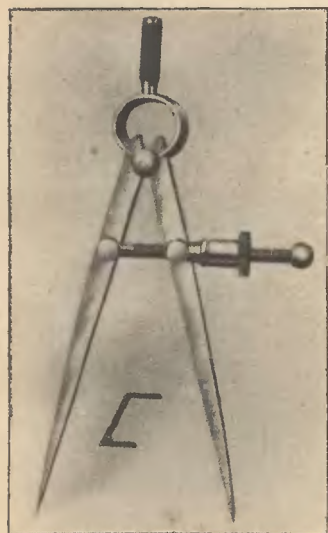
A) Narzędzia pomocnicze.

CYRKLE KOŃCZYSTE, CYRKLE DOTYKOWE CZYLI MACKI. Narzędzi tych używa się w ten sposób, że zapomocą cyrkla, zaopatrzonego w dotyki zewnętrzne lub wewnętrzne (z. rys. 6 A, B), zdejmuje się pożądaný wymiar zewnętrzny lub wewnętrzny, poczem jego wielkość odczytuje się na podziałce innego narzędzia mierniczego. Ramiona cyrkla mogą być ze sobą połączone w najprostszy sposób zapomocą zawiasu śrubowego, jak na rys. 6 A, albo oprócz tego mogą być zaopatrzone, jak na rys. 6 B w pomocnicze ramię ze sprężyną, umożliwiające dokładniejsze nastawianie, albo też jak na rys. 6 C ramiona cyrkla są jeszcze uchwycone łukową sprężyną, która zapobiega lu-



Rys. 6. (A. H. Schütte, Berlin).

żnym ruchom ramion cyrkla i zabezpiecza lepiej przed przypadkową zmianą położenia nastawionych ramion. Nóżki cyrkla mogą być wymienne, jak na rys. 6 D, co umożliwia używanie tego samego cyrkla do pomiarów zewnętrznych i wewnętrznych.



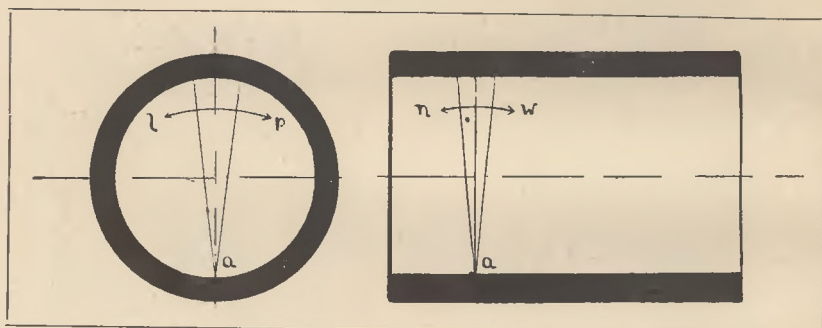
Rys. 6. (A. H. Schütte, Berlin).

Dokładność pomiaru zależy od delikatności czucia i od wprawy, gdyż wyczuć można różnice mniejsze nawet od 0,01 mm. Dla ułatwienia wyczuwania cyrkiel powinien być jak najlżejszy, lecz nie za słaby, bo przeginanie się ramion wskutek nacisku może spowodować bardzo duże błędy. Powierzchnie dotykowe powinny być dokładnie równoległe, dość zastrzone i hartowane. Narzędzia te wyrabia się ze stali, bywają jednak także z miękiego żelaza nawęglonego (cementowane), co nie jest godne polecenia, bo gdy się zużyje zużyte dotyki cyrkla, to tem samem zdejmuje się twardą warstwę nawęgloną i dotyki stają się miękie.

Pomiar należy wykonywać bez pośpiechu i spokojnie. Te miejsca na przedmiocie mierzonym, do których przykła-

da się dotyki narzędzia mierniczego, powinny być czyste i bez rys, ale nie błyszczące. Mierzac średnicę wewnętrzną, ustawia się nóżkę cyrkla z pewnym naciskiem w punkcie a (rys. 7), poczem pochylając drugą nóżkę ku sobie i od siebie w kierunku n i w , wyczuwa się najmniejszy rozstaw nóżek, następnie próbuje się w lewo i w prawo, w kierunku l i p , aby wyczuć największy rozstaw nóżek, odpowiadający mierzonej średnicy. Analogicznie zdejmuje się wymiary zewnętrzne.

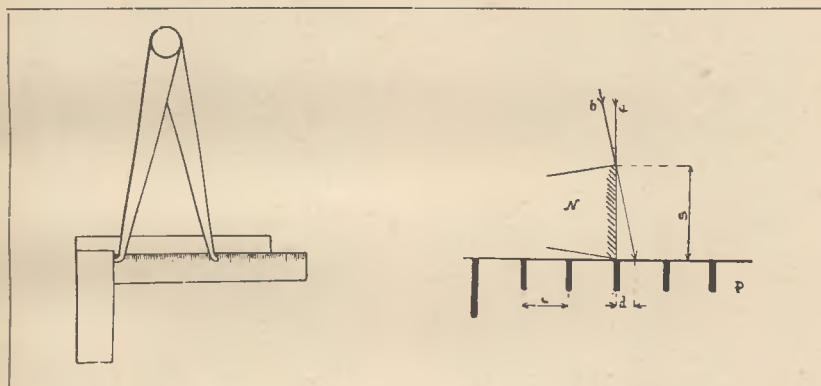
Przy odczytywaniu na podziałce wymiaru uchwyczonego w cyrkiel ustawia się jedną nóżkę cyrkla na 0 podział-



Rys. 7.

ki, a kreska, do której dochodzi druga nóżka, wskazuje rozstaw nóżek, czyli wymiar zdjęty z mierzonego przedmiotu. W odczycie tym można zatem popełnić dwa błędy: jeden przez niedokładne ustawienie nóżki na zerze, drugi przez niedokładne odczytanie rozstawu nóżek na podziałce. — Pierwszego błędu łatwo uniknąć, jeżeli rozstaw nóżek odczytuje się na przykładowej kątowej, bo wtedy położenie zerowe jest ustalone i mimowolne przesunięcie nóżki jest niemożliwe (p. rys. 8.). To samo zadanie może spełniać pierścień zaciskowy, który można sobie samemu zrobić i zakładać na zwykłą linę z podziałką. — Drugi błąd odczytu wymiaru na podziałce może mieć dwa źródła: błędne oszacowanie wielkości nieoznaczonych na podziałce, bo tylko wyjątkowo obydwie końce cyrkla nakryją się z kreskami podziałki, więc odległość końca cyrkla od najbliższej kreski musi się oceniać na oko (przy pewnej wprawie mo-

żna jeszcze bez błędu oszacować do 0,1 mm) i wadliwe ustawienie oka, które przy odczytywaniu powinno się znajdować prostopadłe ponad krawędzią dotyku cyrkla i odczytywaną kreską podziałki. Powstawanie tego ostatniego błędu objaśnia rys. 9. Widzimy tam koniec cyrkla N, przystawiony do podziałki P, którą dla lepszej przejrzystości szkicu przedstawiono w płaszczyźnie rysunku zamiast prostopadłe do niej. Właściwą kreskę podziałki odczytujemy patrząc w kierunku a, jeżeli natomiast patrzymy w kierunku b, to popełniamy błąd wielkości d.



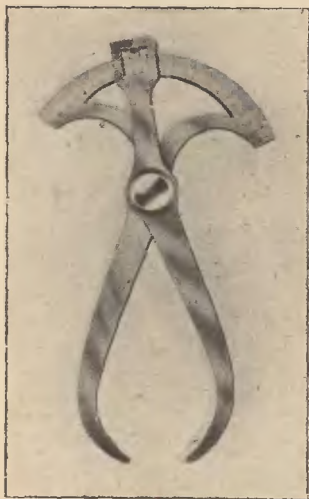
Rys. 8.

Rys. 9.

Z rysunku widać, że wielkość tego błędu zależy od wielkości odchylenia wadliwego kierunku patrzenia b od właściwego kierunku a, oraz od wysokości (s) położenia krawędzi powierzchni dotykowej, to znaczy od grubości nóżek cyrkla.

Wygodne, lecz mniej dokładne w użyciu są cyrkle, których obydwa lub jedno ramię jest przedłużone poza oś obrotu i przesuwają się jak wskazówka po łuku, zaopatrzone w podziałkę. Rys. 10. przedstawia taki cyrkiel, który może służyć do mierzenia od zewnątrz i wewnątrz, bo łuk jest zaopatrzony w dwie podziałki. Cyrkle te są i z tego względu wygodne, że umożliwiają łatwe mierzenie średnic otworów częściowo zasłoniętych kryzą lub t. p., to znaczy takich, z których nie można wyjąć nóżek cyrkla bez zmiany ich wzajemnego położenia.

O ile nie mamy cyrkla z podziałką, to musimy sobie w takich wypadkach inaczej radzić. Możemy n. p. użyć cyrkla, przedstawionego na rys. 11., który posiada pomocnicze ramię, służące do ustalania rozstawu nóżek. Jeżeli posiadamy tylko zwyczajny cyrkiel, to możemy zapomocą kreski, zrobionej rylcem na jednym ramieniu cyrkla, zaznaczyć to położenie drugiego ramienia, które ono zajmowało przed wyjęciem z otworu, jest to jednak sposób najmniej pewny, o ile nie robi się tego bardzo dokładnie. Inne jeszcze



Rys. 10. (A. H. Schütte, Berlin).

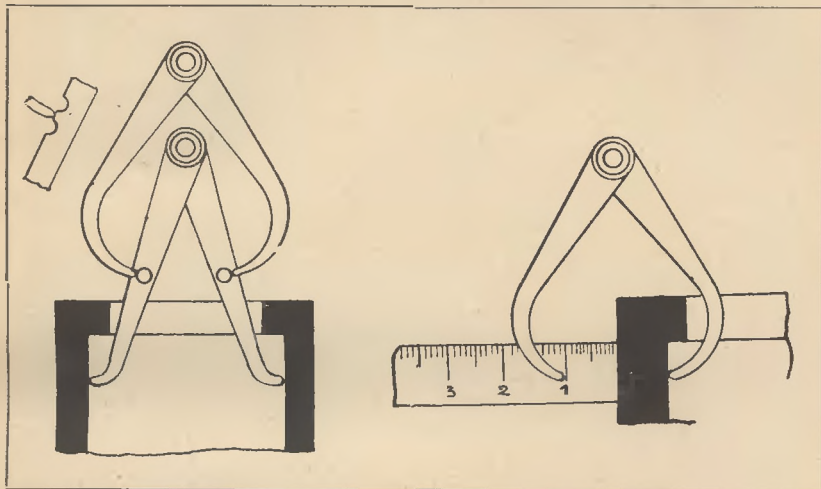


Rys. 11. (A. H. Schütte, Berlin).

sposoby objaśniają rys. 12. i 13. W pierwszym wypadku ramiona cyrkla są zaopatrzone w czopki lub wykroje, które umożliwiają nastawienie pierwotnego rozstawu nóżek zapomocą drugiego cyrkla. W drugim wypadku uskutecznia się pomiar drogą pośrednią, nastawiając cyrkiel naprzód na szerokość kryzy, poczem, nie zmieniając rozstawu nóżek, opuszcza się cyrkiel poniżej kryzy i odczytuje na dostawionej miarce różnicę grubości kryzy i ścianki.

PRZENOSZENIE WYMIARÓW NA OBRABIANY PRZEDMIOT jest czynnością odwrotną w stosunku do poprzedniej i może mieć dwojaki cel: albo sprawdzenie wymiarów przedmiotu obrabianego lub gotowego, albo za-

znaczanie, czyli zarysowywanie pewnych wymiarów (n. p. według szkicu warsztatowego) na przedmiocie, który później obrabia się według tych oznaczonych wymiarów. —



Rys. 12.

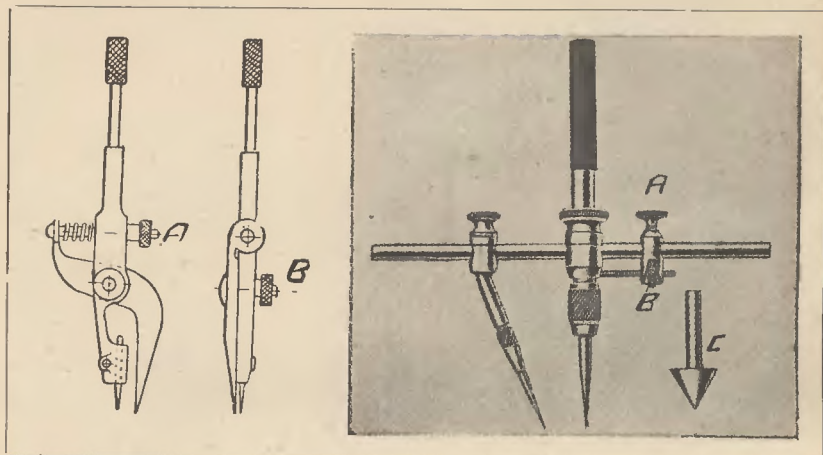
Rys. 13.

W tym drugim wypadku znaczymy wymiary w ten sposób, że zapomocą ryłców kreślimy linie proste lub kołowe. Naprzykład środek otworu, który ma być wywiercony oznacza się punktem przecięcia dwóch prostych prostopadłych do siebie, albo zapomocą nakreślonego koła możemy oznaczyć środek i średnicę, do której ma być zdjęta warstwa zbytecznego materiału i t. d. Do zakreslania kół używamy cyrkli, najlepiej o wymiennych i nastawialnych ostrzach, tak, aby je można ustawiać zawsze prostopadle do płaszczyzny kreślenia bez względu na rozstaw nóżek (rys. 14.). Umożliwia to zarazem całkowite wyzyskanie długości ramion cyrkla, które mogą



Rys. 14. (A. H. Schütte, Berlin).

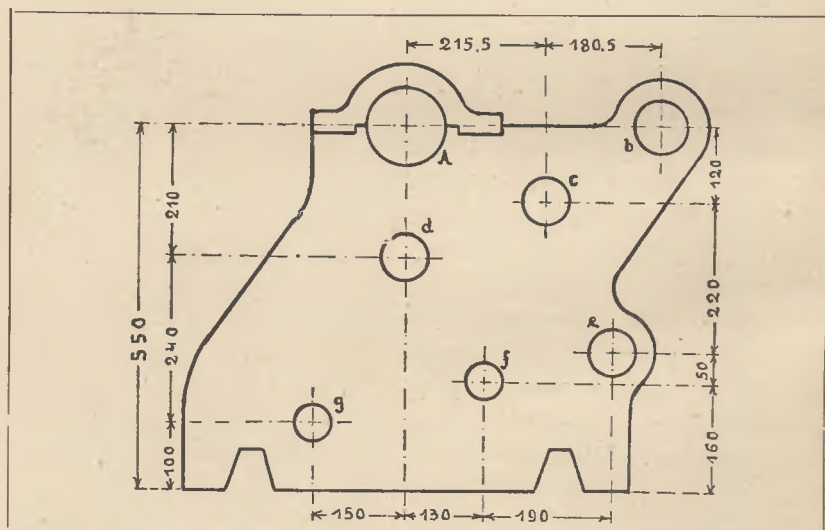
być tak szeroko rozstawione, że kąt między nimi zawarty wynosi 180^0 . Do zakreślenia bardzo małych kółek o średni-



Rys. 15.

Rys. 16. (A. H. Schütte, Berlin).

cy 0,2 do 16 mm dobry jest cyrkiel, przedstawiony na rysunku 15., bo kółka takie zakreślone zwykajnym cyrkiem są nierówne. Nakrętka A służy do nastawiania odległości nóżek, pomiędzy które jest wstawiona sprężyna. Nakrętka

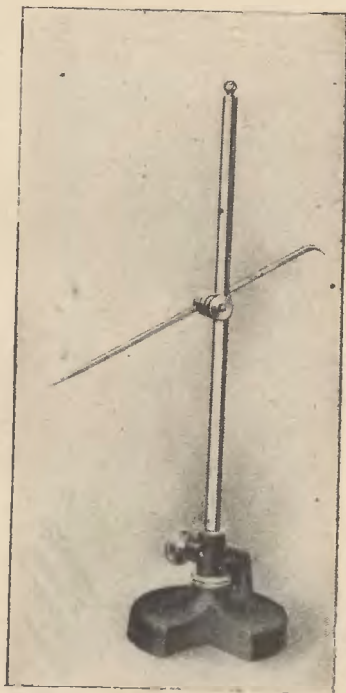


Rys. 17.

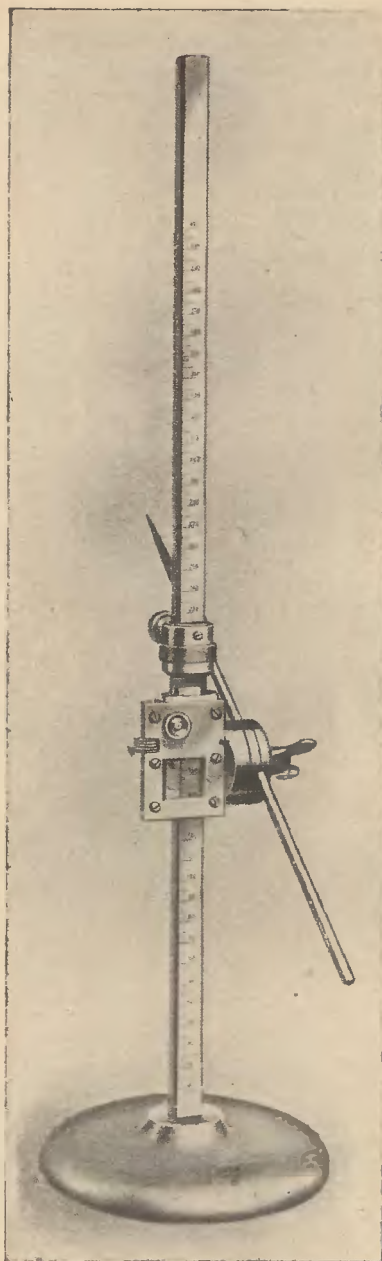
B ustala wzajemne położenie nówek czyli zdjęty wymiar, odpowiadający promieniowi koła, które mabyć zakreślone. Cyrkiel taki można z łatwością zrobić w każdym warsztacie.

Koła o wielkich średnicach kreśli się zapomocą cyrkla drążkowego, składającego się n. p. z rury stalowej, na której znajdują się przesuwalne i nastawialne obchwyty z wymiennymi ostrzami. Rys. 16. przedstawia cyrkiel drążkowy, którego środkowe ostrze jest zaopatrzone w pomocniczy zacisk A, umożliwiający jego dokładne nastawienie zapomocą nakrętki B. Jeżeli koła ma być zakreślone dokoła istniejącego już otworu, to w miejsce środkowego ostrza wstawia się stożek C.

Do kreślenia linii prostych służą rylce. Przedmiot, na który mają być naniesione, żądane wymiary ustawia się obrobioną powierzchnią na równicy i zapomocą rylca kreśli się w odpowiednich wysokościach linie. Przypuśćmy n. p., że mamy w ten sposób oznaczyć punkty środkowe otworów, które mają być wywiercone w głowicy tokarki, przedstawionej na rys. 17. Aby wyznaczyć środki otworów, musimy nakreślić w podanych odstępach szereg linii poziomych, poczem, obróciwszy głowicę o 90° , kreślimy znowu szereg linii równoległych, których przecięcia z prostymi, nakreślonymi poprzednio, są szukanymi punktami środkowymi. Do kreślenia tych linii posługujemy się rylcem, który można ustawiać w różnych wysokościach, przesuwając go na pionowym słupku i ustalając jego położenie zapomocą śrubki zacisku. Ponieważ drobne przesunięcia rylca na słupku wraz z zaciskiem są niewygodne, więc rylce, przedstawiony na rys. 18., jest zaopatrzony u podstawy w nakrętkę, która



Rys. 18.
(A. H. Schütte, Berlin).



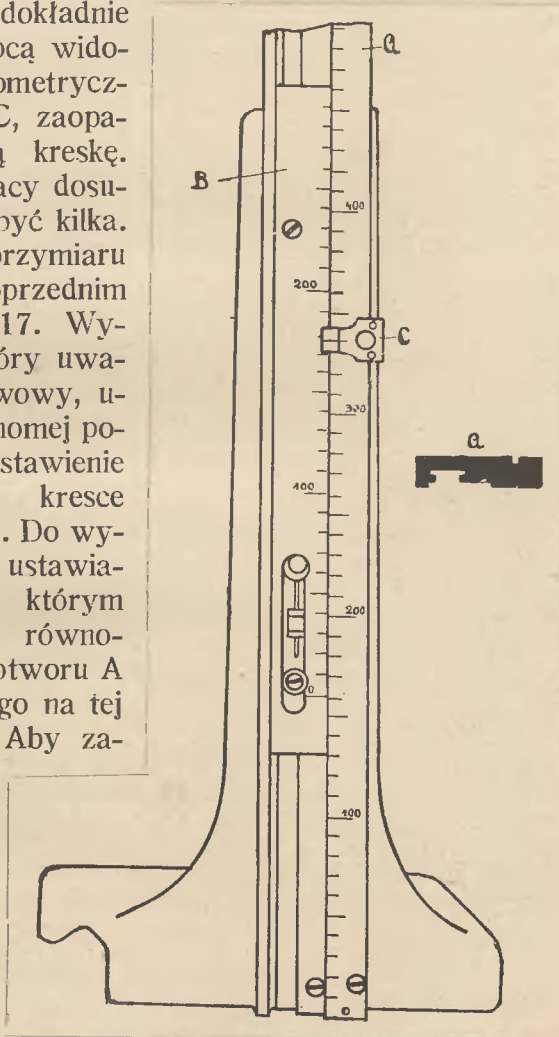
Rys. 19.
(A. H. Schütte, Berlin).

umożliwia niewielkie przesunięcia całego słupka wraz z rylcem. W głowicy, przedstawionej na rys. 17., otwór A jest otworem głównym, według którego oznaczamy położenia pozostałych otworów b, c, d, e, f, g. Wysokość środka tego otworu a także otworu b. wynosi 550 mm, więc ustawiamy rylec na tej wysokości według przymiaru słupkowego, ustawionego na równicy. Aby teraz oznaczyć wysokość otworu d, musimy rylec obniżyć o 210 mm, potem znowu o 240 mm, aby oznaczyć wysokość otworu g i t. d.

Ułatwia pracę rylec, którego słupek jest zaopatrzony w podziałkę, bo wtedy zbyt precyzyjny jest oddzielny przymiar słupkowy. Rylec taki przedstawia rys. 19. Suwkę wraz z rylcem przestawia się z grubszą ręcznie a po zaciśnięciu górnej pochwy suwki zapomocą śrubki, widocznej z tyłu, nastawia się dokładny wymiar, przesuwając suwkę zapomocą śrubki, widocznej z przodu.

Używając rylców takiego typu, musi rysownik obliczać w pamięci lub na papierze następny wymiar, do którego rylec ma ustawić. Wiadomo jednak z praktyki, że w obliczeniach tych popelnia się często

błędy, zwłaszcza gdy odległości kolejno kreślonych linii nie są liczbami całymi, lecz ułamkowymi. Pomyłki takie mogą być przyczyną poważnych strat, bo wadliwe zarysowanie może uczynić obrabiany przedmiot zupełnie bezużytecznym. Z tego powodu najlepiej uwolnić rysownika od konieczności rachowania. Zadanie to spełnia stojący przymiar suwakowy, przedstawiony na rys. 20. Składa się on z nieruchomej podziałki na słupku A, ruchomej podziałki na suwaku B, dającym się dokładnie nastawiać za pomocą wido-
 cznej śruby mikrometrycznej i z dosuwki C, zaopatrzonej w cieką kreskę. Dla ułatwienia pracy dosuwek takich może być kilka. Używanie tego przymiaru objaśnimy na poprzednim przykładzie, rys. 17. Wymiar 550 mm, który uważamy za podstawowy, ustalamy na nieruchomej podziałce A przez ustawienie na odpowiedniej kresce (550 mm) dosuwki. Do wysokości tej kreski ustawiamy ostrze rylca, którym zakreślamy potem równocześnie położenie otworu A i otworu b, leżącego na tej samej wysokości. Aby zaznaczyć wysokość położenia środka otworu d, musimy ostrze rylca obniżyć o 210 mm. W tym celu przesuwamy suwak (B) w ten sposób, żeby kre-



Rys. 20. (Teegler, Hamburg).



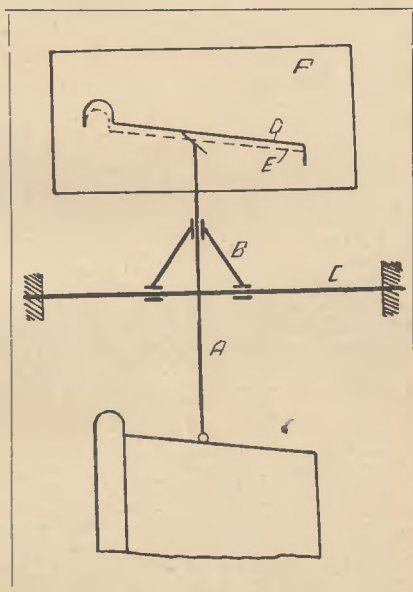
ska, wskazująca 210 mm jego podziałki, znalazła się na wysokości kreski dosuwki (550 mm) i wtedy ostrze rylca nastawiamy na 0 suwaka. Następnie ustawiamy równo z zerem suwaka drugą dosuwkę (albo obniżamy pierwszą), a suwak opuszczamy w dół, aż wymiar 240 mm jego podziałki zrówna się z kreską dosuwki, wtedy 0 suwaka podaje wysokość położenia środka otworu g, więc do tej wysokości przestawiamy ostrze rylca. Teraz nastawiamy znowu dosuwkę na 0 suwaka i wtedy kreska dosuwki powinna wskazywać na podziałce słupka (A) 100 mm ($550 - 210 - 240 = 100$), co jest zarazem sprawdzeniem, że nie popełniliśmy błędu. W ten sam sposób znaczymy po drugiej stronie wysokości otworów c, e, f, poczem obracamy głowicę o 90^0 , zdejmujemy rylcem wysokość otworu A jako miarę podstawową i według ostrza rylca ustawiamy dosuwkę. Do tej miary podstawowej należy teraz dodać 215,5 mm, aby otrzymać wysokość otworu c. W tym celu przestawiamy suwak w górę, aż jego 0 zrówna się z kreską dosuwki, poczem ostrze rylca ustawiamy do wysokości 215,5 mm na suwaku. Przestawiamy teraz dosuwkę na wysokość kreski 215,5 suwaka, poczem przedstawiamy suwak tak, aby jego 0 zrównało się z dosuwką i ustawiamy rylce do wymiaru 180,5 mm na suwaku. W ten sam sposób znaczymy resztę pozostałych otworów bez rachowania i zyskując na czasie.

Miarę suwakową można też przystosować do rylców, których słupki są zaopatrzone w podziałkę. Zadanie to rozwiązuje rylce »Stampfli« (W. T. 1913, str. 470), na którego słupku z podziałką przesuwają się suwaki, zaopatrzone w dwie podziałki, mające swe zera na górze, względnie na dole (aby umożliwić odejmowanie i dodawanie); natomiast rylce jest osadzone w suwce z noniusem, przestawialnej na suwaku. Ostrze rylca nastawia się naprzód na zero, to znaczy w płaszczyźnie równicy, poczem, używając suwaka podobnie jak przedtem, przedstawia się rylce na wymiar podstawowy, który ma służyć jako punkt wyjścia dla wymiarów dodawanych, względnie odejmowanych od niego zapomocą suwaka.

MIERZENIE SPOSOBEM RYSUNKOWYM. Jeżeli profil jakiegoś przedmiotu, na którym ma być wykonany pomiar, nie jest linią regularną, lecz jakąś dowolną krzywą, wtedy wyznaczenie tego profilu jest połączone z trudnościami, gdyż wymaga odmierzania poszczególnych punktów obrysu, co wymaga wiele czasu i daje wiele sposobności do popełniania błędów. W takich wypadkach można się z korzyścią posługiwać metodą rysunkową polegającą na tem, że zapomocą stosownego urządzenia przenosi się obrys (profil) danego przedmiotu na papier, poczem żądane wymiary zdejmuje się na papierze.

Zasadę działania takiego przyrządu objaśnia schematyczny rys. 21. Pręcik A, przesuwalny pionowo w prowadnicach uchwyty B i poziomo wraz z uchwytem na osi C, jest zaopatrzony w rysik, który kreśli obrys D na kartce papieru P, gdy dolny koniec pręcika A ślizga się po powierzchni badanego przedmiotu. Jeżeli nakreślona linja D jest profilem nieobrobionego przedmiotu, a zapomocą podoby z cienkiej blachy wyrysujemy linję E, przedstawiającą obrys, jaki przedmiot ma posiadać po obróbce, to powierzchnia między linjami D E jest przekrojem pierścienia, który ma być zdjęty w czasie obróbki i może służyć do obliczenia ciężaru wiórów. —

Metoda ta może służyć także do innych celów, n. p. do kontroli profilów części podlegających zużyciu w czasie pracy i t. p.



Rys. 21.

B) Właściwe narzędzia miernicze.

Właściwe narzędzia miernicze tem się charakteryzują, że są zaopatrzone w podziałkę, umożliwiającą bezpośrednie odczytywanie mierzonej wielkości. Narzędzia te mogą być wykonane z mniejszą lub większą dokładnością, zależną nie tylko od sposobu wyrobu, lecz i od konstrukcji narzędzia. Ze względu na konstrukcję można je podzielić na **narzędzia miernicze** czyli **miary nastawialne** i **narzędzia miernicze nie-nastawialne**, czyli **miary stałe**.

Narzędzia miernicze nastawialne tem się różnią od stałych, że umożliwiają pomiar różnych wielkości, mniejszych i większych w pewnych granicach, podczas gdy poszczególne miary stałe służą do mierzenia jednego tylko wymiaru. Już z tego określenia widać, że miary nastawialne są wygodniejsze w użyciu, bo więcej uniwersalne, lecz mniej dokładne, bo niezależnie od dokładności wykonania samego narzędzia — nastawianie i odczytywanie wymiaru na podziałce pociąga za sobą większe lub mniejsze błędy pomiaru, zależne od mierzącego.

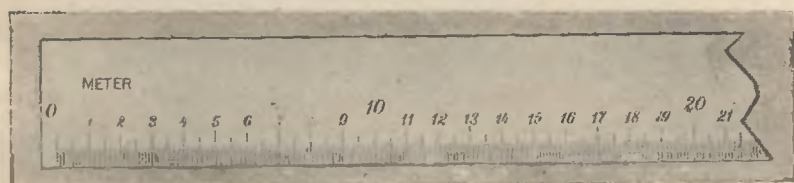
Do miar stałych należy też zaliczyć t. zw. **podoby** (szablony) i **wzorce**. Podoby posiadają pewien określony profil, odpowiadający pewnym wymiarom (n. p. śruby), które mogą być zaznaczone na podobie albo nie. Narzędzia te wyrabia się często na miejscu i używa się do sprawdzania wymiarów obrabianych przedmiotów (n. p. narzędzi) czy też do kontrolowania położenia narzędzi roboczych w czasie obróbki i t. p.

Wreszcie do mierniczych narzędzi nastawialnych w bardzo szczupłych granicach należą t. zw. **czujniki**, służące również do kontroli obrabianych powierzchni jako takich lub ich położenia, przyczem podają one tylko różnicę między wymiarem rzeczywistym a pożądanym. Poza tem, jak zobaczymy, zastosowanie czujników może być bardzo różnorodne.

1. Nastawialne narzędzia miernicze.

METRÓWKI są najbardziej rozpowszechnione z powodu wygody ich używania, jakkolwiek pomiary niemi wykonywane mogą wykazywać znaczne niedokładności, o ile nie były wykonane bardzo ostrożnie, aby uniknąć tych błędów, których źródło tkwi tak w samym narzędziu, jak też w osobie skuteczniającej pomiar.

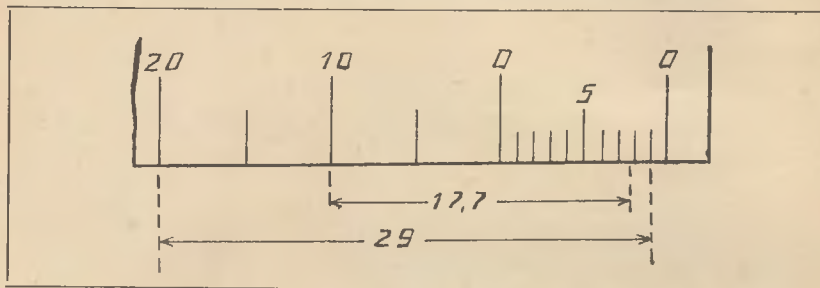
Metrówka może być sztywna lub giętka i bywa wyrobiana naogół w postaci łąty o długości 0,5, 1, 1,5, 2 m ze stali, z żeliwa, mosiądzu, brązu, glinu, drzewa i t. p. Metrówki te mogą być wykonane z rozmałą dokładnością



Rys. 22. (A. H. Schütte, Berlin).

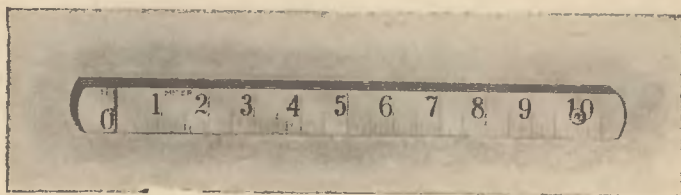
— zależnie od przeznaczenia. Najdokładniejsze są tak zwane **metry normalne**, wykonane ze stali zlewnej, jak na rys. 22. Celem zabezpieczenia pierwszych kresiek podziałki od uszkodzenia wskutek zużywania się krawędzi łąty, podziałka zaczyna się dopiero w odstępnie 5 mm. Aby odczyt był możliwie dokładny, muszą być kreski podziałki możliwie cienkie a odczytywanie skutecznia się przez mikroskop. Z tego powodu normalnego metra, wykonywanego z dokładnością 0,01 mm, używa się tylko do kontroli, natomiast w warsztacie używa się metrówek o grubszych kreskach, które można odczytywać gołym okiem. Dokładność tych metrówek jest jednak znacznie mniejsza (± 1 mm na 1 m) i nierównomierna. Należy też pamiętać o tem, że drobna podziałka na metrówce nie świadczy wcale o jej dokładności i jeżeli odczytuje się gołym okiem, a kreski podziałki są zbyt grube, to drobna podziałka raczej utrudnia niż ułatwia odczytywanie. Tak n. p. podział calówki na 64 części cala ang. jest już zbyt drobny, podobnie jak podział me-

trówki na $\frac{1}{2}$ mm. Metrówki posiadają często na całej długości podział na centymetry a tylko jeden centymetr jest podzielony także na milimetry. W takich wypadkach korzystne jest umieszczenie tej drobniejszej skali obok właściwej podziałki, gdyż to ułatwia bezpośrednio odczytywa-



Rys. 23.

nie, jak na rys. 23. Korzystne jest również spłaszczenie tej krawędzi, na której jest podziałka gdyż wtedy mniejszy jest błąd odczytu, spowodowany zboczeniem kierunku patrzenia (por. rys. 8.). Jednak w tym wypadku można umieścić na łacie tylko dwie podziałki, a często są wymagane cztery.



Rys. 24.

Rys. 24. przedstawia metrówkę składaną, którą wyrabia się również najczęściej ze stali lub z drzewa (bukszpan, grab).

Jasnym jest, że podział metrówki na części jest nowym źródłem błędów. Z tego powodu jest bardzo ważne dokładne wykonanie na specjalnych maszynach, wierzących otwory w członkach metrówki i wyciskających podziałkę. Niektóre fabryki (A. Schiertrumpf et Co, Jena) wyrabiają

takie metrówki z wymiennymi członkami. Oprócz długości mogą też być podane na metrówkach wielkości powierzchni i objętości, odpowiadających odmierzonej długości (jako boku, wzgl. krawędzi), wreszcie można je też zaopatrzyć w znaki, umożliwiające nastawianie różnych kątów. Jak już wspomniano, są to wygody, które uzyskuje się kosztem dokładności, więc można z nich korzystać, o ile chodzi o pomiary przybliżone.



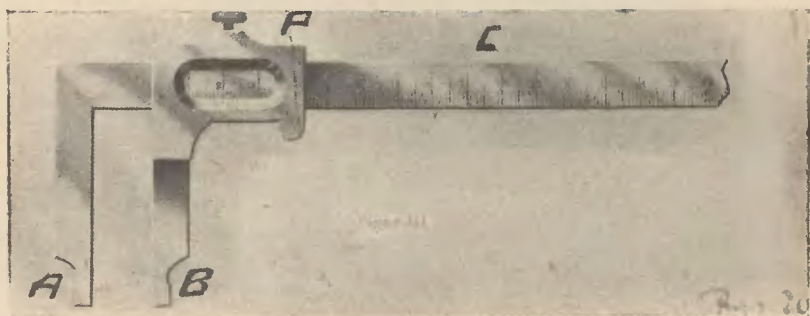
Rys. 25. (A. H. Schütte, Berlin).

Rys. 25. przedstawia metrówkę zwijaną, czyli **taśmówkę**, która może być wykonana z taśmy stalowej lub nicianej i przetykanej drucikami metalowymi (bronz fosforowy). Taśmówki są wygodne do mierzenia większych długości, lecz jeżeli są niciane, to długość ich może ulegać znacznym wahaniom z powodu rozciągania się lub działania wilgoci, tak że pomiary, wykonywane długimi taśmówkami (do 50 metrów), mogą wykazywać błędy, przekraczające nawet 10 cm.

PRZYMIARY PRZESUWKOWE. Mierzenie za pomocą metrówki polega na przykładaniu miary do przedmiotu mierzonego i odczytywaniu na podziałce mierzonej wielkości, przyczem — jak wiemy — łatwo się wkradają niedokładności zwłaszcza przy odczytywaniu wielkości pośrednich, nieoznaczonych na podziałce jak n. p. mm, cm i t. p. Natomiast mierzenie przymiarem przesuwkowym odbywa się w ten sposób, że wielkość mierzona jest zawarta mię-

dzy nastawialnemi powierzchniami dotykowemi przymiaru, przez co uzyskuje się większą dokładność pomiaru.

Najprostszy przymiar przesuwkowy przedstawia rysunek 26. W dobrym wykonaniu suwka P powinna się przesuwować gładko ale bez luzu, ramiona A B powinny być dokładnie prostopadłe do prowadnicy C, a powierzchnie dotykowe ramion powinny do siebie ściśle przylegać, gdy suwka jest ustawiona na zerze. Całość jest zrobiona ze stali (kuta), powierzchnie dotykowe są możliwie twardo hartowane.



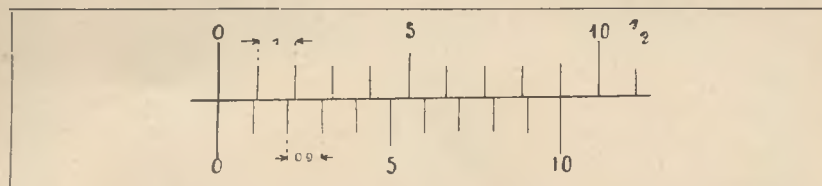
Rys. 26. (A. H. Schütte, Berlin).

Przymiary te w gorszym wykonaniu mają podziałkę (na prowadnicy), zaczynającą się od stałego ramienia A, mierzoną wielkość odczytuje się na krawędzi suwki. W tych warunkach dokładny odczyt jest utrudniony, dlatego lepiej wykonane przymiary posiadają suwkę z okienkiem o ściętych ściankach, co ułatwia odczytywanie, a przytem okienko jest zaopatrzone w noniusz.

NONIUSZ. (Nazwa ta pochodzi od nazwiska portugalskiego mnicha Pedra Nunez'a, który pod nazwiskiem Petrus Nonius napisał rozprawę o wykonywaniu dokładnych pomiarów.) Noniusz umożliwia odczytywanie ułamków podziałki. Można by wprowadzić podziałkę zrobić gęstsza, ale dokładność takiej podziałki zależy od materiału, na którym ją wykonano. Tak n. p. granica podziału na drzewie wynosi z reguły 1 mm, na metalu 0,1 mm, na szkłe 0,01 mm. Zbyt gęsta podziałka męczy też oko, uniemożliwiając odczyt, z tego powodu odległość kresek podziałki odczytywa-

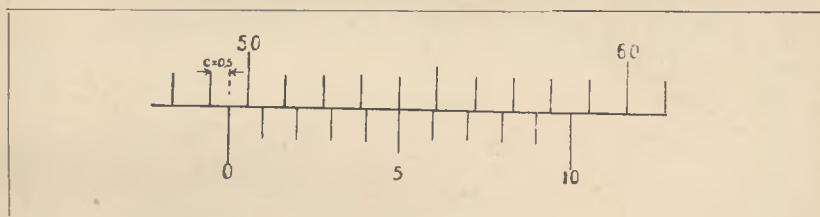
nej gołym okiem nie powinna być mniejsza od 0,75 mm. — Dla miar warsztatowych za granicę podziału należy uważać 1 mm, podziałka $\frac{1}{2}$ mm jest już dla oka szkodliwa.

Noniuszem nazywamy dodatkową podziałkę, znajdującą się u miar przesuwkowych na ściętej ściance okienka



Rys. 27.

suwki. Całkowita długość noniusza, podzielonego n. p. na 10 równych części, wynosi n. p. 9 jednostek podziału podziałki głównej (rys. 27.). Przy takim podziale noniusza odstęp kresek jego podziałki równa się 0,9 odstępu kresek podziałki głównej. Jeżeli noniusz zajmuje położenie zerowe, jak na rys. 27., co u przymiaru przesuwkowego ozna-



Rys. 28.

cza, że jego powierzchnie dotykowe stykają się ze sobą, więc ich odległość = 0, to pierwsza kreska noniusza jest oddalona od pierwszej kreski podziałki głównej o 0,1 część odstępu między kreskami podziałki głównej, druga kreska noniusza jest oddalona od drugiej kreski podziałki głównej o 0,2 części odstępu kresek podziałki głównej i t. d., wreszcie dziesiąta kreska noniusza schodzi się z dziewiątą kreską podziałki głównej. Jeżeli zatem, dosuwając suwkę w czasie mierzenia, osiągnęliśmy położenie wskazane na rys. 28., to odległość dytyków przymiaru wynosi 49, n. p. mm, po-

większone o odcinek c . Wielkość odcinka c wyznaczamy, szukając tej kreski noniusza, która kryje się z jakąś kreską podziałki głównej. W naszym przykładzie jest to kreska 5, więc odległość zerowej kreski noniusza od 49-tej kreski podziałki głównej, czyli odcinek $c = 0,5$, bo odległość 4-tej kreski noniusza od 53-ciej kreski podziałki głównej wynosi 0,1, odległość 3-ciej kreski od 52-giej 0,2, odległość 2-giej od 51-szej 0,3, 1-szej od 50-tej 0,4, wreszcie zero-wej od 49-tej 0,5. Algebraiczny wzór charakteryzujący noniusz w sposób zupełnie ogólny brzmi:

$$(\gamma n \pm 1) i = n i' = l;$$

gdzie: i oznacza odległość kresek podziałki głównej,

i' odległość kresek noniusza,

l długość noniusza,

γ oznacza t. zw. moduł, którego znaczenie poznamy w przykładach.

$$\text{Dokładność odczytu } a = \frac{i}{n}.$$

Jeżeli n. p. przyjmiemy $n = 10$, $\gamma = 1$, to we wzorze:

$$(\gamma n - 1) i = n i' = l$$

będzie $\gamma n - 1 = 10 - 1 = 9$,

czyli $9 i = 10 i' = l$, to znaczy, że 9 części podziałki głównej dzielimy na 10 części, które dają razem długość noniusza.

Albo: $(\gamma n + 1) i = n i' = l$,

wtedy $(10 + 1) i = 11 i = 10 i' = l$, to znaczy, że 11 części podziałki głównej dzielimy na 10 części, a wtedy kreski podziałki noniusza w położeniu zerowym wyprzedzają kreski podziałki głównej, a nie opóźniają się jak w poprzednim wypadku (porównaj rys. 27.). Dokładność pomiaru jest w obu wypadkach taka sama:

$$a = \frac{i}{n} = 0,1 i.$$

Jeżeli obierzemy większy moduł, n. p. $\gamma = 2$, to:

$$(\gamma n \pm 1) i = (2 \cdot 10 \pm 1) i = 10 i' = l,$$

to znaczy, że 19, względnie 21 części podziałki głównej dzielimy na 10 części. Wtedy kreski noniusza są mniej gę-

sto rozłożone i noniusz taki jest wygodniejszy do użytku warsztatowego, lecz zwiększa się także jego długość i z tego powodu nie obieramy modułów większych od 2. Poza tem dokładność odczytu pozostaje niezmienniona:

$$a = \frac{i}{n} = 0,1 \text{ i}$$

Zwykle więc obiera się $i = 1$, albo 2 albo 0. W tym ostatnim wypadku: $i = 10 \text{ i}' = 1$, t. zn. jedną część podziałki głównej dzielimy na 10 części. Ten wypadek uwi-
docznia najwyraźniej, jak podziałka noniusza zastępuje drobniejszy podział miary głównej. Dokładność pomiaru jest taka sama: $a = \frac{i}{n} = 0,1 \text{ i}$; widzimy zatem, że dokład-

ność pomiaru zapomocą noniusza jest zależna dla tego samego »i« od n, t. zn. od ilości części, na jakie dzielimy noniusz. Ilość tych części nie może być jednak zbyt wielka (naogół mniejsza od 50), bo podziałka byłaby zbyt gęsta a wyrób noniusza kosztowniejszy. Dla przykładu przypuść-
my, że mając podziałkę główną o odstępzie kresek $i = 5 \text{ mm}$, chcemy uzyskać dokładność pomiaru $a = 0,5 \text{ mm}$. Przyj-
mijmy też $n = 10$, $\gamma = 1$, wtedy:

$$(\gamma n - 1) i = 9 \times 5 = 10 \text{ i}' = 45 \text{ mm.}$$

to znaczy, że długość noniusza wynosi 45 mm, odstęp je-
go kresek $i' = 4,5 \text{ mm}$.

Albo chcemy osiągnąć dokładność $a = 0,1 \text{ mm}$, dla $i = 1 \text{ mm}$, $n = 10$, $\gamma = 1$, wtedy:

$$(\gamma n - 1) i = 9 = 10 \text{ i}' = 9 \text{ mm,}$$

długość noniusza wynosi 9 mm, odstęp jego kresek 0,9 mm,
więc podziałka noniusza nie jest jeszcze zbyt gęsta.

Chcemy osiągnąć dokładność $a = 0,05 \text{ mm}$, dla $i = 1 \text{ mm}$. Obieramy $n = 20$, $\gamma = 1$, więc:

$$(\gamma n - 1) i = 19 = 20 \text{ i}' = 19 \text{ mm,}$$

zatem długość noniusza wynosi 19 mm, odstęp jego kresek
 $i' = \frac{19}{20} \text{ mm}$, odczyt gołym okiem jest już trudny.

Wreszcie chcemy uzyskać dokładność $a = 0,01 \text{ mm}$,
przyczem $i = 1 \text{ mm}$, $n = 100$, $\gamma = 1$, zatem:

$(\gamma n - 1) i = 99 = 100 i' = 99 \text{ mm}$,
 długość noniusza wynosi więc 99 mm , $i' = \frac{99}{100} \text{ mm}$, od-
 czyt jest możliwy tylko przez mikroskop.

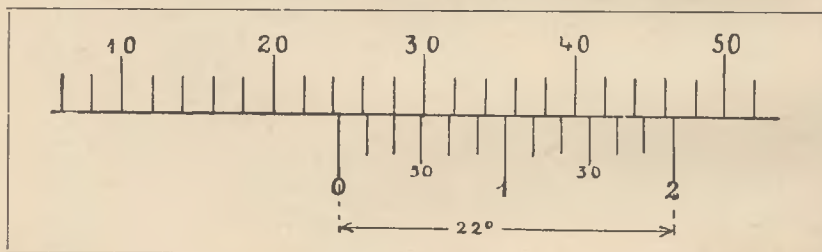
Noniusz ma również zastosowanie do pomiaru łuków, przyczem stosuje się tę samą zasadę, tylko podział uskutecznia się w mierze łukowej. Mamy n. p. podziałkę główną o odstępzie kresek $i = 1^\circ$, a chcemy osiągnąć dokładność $a = 10'$. Przyjmijmy:

$\gamma n = 1$, $n = 12$, wtedy:

$$(\gamma n - 1) i = 11 \times 2 = 12 i' = 22^\circ,$$

więc długość noniusza wynosi 22° , a odstęp jego kresek

$$i' = \frac{22}{12} = 1\frac{5}{6}^\circ.$$



Rys. 29.

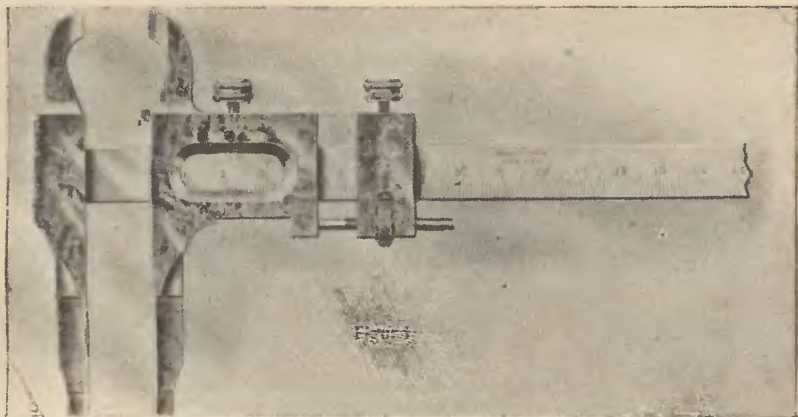
Pomiar łuku zapomocą tego noniusza objaśnia rys. 29., przyczem dla uproszczenia szkicu wyprostowano łuk podziałki głównej i noniusza. W położeniu, przedstawionem na tym szkicu, odczytujemy łuk $24^\circ 20'$.

Odnalezienie kreski noniusza, schodzącej się z kreską podziałki głównej, ułatwia dodanie po dwie kreski z każdej strony właściwej podziałki noniusza. Przy odczytywaniu należy też tak stanąć, aby światło padało od przodu i w kierunku kresek podziałki, a nie z boku.

Wróćmy teraz do dalszego opisu przymiarów przesuwkowych.

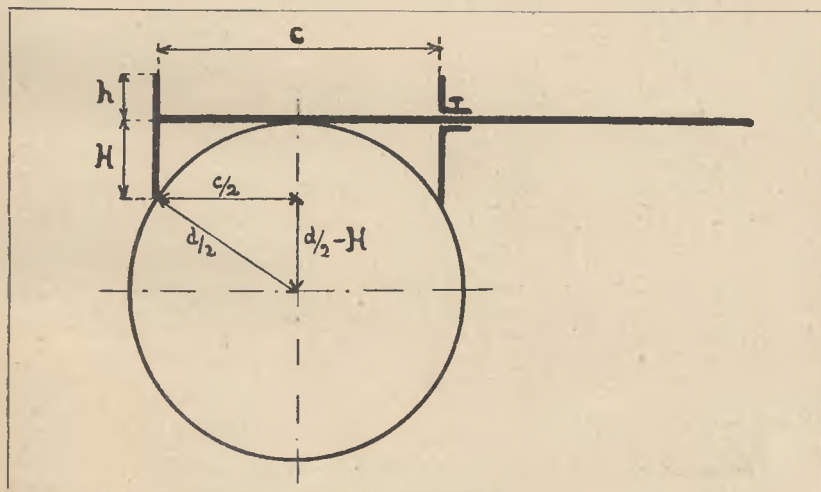
Celem ułatwienia dosuwania suwki w czasie mierzenia, wykonywa się ją tak, jak na rys. 30. Suwka składa się z dwóch części, które dosuwamy naprzód razem, potem zapomocą górnej śrubki ustalamy położenie części po-

mocniczej a drobne różnice w nastawieniu właściwej suwki wyrównujemy zapomocą dolnej pokrętki i wreszcie ustalamy położenie właściwej suwki zapomocą jej górnej śrubki.



Rys. 30. (A. H. Schütte, Berlin).

Czasem zachodzi potrzeba zmierzenia średnicy większej od największego rozstawu ramion przymiaru przesuwkowego, wtedy możemy sobie poradzić w ten sposób, że zamiast średnicy odmierzamy cięciwę, a średnicę oblicza-



Rys. 31.

my. Objaśnia to rys. 31. Jeżeli szukaną średnicę oznaczymy przez d , to:

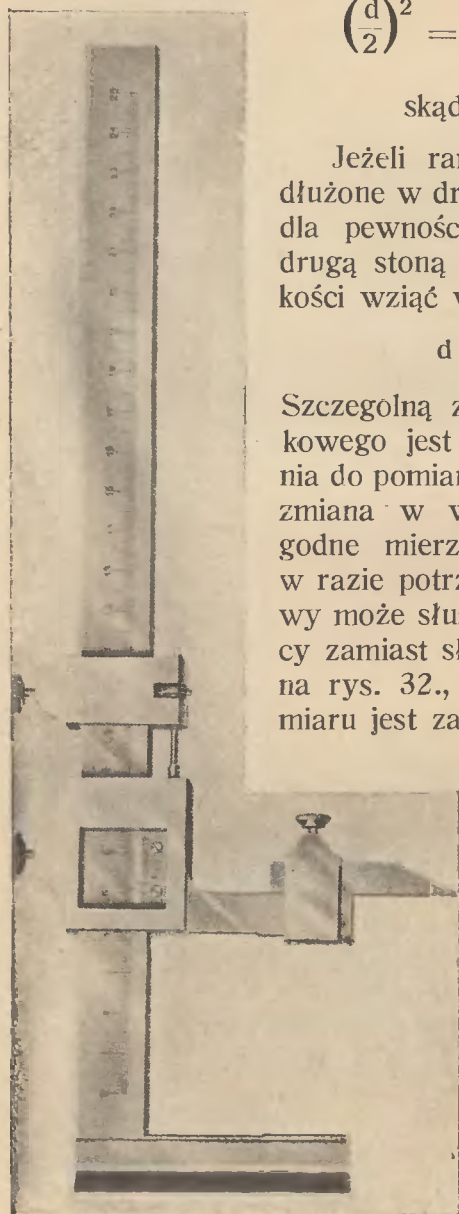
$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \left(\frac{C}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2} - H\right)^2$$

$$\text{skąd: } d = \frac{C^2}{4H} + H$$

Jeżeli ramiona przymiaru są przedłużone w drugą stronę (h), to możemy dla pewności wykonać pomiar także drugą stroną i z obu obliczonych wielkości wziąć wartość średnią:

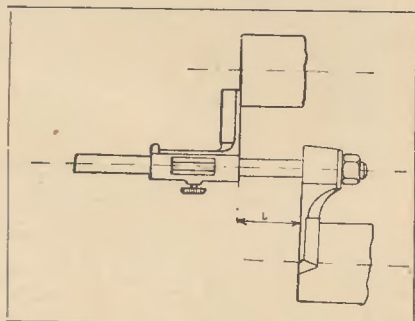
$$d = \frac{d_H + d_h}{2}.$$

Szczególną zaletą przymiaru przesuwkowego jest możliwość jego zastosowania do pomiarów różnego rodzaju. Mała zmiana w wykonaniu umożliwia wygodne mierzenie wysokości a nawet w razie potrzeby przymiar przesuwkowy może służyć do kreślenia na równicy zamiast słupka z rylcem. Jak widać na rys. 32., nieruchome ramię przymiaru jest zaopatrzone w szeroką podstawę, która umożliwia pionowe ustawienie i przesuwanie przymiaru po równicy. Ramię suwki jest zaopatrzone w dodatkowy dziób, którego ostry koniec jest hartowany i może służyć do rysowania. — Przymiar ten jest zaopatrzony w dwie podziałki, z których jedna służy do mierzenia wysokości, a druga do zwykłego mierzenia długości po zdjęciu



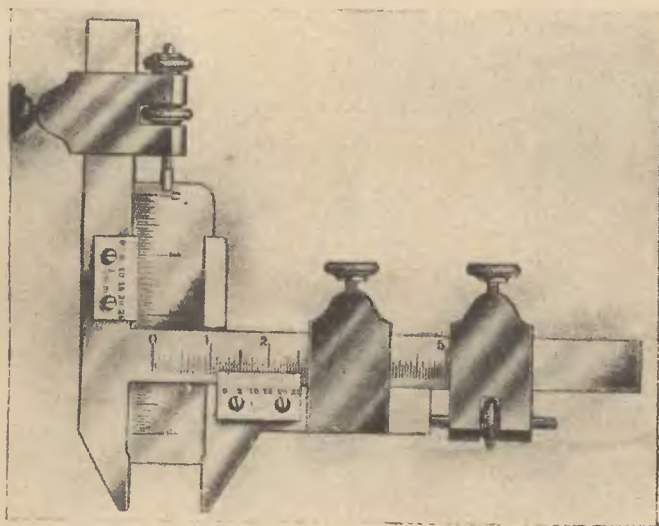
Rys. 32. (A. H. Schütte, Berlin).

dzióbka. Przymiar przesuwkowy może też posiadać ramiona obrotowe, co umożliwi odmierzanie odległości (l) powierzchni tak rozmieszczonych w przestrzeni, że uchwycenie ich między dotyki zwykłego przymiaru byłoby niemożliwe. Objasnia to rys. 33. na przymiarze przesuwkowym, wyrabianym przez firmę Carl Mahr, Esslingen.

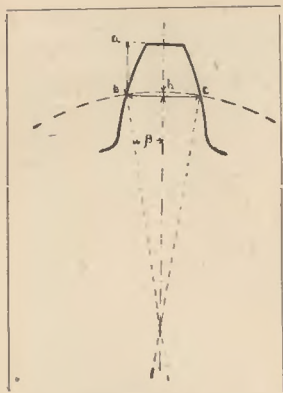


Rys. 33.

Przymiar przesuwkowy na rys. 34. jest zaopatrzony w dwie suwki, poruszające się w kierunkach prostopadłych do siebie i służy do mierzenia grubości zębów kół zębatych. Noniusze umożliwiają odczytywanie $\frac{1}{50}$ mm. Poziomą suwką mierzy się grubość zęba (na kole podziałowym), podczas gdy pionowa suwka opiera się na szczycie zęba i jest tak nastawiona, że dotyki przymiaru stykają się z bokami zęba na kole podziałowym. Rys. 35. objaśnia, że w ten sposób mierzy się cięciwę bc łuku, od-



Rys. 34. (A. H. Schütte, Berlin).



Rys. 35.

powiadającego grubości zęba. U dużych kół zębatych, powyżej 45 zębów, można przyjąć z dostateczną dokładnością praktyczną, że łuk równa się cięciwie, jeżeli jednak koło ma mniej zębów, to konieczna jest poprawka. Wielkości ab i bc , potrzebne do nastawienia przymiaru, oblicza się w sposób niżej podany.

Przyjmujemy następujące znaki:

$$\text{moduł: } M = \frac{t}{\pi}$$

$$\text{podział: } A = S + 1$$

$$\text{średnica koła podziałowego: } D = ZM$$

$$\text{wrąb: } l = \frac{t}{2}$$

$$\text{wysokość głowy zęba } K = M = ab - h,$$

$$\text{czyli: } ab = K + h \text{ (przy zazębieniu wewnętrznym)}$$

$$\text{cięciwa łuku: } S = bc = 2 \frac{D}{2} \sin \beta = D \sin \beta^1)$$

$$\text{strzałka łuku: } h = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos \beta = D \frac{1 - \cos \beta}{2}^1)$$

$$\text{ilość zębów: } z$$

$$\angle \beta = \frac{90^\circ}{z}$$

Przypuśćmy, że mamy mierzyć grubość zęba koła o 12-tu zębach i module 18, to:

$$\angle \beta = \frac{90}{12} = 7,5 = 7^\circ 30'$$

$$\text{zatem: } \sin \beta = 0,1305, \cos \beta = 0,9914,$$

$$\text{dalej: } t = M = 18 \times 3,14 = 56,52 \text{ mm.}$$

$$D = ZM = 12 \times 18 = 216 \text{ mm,}$$

$$K = 18 \text{ mm, } s = \frac{t}{2} = 28,26 \text{ mm,}$$

$$h = D \frac{1 - \cos \beta}{2} = 216 \frac{1 - 0,9914}{2} = 0,9245 \text{ mm,}$$

¹⁾ Znaczenie znaków $\sin$, $\cos$ zobacz na str. 98.

$$S = D \sin \beta = 216 \times 0,1305 = 28,1880 = bc,$$

$$ab = K + h = 18 + 0,9245 = 18,9245 \text{ mm.}$$

W praktyce obliczeń tych nie przeprowadza się, a wielkości ab , bc otrzymuje się w ten sposób, że zależnie od ilości zębów mierzonego koła bierze się odpowiednie wartości z niżej podanej tabelki (rubryka A) i mnożymy je przez moduł mierzonego koła. W naszym przykładzie otrzymaliśmybyśmy zapomocą tabelki:

$$ab = 1,051 \times 18 = 18,918 \sim 18,92 \text{ mm,}$$

$$bc = 1,566 \times 18 = 28,188 \sim 28,19 \text{ mm.}$$

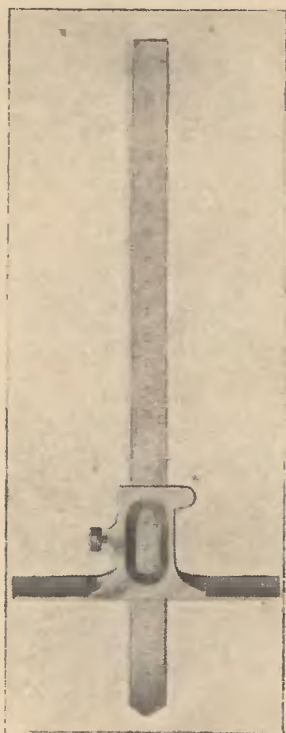
Jeżeli mierzymy zęby koła o podziale milimetrowym, to mnożymy liczby podane w rubryce B przez wielkość podziału w mm.

TABELKA

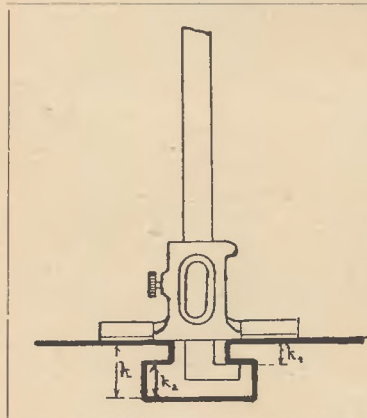
pomocnicza do nastawiania przymiaru do mierzenia grubości zębów kół czołowych.

Ilość zębów koła czołowego.	A. Koła czołowe z modułem		B. Koła czołowe z podziałem milimetrowym	
	ab	bc	ab	bc
10	1,062	1,564	0,338	0,498
11	1,056	1,565	0,336	0,498
12	1,051	1,566	0,335	0,499
13	1,047	1,567	0,333	0,499
14	1,044	1,567	0,332	0,499
15	1,041	1,568	0,331	0,499
16	1,038	1,568	0,331	0,499
17	1,036	1,569	0,330	0,5
18	1,034	1,569	0,329	0,5
19	1,032	1,569	0,329	0,5
20	1,031	1,569	0,328	0,5
21	1,029	1,569	0,328	0,5
22	1,028	1,569	0,327	0,5
23	1,027	1,570	0,327	0,5
24	1,026	1,570	0,327	0,5
25	1,025	1,570	0,326	0,5
26	1,024	1,570	0,326	0,5
27	1,023	1,570	0,326	0,5
28,29	1,022	1,570	0,325	0,5
30,31	1,021	1,570	0,325	0,5
32,33	1,020	1,570	0,325	0,5
34,35	1,019	1,570	0,325	0,5
36,37	1,018	1,570	0,324	0,5
38,39	1,017	1,570	0,324	0,5
40,42	1,016	1,570	0,324	0,5
43,44	1,015	1,570	0,323	0,5
45,—	1,014(1,000)	1,571	0,323	0,5

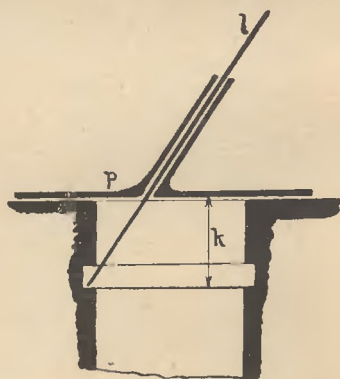
MIERZENIE GŁĘBOKOŚCI. Przymiar przesuwkowy można też przystosować do mierzenia głębokości w ten sposób, że, jak wskazuje rys. 36., suwka jest wykonana jako poprzeczka, natomiast miara z podziałką główną nie posiada ramienia, lecz koniec jej służy bezpośrednio jako dotyk. Przymiar do mierzenia głębokości może być również dostosowany do warunków pomiaru. Jeżeli n. p. ma być wykonany pomiar żłobka kształtu T (p. rys. 37.), to zwyczajnym przymiarem możemy zmierzyć tylko ogólną głębokość K , jeżeli natomiast chcemy wyznaczyć grubość ścianki K_1 , to z łatwością uskuteczniamy taki pomiar przymiarem o stosownie ukształtowanym dotyku. Do mierzenia głębokości wcięć i żłobków w otworach służy przymiar (przedstawiony schematycznie na rys. 38.) z miarą l , prowadzoną skośnie w poprzeczce p , lecz wykazującą na podziałce rzeczywistą głębokość k .



Rys. 36. (A. H. Schütte, Berlin.)



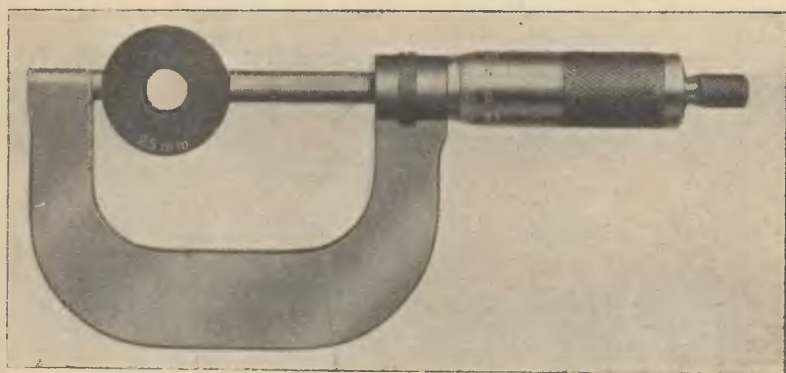
Rys. 37.



Rys. 38.

DROBNOMIERZE (mikrometry). Drobnomierze (rysunek 39.), służące do mierzenia od zewnątrz, posiadają podobnie, jak przymiar przesuwkowy, jeden dotyk nieruchomy a drugi nastawialny, którego przesunięcia odczytywane na podziałce podają mierzony wymiar.

Przesuwanie nastawialnego dotyku odbywa się za pomocą śruby o małym skoku (0,5 lub 1 mm), tak, że jednemu obrotowi śruby odpowiada przesunięcie powierzchni dotykowej o 0,5, względnie 1 mm, natomiast części obrotu odczytuje się na podziałce zewnętrznej pochwy śruby.



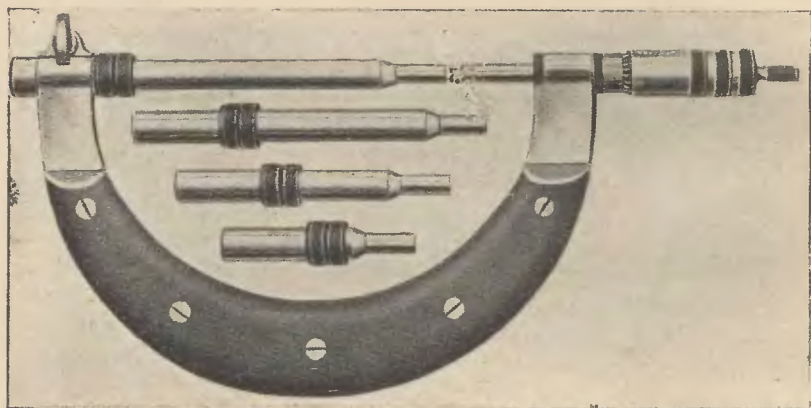
Rys. 39. (A. H. Schütte, Berlin.)

Ponieważ obwód tej pochwy jest podzielony na 50 części, więc można jeszcze odczytać $\frac{1}{100}$, względnie $\frac{1}{50}$ mm, ale to nie jest jeszcze granicą dokładności odczytu, bo mając wprawę, można osiągnąć dokładność jeszcze większą.

Dokładność pomiaru zależy przede wszystkim od dobrego wykonania śruby drobnomierza. Ponieważ dokładne wykonanie śrub o większej długości jest trudne i kosztowne, więc długość ich wynosi najczęściej tylko 25 mm. Z tego powodu jednym drobnomierzem nie można wykonywać pomiarów w tak szerokich granicach, jak za pomocą przymiarów przesuwkowych, lecz w obszarze 25 mm (0 do 25, 25—50, 50—75 mm i t. d.). Niewygodę tę usuwa częściowo drobnomierz według rys. 40, posiadający cztery nasadki, które można zakładać stosownie do mierzonej wielkości. Powstaje tu jednak nowe źródło błędów, mia-

nowicie osadzenie nasadki w kabłąku, które musi być bardzo dokładne i pewne. Także i to może być poczytywane za wadę, że do mierzenia mniejszych wymiarów używa się drobnomierza o większym ciężarze, co ma również wpływ na dokładność pomiaru. Kabłąk jest obłożony ebonitem, aby zapobiec dopływowi ciepła ręki.

Może też być inne jeszcze rozwiązanie tego samego zadania, mające jeszcze tę zaletę, że umożliwia szybkie dostosowanie rozstawu drobnomierza do mierzonej wielkości. Mianowicie śruba jest osadzona w kabłąku przesuwalnie



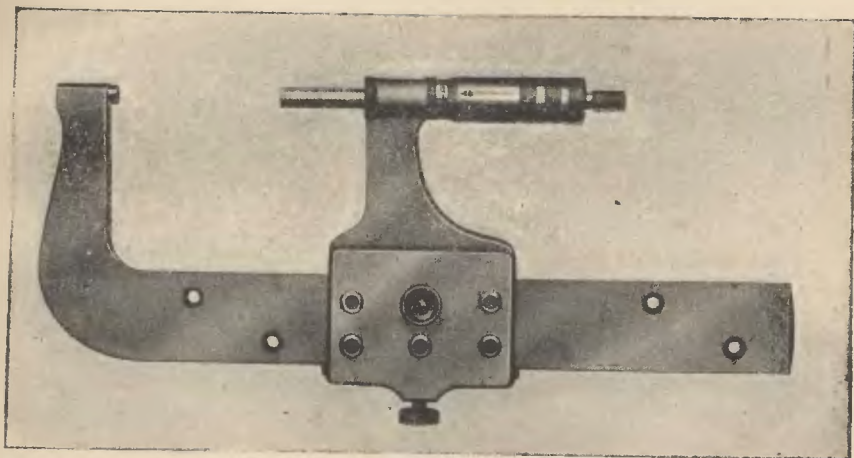
Rys. 40. (A. H. Schütte, Berlin.)

wraz ze specjalnym suwakiem, który można przesuwąć w jedną lub drugą stronę o odstępy 10 mm. W każdym położeniu stosowny zacisk ustala położenie suwaka wraz ze śrubą. W ten sposób można dotyk śruby przystawić do przedmiotu bardzo blisko, tak, że ostateczne dostawienie dotyku śruby do przedmiotu odbywa się na małej tylko długości, więc nie zabiera wiele czasu. Powiększenie rozpiętości drobnomierza można też uzyskać przez zespolenie przymiaru przesuwkowego z drobnomierzem, jak wskazuje rys. 41.

Suwka wraz z drobnomierzem może być przesuwana o odstępy 25 mm, a w każdym położeniu ustala ją kołeczek, przetknięty przez otwór suwki i prowadnicy. Otwory te są zaopatrzone w stalowe i hartowane tulejki, przyczem

odpowiadające sobie otwory są wspólnie szlifowane. Dokładność pomiaru takim drobnomierzem zależy od dokładności wykonania otworów i od ich zużycia.

Dokładność pomiaru drobnomierzem zależy nie tylko od dokładności śruby, lecz także od dokładności jej ruchu, zależącej znowu od jednostajności skoku i od usunięcia wszelkiej gry między śrubą a jej nakrętką. Jednostajność skoku sprawdza się zapomocą płytek Johanssona ¹⁾, z których zestawia się różne długości i mierzy je badanym dro-

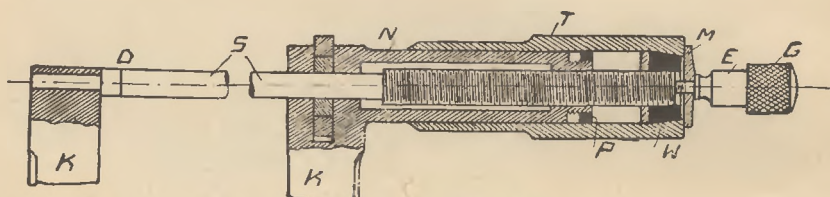


Rys. 41. (A. H. Schütte, Berlin.)

bnomierzem. Należy przytem zachować wszelkie ostrożności, aby na płytki i drobnomierz nie działało ani ciepło ręki, ani oddech, słońce i t. p. Jeżeli drobnomierz wykazuje przytem inne wymiary, niż wynika z zestawienia płytek, to różnica ta jest błędem skoku śruby, o ile inne części (powierzchnie dotykowe) są nieuszkodzone. Gdy błąd ten jest większy od $\frac{1}{4}$ odstępu kresek podziałki, to drobnomierz taki nie może być uważany za precyzyjny. Błędu tego wyrównać już nie można, występuje od jednak rzadko, o ile ma się do czynienia z wyrobami fabryk godnych zaufania. Natomiast swobodne ruchy w nakrętce, pojawiające się wskutek zużycia i dające się wyczuć przy pewnej wprawie, można usunąć u drobnomierzy nowszej konstrukcji. Drobnomierz taki przedstawia rys. 42.

¹⁾ Zob. sprawdzanie śrub.

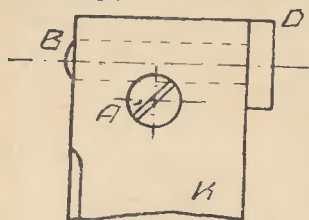
Śruba S drobnomierza, obracając się wraz z tulejką T, przesuwa się w nakrętce N, która z kabłąkiem K stanowi jedną całość, lecz może być także wykonana jako oddzielna część. Koniec nakrętki N jest rozcięty tak, że za pomocą pierścieniowego naśrubka P można go na śrubie nieco zacisnąć, usuwając w ten sposób luz, powstały wskutek zużycia się śruby i nakrętki N. Powierzchnie dotykowe D, które są dokładnie prostopadłe do osi śruby i silnie za hartowane, ulegają także zużyciu, wskutek czego drobno-



Rys. 42. (Hommelwerke, Mannheim.)

mierz przestaje wskazywać rzeczywiste wymiary i wymaga ponownego ustawienia na zero. Jeżeli obejmuje tylko wymiary od 0—25 mm., to powinien wskazywać zero, gdy powierzchnie dotykowe stykają się ze sobą, natomiast drobnomierze dla wymiarów większych, n. p. 25—50 mm., 50—75 mm. i t. d., wskazują 0, gdy ich powierzchnie dotykowe są od siebie oddalone o 25 mm, 50 mm. i t. d., muszą być zatem nastawiane na jakimś sprawdzianie pożądanego wymiaru (fabryki dodają zazwyczaj do każdego drobnomierza sprawdzian pręcikowy).

Konstrukcja, umożliwiającą nastawianie drobnomierza na 0 może być dwojaka. Może być nastawialny dotyk nieruchomy, albo też może być nastawialny dotyk ruchomy



Rys. 43.
(E. Reinecker, Chemnitz.)

czyli śruba. W pierwszym wypadku (rys. 43.) dotyk D jest wkręcony w kabłąk K, centruje go cylindryczny węzeł, a ustala w położeniu śruba A. Poprawkę uskutecznia się w ten sposób, że drobnomierz umocowuje się w specjalnym uchwycie lub imadle i nastawia na zero. Wte-

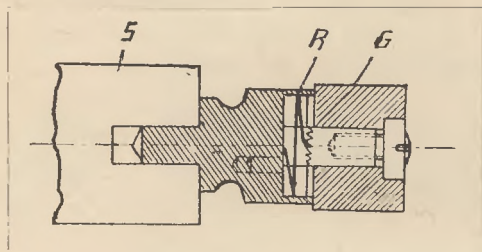
dy sprawdzian, odpowiadający najmniejszej rozpiętości drobnomierza, bierze się w drewniane kleszcze i wstawia między dotyki. Zluźnioną już przedtem śrubę B dokręca się aż do zetknięcia się dotyku D ze sprawdzianem, poczem ustala się to położenie zapomocą śrubki A. Sposób ten odznacza się łatwością i wygodną manipulacją, lecz przez dokręcanie śrubki B może się zmienić położenie powierzchni dotyku.

Nastawialną śrubę posiada drobnomierz, przedstawiony na rys. 42. Pokręcając główkę G, wprawia się w ruch tulejkę T, a wraz z nią śrubę S, z którą tulejka jest sprzężona zapomocą stożkowej pochwy. W ten sposób przesuwamy śrubę aż do zetknięcia się z nieruchomym dotykiem względnie z końcem sprawdziana, wstawionego między dotyki. O ile te ostatnie są nieco zużyte, to w tem położeniu zero tulejki nie będzie się schodziło z zerem podziałki głównej, znajdującej się na nakrętce N. W tym wypadku przytrzymujemy śrubę S, aby się nie cofnęła i obracamy śrubę E w przeciwnym kierunku (prawy gwint), przez co zwalniamy podkładkę M i tulejkę I, tak, że możemy ją teraz obrócić, aby się zeszły obie kreski zerowe, poczem śrubę E znowu dociągamy.

Konstrukcja ta ma tę zaletę, że czynność nastawiania jest prosta, a zaletę tę nie zawsze posiadają inne konstrukcje, jak n. p. J. Slocomb'a, gdzie nastawianie odbywa się w nakrętce śruby drobnomierza. Do tego miejsca można się jednak dostać tylko w ten sposób, że wykręca się śrubę prawie całkowicie na zewnątrz, aby więc potem skontrolować, czy nastawienie jest dobre, trzeba śrubę znowu wkręcić aż do zetknięcia się ze sprawdzianem, powtarzając tę czynność aż do osiągnięcia zgodności położenia obu kresek zerowych.

Do poważnych źródeł błędu przy pomiarze drobnomierzem należy nacisk, jaki się wywiera przesuwalnym dotykiem na mierzony przedmiot. Błąd ten zależy przede wszystkim od wprawy mierzącego a wielkość jego może być znaczna z powodu wielkiego przeniesienia siły, jakie daje śruba o małym skoku. Mierzący musi więc mieć dobrze wyrobione czucie, aby nacisk ten nie przekroczył dopuszczalnej wielkości. Dla ułatwienia stosuje się u drobnomierza

mierzy urządzenie, uniemożliwiające przekroczenie pewnego dopuszczalnego nacisku. Uzyskuje się to, włączając pomiędzy śrubę drobnomierza a główkę sprzęgło tarciove lub sprężynowe. W pierwszym wypadku ruch główki przenosi się na śrubę przez tarcie, które jest tak dobrane, że gdy dół śruby oprze się na powierzchni mierzonego przedmiotu z odpowiednim naciskiem, to tarcie w sprzęgle nie wystar-



Rys. 44.
(Hommelswerke, Mannheim.)

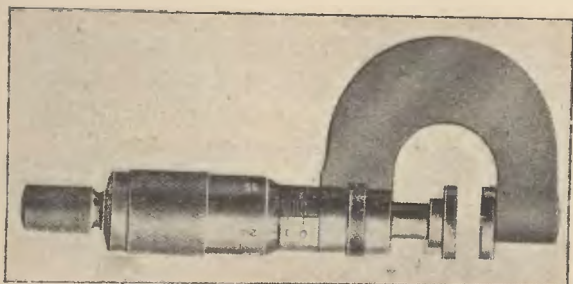
czy już do dalszego przenoszenia ruchu i śruba się zatrzymuje. Ponieważ jednak tarcie to zależy od stopnia zużycia powierzchni trących, a także od smaru, który może się dostać pomiędzy te powierzchnie w większej lub mniej-

szej ilości, więc jest ono zmienne, a zatem nacisk przy pomiarze jest także zmienny, wskutek czego zmienna jest także dokładność pomiaru. Z tego powodu lepsze są sprzęgła sprężynowe, czyli t. zw. grzechotki. Rys. 44. przedstawia grzechotkę, w jaką firma »Hommelswerke, Mannheim« zaopatruje swoje drobnomierze. Główka G wprawia w ruch śrubę S drobnomierza za pośrednictwem płaskiej sprężyny pierścieniowej R, chwytając ją ząbkami, które przeskakują, gdy nacisk śruby osiągnie największą dopuszczalną wielkość.

INNE ZASTOSOWANIA DROBNOMIERZY. Ze względu na dokładność pomiarów drobnomierzem dochodzącą do 0,01 mm (przymiar przesuwkowy najwyżej 0,05 mm.), mają one bardzo obszerne zastosowanie nie tylko do pomiarów średnic zewnętrznych, wzgl. długości, lecz także do innych celów.

Przez odpowiednie ukształtowanie powierzchni dotykowych można drobnomierz przystosować do mierzenia śrub, o czym będzie mowa w odnośnym rozdziale, albo n.

p. do mierzenia grubości papieru, papy, skóry i innych materiałów. Drobnomierz taki przedstawia rys. 45.



Rys. 45. (A. H. Schütte, Berlin.)

Celem wyzyskania dokładności drobnomierza kombinuje go się z innymi rodzajami narzędzi mierniczych, chcąc też w ten sposób rozszerzyć granice możliwych pomiarów. Mówiliśmy już o takiej kombinacji drobnomierza z przy-
miarem przesuwkowym (por. rys. 41.), przyczem przymiar przesuwkowy może być wykonany normalnie, to znaczy, że przewodnica posiada podziałkę,



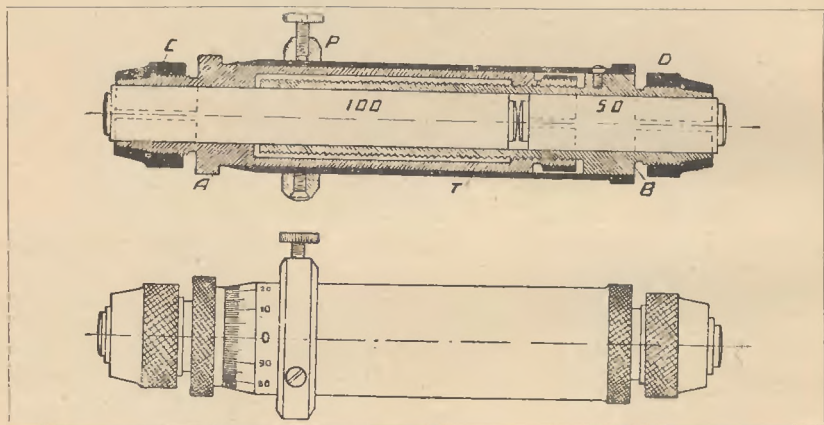
Rys. 46. (A. H. Schütte, Berl.)



Rys. 47. (A. H. Schütte, Berl.)

suwka noniusz a jej powierzchnią dotykową jest dotyk drobnomierza.

Drobnomierze mają też zastosowanie do mierzenia wysokości (rys. 46) i głębokości (rys. 47). Celem zwiększenia granic pomiarów zaopatruje się te drobnomierze w wymienne pręciki o różnych długościach, tak, że stosownie do mierzonej wysokości, wzgl. głębokości umocowuje się w drobnomierzu pręcik stosownej długości, a ostateczne nastawienie mierzonej wielkości uskutecznia się zapomocą



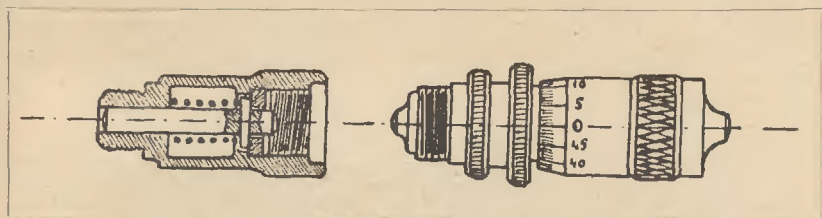
Rys. 48.

drobnomierza. Ostatnio wymienione przyrządy mają jednak tę wadę, że w połączeniu drobnomierza z wkładką powstaje nowe źródło błędu, zależne od dokładności wykonania tego połączenia i jego konstrukcji, więc zmniejszające pewność pomiaru.

Pewniejszy jest składany drobnomierz do pomiarów wewnętrznych, przedstawiony na rys. 45 (Hommelwerke, Mannheim). W dwóch pochwach drobnomierza A, B są zaściśnięte zapomocą nakrętek C, D, miary pręcikowe o długości n. p. 100 i 50 mm., tak że drobnomierz ustawiony na 0 ma długość 150 mm. i wtedy miary pręcikowe stykają się ze sobą w jego wnętrzu. Długości większe od 150 mm. nastawia się, pokręcając śrubę drobnomierza i odczytując nadwyżkę długości na podziałce pochwy A i tulejki T. Do

ustalania nastawionego wymiaru służy pierścień zaciskowy P. Gdy drobnomierz jest zesunięty do wymiaru 150 mm., wtedy dokładność pomiaru zależy tylko od dokładności wykonania miar pręcikowych i równa się dokładności pomiarów zapomocą miar stałych, jest zatem większa od dokładności pomiarów zapomocą miar nastawialnych. Natomiast dokładność pomiaru wielkości przekraczających 150 mm. (w tym wypadku) jest już obciążona błędami właściwymi drobnomierzom.

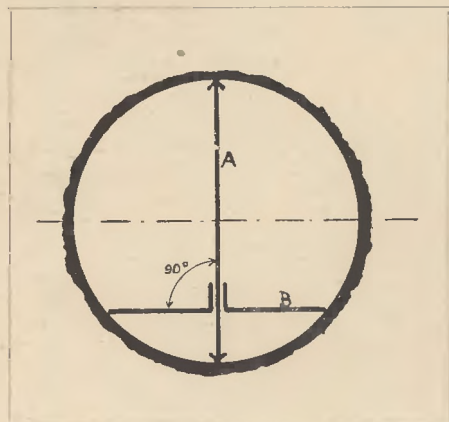
Firma Karol Zeiss w Jenie wyrabia drobnomierze prześwitowe (do pomiarów wewnętrznych), które posiadają również stosownie dobrane przedłużenia, umożliwiające po-



Rys. 49.

miary do 900 mm. Rys. 49 przedstawia taki drobnomierz i jego przedłużenie, składające się z pochwy, osłaniającej pręcik o pewnej długości. Gdy pochwa przedłużenia nie jest skręcona z drobnomierzem, to pręcik pod działaniem sprężyny chowa się wewnątrz pochwy, co zabezpiecza go przed uszkodzeniem. Dotykowy koniec pręcika wysuwa się na zewnątrz tylko wtedy, gdy pochwa przedłużenia jest przykręcona do drobnomierza lub do innego przedłużenia. Używając do pomiaru drobnomierza bez przedłużenia, zabezpiecza się jego gwint zewnętrzny zapomocą nakręconej czapeczki. Zaletą tego drobnomierza jest to, że całkowicie wyzyskuje dokładność możliwą do osiągnięcia zapomocą drobnomierza, bo pomiarowe pręciki przedłużeń zawsze się ze sobą stykają i zawsze z tym samym naciskiem określonym prężnością sprężyny. Tym sposobem unika się źródła błędu, jakim może być połączenie drobnomierza z przedłużeniem lub wkładką innej konstrukcji.

Do pomiaru wielkich średnic nadaje się dobrze drobnomierz prześwitowy A (zob. schematyczny rys. 50), zaopatrzony



Rys. 50.

w prostopadłą poprzeczkę B, bo jeżeli włożysz drobnomierz w otwór przesuniemy poprzeczkę tak, że wszystkie cztery punkty, to znaczy końce poprzeczki i drobnomierza, stykają się z mierzonym obwodem, to drobnomierz przechodzi dokładnie przez środek tegoż obwodu, czyli mierzy dokładnie jego średnicę.

CZUJNIKI.

Czujniki tem się charakteryzują, że w bardzo ciasnych granicach pomiaru można nimi mierzyć z dokładnością do 0,005 mm, a nawet 0,0025 mm. Ze względu na konstrukcję można odróżnić czujniki dźwigniowe i zegarkowe. Czujnik dźwigniowy w bardzo prostym wykonaniu przedstawia rys. 51; jego główną częścią jest dwuramienna dźwignia a, której krótszy koniec jest zarazem czopkiem dotykowym, natomiast dłuższy koniec jest wskazówką przesuwającą się na stosownej podziałce. Przedstawiony czujnik posiada trzy powierzchnie



Rys. 51. (A. H. Schütte, Berlin.)

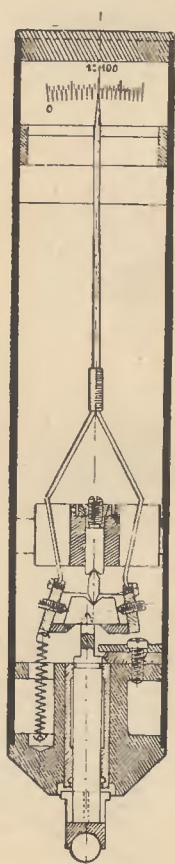
dotykowe, co umożliwia sprawdzanie wałów, albo otworów lub płaszczyzn bez konieczności zmiany położenia, to znaczy odwracania czujnika.

Wielkość wychylenia dźwigni na podziałce zależy od stosunku długości ramion dźwigni, obierając zatem odpowiedni stosunek można w zasadzie uzyskać dowolne przeniesienie. Zbyt wielkie przeniesienie nie daje jednak żadnej korzyści, bo błędy pomiaru, wynikające z warunków mechanicznych (nieunikniony luz w osadzeniu dźwigni) byłyby większe od dokładności odczytu. Z tego powodu dokładność odczytu takiego czujnika, wyrobionego fabrycznie, podaje firma na $\frac{1}{50}$ mm., lecz gdy czujniki takie ze względu na prostotę ich konstrukcji wyrabia się w warsztacie dla własnego użytku, to wystarcza przeniesienie $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$. Czujnik, przedstawiony na rys. 51, można do pomiaru ustawić dowolnie, obracając go na tarczy c oraz przesuwając w górę lub w dół na słupku d. Sprężyna b ustawia dźwignię zawsze w położeniu krańcowem. Trzonek e służy do osadzania czujnika w suporcie tokarki, lecz można go oczywiście osadzić w jakimkolwiek innym trzymaku, dostosowanym do rodzaju pomiaru. Ponieważ zastosowanie czujników bywa bardzo różne, więc też sposób ich umocowania może być najrozmaitszy, aby wykonywanie pomiarów było jak najwygodniejsze.

Przed użyciem czujnika do pomiaru należy go dokładnie sprawdzić, bo z powodu obrotowego osadzenia dźwigni na czopkach pewien luz w łożyskach czopów jest nieunikniony i powoduje błędy pomiaru. Dokładność wskazań czujniki powinno się sprawdzić w całym obszarze jego pomiarów, co można skutecznie zapomocą drobnomierza, przesuwając czopek dotykowy czujnika naciskiem ruchomego dotyku drobnomierza, sprawdzając równocześnie zgodność wskazań drobnomierza i czujnika, albo zapomocą wspomnianych już płytek Johanssona. Oczywistym warunkiem, koniecznym w czasie sprawdzania czujnika drobnomierzem jest pewne osadzenie obu.

Większą dokładność pomiaru wykazuje dźwigniowy czujnik Hirth'a (Fortuna-Werke Albert Hirth, Stuttgart),

zwany *minimetre* m i wykonywany z przekładnią $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{500}$ do $\frac{1}{1000}$. Działanie i budowę minimetra objaśniają rys. 52 i 53. Zasadniczą częścią jest dźwignia ze wskazówką, zaopatrzona w wykroje, w które wchodzi trzymająca ją ostrza. Przez takie osadzenie dźwigni uniknięto czopów i łożysk, które z powodu luzu w łożyskach, warstewki smaru i brudu wpływają niekorzystnie na dokładność przyrządu. Mniejsza lub większa odległość punktów podparcia dźwigni wpływa na wielkość wychylenia wskazówki, więc przeniesienie, równające się stosunkowi odległości punktów podparcia do długości wskazówki, może



Rys. 52.



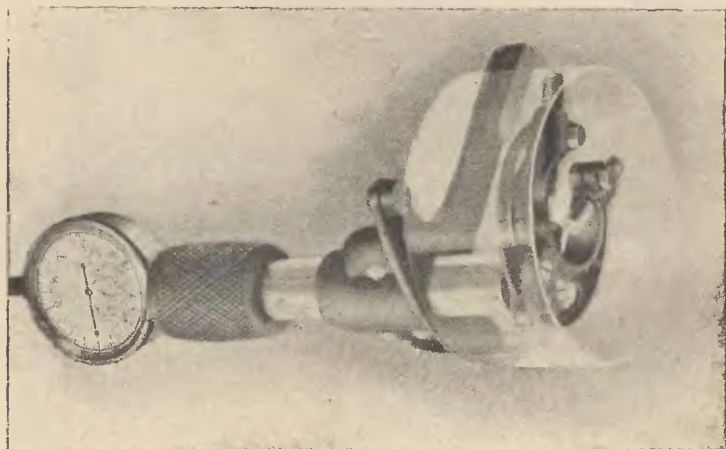
Rys. 53.

być dowolne. Zmianę położenia dźwigni i wychyłkę wskazówki powoduje dolne ostrze, które jest połączone z czopkiem czujnika, przesuwalnym w długiej pochwie prowadniczej. Powierzchnią dotykową czopka jest osadzona w nim kulka stalowa. Sprężyna ciągnąca z jednej strony dźwignię czujnika, przyciska ją do ostrzy i ustawia wskazówkę w położeniu krańcowem. Cały mechanizm czujnika jest szczelnie zamknięty w rurze zabezpieczającej przed kurzem i zamkniętej u góry czapą z szybką szklaną, umożliwiającą odczytywanie położenia wskazówki na podziałce. Wszystkie części robocze są wykonane ze stali i możliwie twardo hartowane.

CZUJNIKI ZEGARKOWE zbudowane są w ten sposób, że powierzchnią dotykową jest zakończenie czopka, który wewnątrz osłony (zegarkowej) czujnika posiada zębatkę, wprawiającą w ruch kółka zębate mechanizmu. Na ostatniem z tych kółek jest osadzona wskazówka przesuwająca się na podziałce rozmieszczonej na obwodzie koła. Zaletą tych czujników jest wygoda w użyciu, szeroki zakres pomiaru (do 10 mm.), możność uzyskania wielkiego przeniesienia i przejrzystość podziałki, której rozmieszczenie na obwodzie koła umożliwia stosowanie większych odstępów między poszczególnymi kreskami, co też ułatwia odczytywanie ułamków tych odstępów (do 0,005 mm.). Jednocześnie używanie tych czujników wymaga ostrożności i częstej ich kontroli, bo mechanizm ich jest delikatny i ulegający stosunkowo łatwo uszkodzeniu; czopy i łożyska kół zębatych ulegają zużyciu i zanieczyszczeniu, podobnie też ząbienia.

Zastosowanie praktyczne czujników może być bardzo rozmaite, tak do mierzenia, jak i do sprawdzania. W tym celu osadza się czujniki w uchwytach lub trzymakach najrozmaitszych konstrukcji, dostosowanych do celu. Tak wyposażone czujniki mogą mieć zastosowanie do pomiarów zewnętrznych i wewnętrznych, do sprawdzania powierzchni płaskich i krzywych, powierzchni stożkowych, gwintów i t. d. Szczególnie wygodne jest ich użycie przy sprawdzaniu dokładności obrabiarek.

Dla przykładu przedstawiono na rys. 54. czujnik do mierzenia średnic wewnętrznych. Ponieważ trzy punkty styku wyznaczają dokładnie średnicę koła, więc przyrząd ten posiada dwa nastawialne styki pomocnicze i trzeci styk czujnikowy, połączony zapomocą dźwigniowej przekładni z właściwym mechanizmem czujnika, który pozostaje zewnątrz mierzonego otworu. Przyrząd nastawia się przed pomiarem według miary normalnej, a potem wstawia



Rys. 54. (Ruthardt et Co., Stuttgart.)

w otwór mierzony, względnie sprawdzany. Głowica przyrządu, zaopatrzona w trzy styki, jest wymienna, co umożliwia pomiar różnych średnic zapomocą tego samego czujnika, bo zakres pomiarów jednej głowicy nie przekracza zwykle 10 mm.

Bardzo wygodne jest zastosowanie czujnika do sprawdzania dokładności powierzchni wykończonych na obrabiarzach. Jeżeli n. p. mamy sprawdzić cylindryczną powierzchnię obrabianego wałka, albo płaską powierzchnię obrabianą na strugarce, to osadzamy czujnik w suporcie (zamiast noża), a potem obracając, względnie przesuwając obrabiany przedmiot i suport wraz z czujnikiem obserwujemy niedokładności badanej powierzchni na odchyłkach

wskazówki czujnika. Mając natomiast dokładnie obrobniony wałek możemy sprawdzić, czy kły tokarki są ustawione w osi toczenia. W tym celu osadzamy wałek między kłami a czujnik w suporcie i postępujemy dalej tak samo jak przedtem, przyczem wskazówka nie powinna się odchyłać. Podobnie można użyć czujnika do centrycznego osadzania obrabianych przedmiotów w uchwytych, do nastawiania szablonów tokarskich według wzorców i t. d.

Zastosowanie czujników do rozmaitych pomiarów rozpowszechnia się coraz bardziej, bo można je wyrabiać w najprostszej postaci z wystarczającą dokładnością, a przez dobranie odpowiednich i znowu nieskomplikowanych obśadek przystosować do rodzaju pomiaru. Ze względu na objętość tej książki nie podaję tu więcej przykładów, których wiele można znaleźć w czasopismach technicznych (zob. W. T. w 1923, zeszyt 11, str. 338, »Mechanik« r. 1920, Nr. 6.; r. 1921, Nr. 3., Sprawdzanie dokładności obrabiarek).

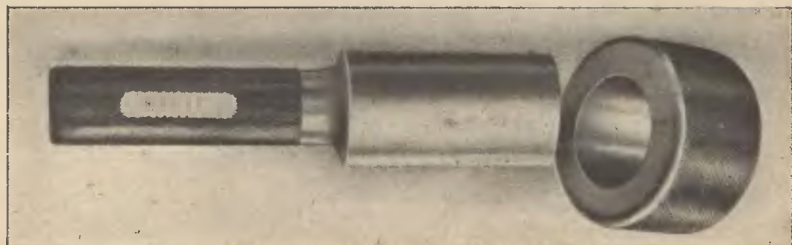
2. Miary nienastawialne (stałe).

Miary nienastawialne tem się charakteryzują, że ich powierzchnie dotykowe podają pewien stały, niezmienny wymiar, mogą więc służyć tylko do mierzenia jednej wielkości, co stanowi ich wadę w praktycznem użyciu, jest natomiast zaletą w stosunku do dokładności pomiaru, bo wiemy, że nastawialność narzędzia mierniczego pociąga za sobą istnienie źródła błędów pomiaru, mającego swe siedlisko w konstrukcji nastawy i dokładności jej wykonania. Z tego powodu w nowoczesnej fabrykacji, dążącej do jak największej dokładności obróbki i wymienności części, miary stałe zyskują coraz większe rozpowszechnienie.

KALIBRY CZYLI SPRAWDZIANY NORMALNE. Kalibry (od starohiszpańskiego caliba = otwór), czyli sprawdziany normalne, mają kształt pierścieni lub tłoczków (rys. 55.). Wyrabia się je ze stali, hartuje i poleruje, osiagając dokładność $\pm 0,002$ mm. Ponieważ wykonanie kalibrów tłoczkowych o większych średnicach z jednego kawałka by-

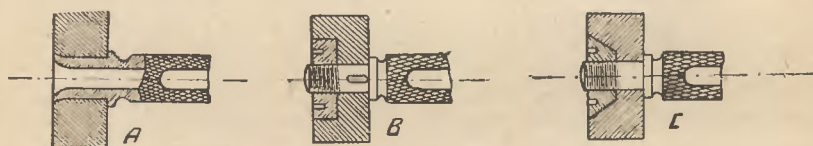


łoby trudne, gdyż w czasie hartowania kurczenie się materiału powodowałoby odkształcenia i pęknięcia, więc powyżej 50 mm. wyrabia się kalibry tłoczkowe, składane z dwóch części w ten sposób, że na rączce osadza się oddzielny pierścień. Przykłady sposobów łączenia tych czę-



Rys. 55. (A. H. Schütte, Berlín.)

ści ze sobą przedstawia rys. 56. A, B, C. W wykonaniu według rys. 56. A (August Kirsch, Aschaffenburg) rączka jest zaklepana w pierścieniu, według B, C (L. Loewe, Berlin) połączenie jest śrubowe. Rączka powinna być obłożona materiałem, utrudniającym przepływ ciepła ręki, n. p. fibra, kauczukiem i t. p.



Rys. 56.

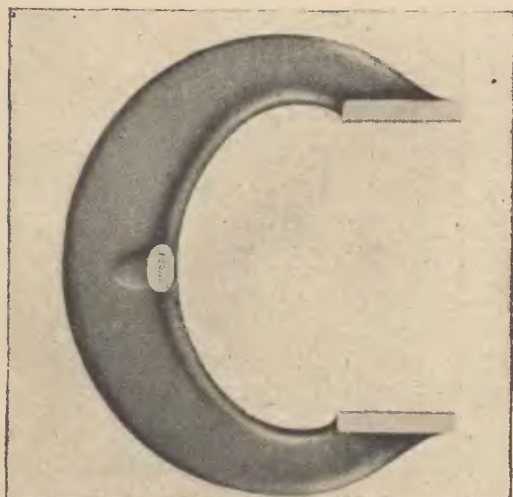
Kaliber tłoczkowy powinien wchodzić w kaliber pierścieniowy, obrobiony do tej samej średnicy, lecz wsunięcie tłoczka wymaga wprawy i jest tem trudniejsze, im dokładniej sprawdziany są obrobione. Przedewszystkiem obydwa sprawdziany muszą być dokładnie oczyszczone i powleczone cienką warstwą oleju kostnego lub czystej wazeliny (niezawierającej kwasu), poczem, trzymając kaliber tłoczkowy prostopadłe i współśrodkowo z otworem pierścienia, wsuwa go się lekko, równocześnie obracając. Gdy tłoczek wszedł już częściowo w otwór, opiera się jego rącz-

kę na jakiejś podstawie i obu rękami wsuwa całkowicie w pierścień. Wsuwanie tłoczka powinno się odbywać bez przerwy, bo w przeciwnym wypadku — zwłaszcza gdy przerwa w ruchu trwa dłużej — obie powierzchnie do-



Rys. 57. (A. A. Schütte, Berlin.)

tykowe przysysają się do siebie tak silnie, że rozłączenie ich staje się niemożliwe. Pozatem należy pamiętać jeszcze o tem, że obydwie kalibry muszą być wykonane dla tej sa-

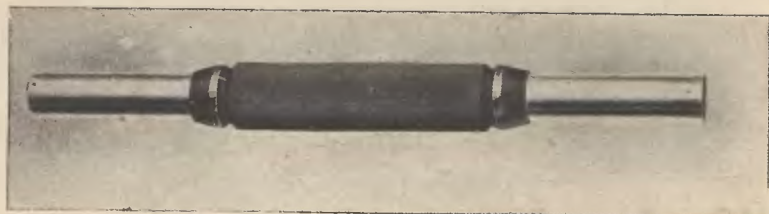


Rys. 58. (A. H. Schütte, Berlin.)

mej temperatury normalnej i że w chwili wsuwania tłoczka w pierścień temperatury ich muszą być jednakowe.

Sprawdziany takie dla większych średnic stają się ciężkie i niewygodne w użyciu, a przytem przez pomiar można tylko stwierdzić, czy w dany otwór kaliber wchodzi, ale nie można sprawdzić, w którym miejscu otwór jest

niedokładny. Z tych powodów wyrabia się do mierzenia wewnętrznego **sprawdziany łopatkowe**, a do mierzenia zewnętrznego **sprawdziany kabłąkowe** czyli **szczękowe** (rys. 57. i 58.). Dla średnic do 100 mm (dokładność $\pm 0,002$ mm) odkuwa się te sprawdziany z jednego kawałka, natomiast dla średnic powyżej 100 mm (dokładność $\pm 0,003$ mm) sprawdziany te mają korpus lany a hartowane szczęki są nałożone i wymienne. Sprawdziany te różnią się także tem od poprzednich, że stykają się z mierzonym przedmiotem na mniejszej powierzchni, bo sprawdzian tłoczkowy lub pierścieniowy styka się ze sprawdzanym otworem,

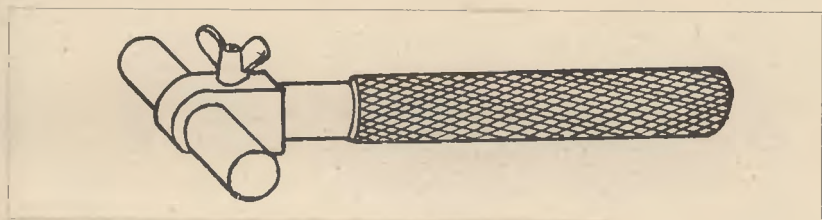


Rys. 59. (A. H. Schütte, Berlin.)

względnie wałem całą swą powierzchnią, natomiast sprawdzian łopatkowy tylko powierzchnią szczęk, a kabłąkowy tylko w linii styczności płaskiej powierzchni szczęk z cylindryczną powierzchnią wału. Jednakowoż wielkość powierzchni styku przy pomiarze ma duży wpływ na jego dokładność (w stosunku odwrotnym), więc przy pomiarze sprawdzianem łopatkowym lub kabłąkowym nabiera większego znaczenia czucie, to znaczy wprawa. Ponieważ czucie to wyrabia się i przystosowuje do używanego sprawdziana, więc nie należy używać współcześnie sprawdzianów różnych typów, bo wtedy popełnia się przy pomiarze większe błędy.

Objaśnia to dobrze przykład, podany przez prof. E. T. Geislera («Mechanik» r. 1920, Nr. 6.). Gdyby ten sam robotnik wykończył dwa otwory o średnicy 100 mm i jeden z nich sprawdzał kalibrem tłoczkowym a drugi łopatkowym, to pierwszy otwór byłby większy, bo sprawdzian tłoczkowy, mając większą powierzchnię dotykową, wchodzi w otwór z większym oporem.

Do mierzenia otworów o średnicy większej od 250 mm używa się także **sprawdzianów pręcikowych**, których końce są tak zeszlifowane, że powierzchnie ich są częściami powierzchni kuli o średnicy równej długości pręta, wskutek czego przy pomiarze otworów uzyskuje się styk linjowy. Kalibry pręcikowe (rys. 59.) posiadają również uchwyt z gumy, drzewa lub t. p., aby przeszkodzić przenikaniu ciepła ręki. Do mierzenia głębszych otworów można się posługiwać trzymakiem takim, jak na rys. 60. lub podobnym. — Dokładność sprawdzianów pręcikowych wynosi (według



Rys. 60.

A. H. Schütte) dla sprawdzianów o długości do 150 mm $\pm 0,003$ mm, do 300 mm $\pm 0,004$, do 400 mm $\pm 0,005$ mm, do 500 mm $\pm 0,006$ mm.

SPRAWDZIANY (kalibry) RÓŻNICOWE. W nowoczesnym sposobie fabrykacji nie używa się sprawdzianów normalnych do bezpośredniej kontroli obróbki, gdyż można nimi stwierdzić tylko, że jakiś wymiar jest mniejszy lub większy od nominalnego, ale nie można ocenić wielkości tej różnicy. Jeżeli jednak jakaś część ma być wymienna, to wymiary jej muszą być zawarte w pewnych określonych granicach i musi istnieć możliwość skontrolowania, czy granice te są zachowane. Z tego powodu sprawdzianów normalnych używa się w warsztacie tylko wyjątkowo, natomiast służą one do sprawdzania, nastawiania narzędzi mierzniczych i t. p. W warsztacie natomiast używa się **sprawdzianów różnicowych** czyli **krańcowych** (tolerancyjnych). Ponieważ stosowanie tych sprawdzianów jest w ścisłym związku z systemem wymiarów krańcowych, więc musimy się z nim naprzód zaznajomić.

SYSTEM WYMIARÓW KRAŃCOWYCH rozwinął się na tle dążności do wymienności części i fabrykacji masowej. Dawniejsze dopasowywanie części przy składaniu maszyn i t. p. jest w dzisiejszych czasach niedopuszczalne ze względu na dążność do skrócenia czasu pracy, zwłaszcza gdy zależy na szybkiej wymianie jakiejś uszkodzonej części maszyny pracującej. Aby taka wymiennność była możliwa, muszą być zachowane ściśle określone granice dopuszczalnych błędów wykonania, przyczem granice te są zależne od sposobu, w jaki pewne części mają być ze sobą złożone, względnie na sobie osadzone. Tak n. p. inne musi być osadzenie czopa w panewce, gdzie musi jeszcze pozostać miejsce na smar, a inne osadzenie koła pasowego na wale, na którym koło to ma być zaklinowane, inne wreszcie obręcza skurczowego, który przed nałożeniem musi być ogrzany. Stosownie zatem do rodzaju osadzenia, czyli pasowania, dopuszczalny błąd może być rozmaity i odpowiednio też stosuje się różne wymiary krańcowe, czyli różne tolerancje.

Dalszem dążeniem nowoczesnej fabrykacji jest ogólne ustalenie wielkości tolerancji dla różnych sposobów osadzenia, tak, aby wszystkie fabryki pracowały według tych samych tolerancji, gdyż wtedy możnaby osiągnąć wymiennność części, pochodzących z różnych fabryk. Byłoby to oczywiście jeszcze większym udogodnieniem dla odbiorców.

Nad takim ustaleniem układu pasowań i wymiarów krańcowych pracuje w Niemczech komisja normalizacyjna (Deutsche Industrie Normen-Ausschuß, w skróceniu D. I. N.). Normy wypracowane już i opracowywane dalej przez tę komisję nie są jeszcze ostatecznie ukończone i przyjęte, lecz jest to zapewne kwestją niedługiego już czasu, gdyż wyniki tych prac mogą już mieć zastosowanie praktyczne. Wobec tego zajmiemy się obszerniejszem przedstawieniem ustalonych już pojęć *), traktując to do pewnego stopnia jako przykład, który rzuca jasne światło na kwestję fabrykacji części wymiennych i inne związane z tem zagadnienia.

*) Maschinenbau r. 1923, Przegląd techn. r. 1923, Nr. 11.

Ponieważ wymiar **nominalny** jakiejś części, n. p. 60 mm. (zaznaczony n. p. przez konstruktora na rysunku), nie może być praktycznie osiągnięty, więc dla wykonania ustala się **wymiary krańcowe** czyli **graniczne: największy** n. p. 59,97 mm i **najmniejszy** n. p. 59,94 mm. Różnicę wymiarów krańcowych nazywa się **tolerancją**: $0,03 \text{ mm} = 59,97 - 59,94$.

Zatem **górný błąd dopuszczalny** wynosi w tym przykładzie $59,97 - 60,00 = - 0,03 \text{ mm}$, **dolny błąd dopuszczalny** $59,94 - 60,00 = - 0,06 \text{ mm}$. Jeżeli, odmierzając gotowy wyrób, stwierdziliśmy wymiar 59,95 mm, to **rzeczywisty błąd** wynosi $59,95 - 60,00 = - 0,05 \text{ mm}$.

PASOWANIE dwóch części określa ogólnie stosunek tych części do siebie ze względu na luz istniejący po ich złożeniu, przyczem **luz** równa się różnicy średnic otworu i wału, gdy średnica otworu jest większa od średnicy wału. Wielkość luzu w gotowych częściach złożonych ze sobą jest zależna od wielkości dopuszczalnych błędów, tak, że **największy luz** możliwy równa się różnicy największego wymiaru otworu i najmniejszego wymiaru wału, a **najmniejszy luz** różnicy najmniejszego otworu i największego wału dla danej średnicy.

Lecz pasowanie może też być takie, że średnica otworu jest mniejsza od średnicy wału i wtedy niema luzu, tylko jest **docisk**, który jest także zależny od wielkości dopuszczalnych błędów i może być **największy**, gdy równa się różnicy największego wymiaru wału i najmniejszego wymiaru otworu, albo **najmniejszy**, gdy równa się różnicy najmniejszego wymiaru wału i największego wymiaru otworu.

Różne rodzaje pasowania, t. zn. doboru wymiarów części składanych ze sobą, dają różne rodzaje **osadzenia**, czyli **dolegania**. Wogóle osadzenie może być **ruchome** lub **spoczynkowe**. Osadzenie ruchome może być **obrotowe** lub **ślizgowe**, zależnie od warunków pracy i stosownie do tego dobranych wymiarów. Osadzenie spoczynkowe może być natomiast **przesuwne**, **przylgowe**, **szczelne**, **tłoczone**.

Wyszczególnione rodzaje pasowań, względnie osadzenia można uzyskać w dwojaki sposób: albo według **układu**

pasowań dla stałego otworu, albo według układu pasowań dla stałego wału. Różnica polega na tem, że w pierwszym wypadku wykonywa się dla pewnego nominalnego wymiaru otwory o niezmiennych średnicach a średnice wałów zmienia się stosownie do rodzaju pasowania, w drugim wypadku średnica wału jest niezmienna a średnice otworów zmieniają się stosownie do pasowania, jakie ma być uzyskane przez stosowny dobór wymiarów krańcowych. Teoretycznie obydwie metody prowadzą do celu równie dobrze, lecz w praktycznem zastosowaniu należy obierać układ pasowań stosownie do robót, jakie ma się wykonywać.

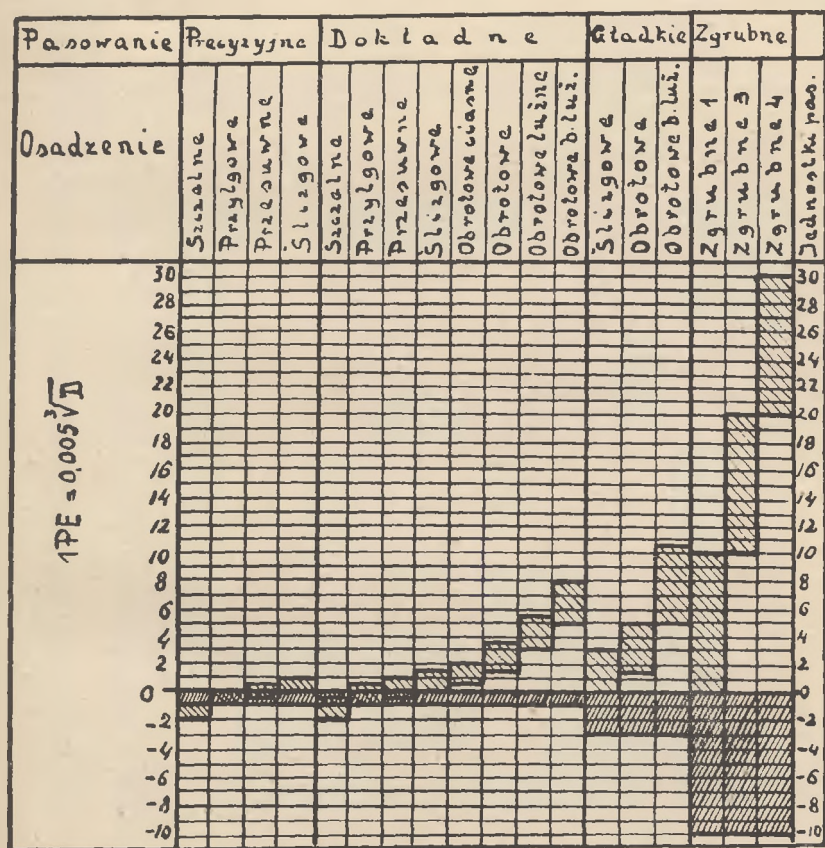
Układ pasowań dla stałego otworu wymaga dla każdej średnicy jednego zestawu rozwiertaków, jednego sprawdziana łopatkowego i po jednym widelkowym sprawdzianie różnicowym dla każdego rodzaju osadzenia, natomiast układ pasowań dla stałego otworu wymaga dla każdej średnicy jednego zestawu rozwiertaków, jednego sprawdziana łopatkowego i po jednym widelkowym sprawdzianie różnicowym dla każdego rodzaju osadzenia, natomiast układ pasowań dla stałego wału wymaga dla każdej średnicy jednego kabłąkowego sprawdziana granicznego do mierzenia wału, osobnego zestawu rozwiertaków i sprawdzianów łopatkowych dla każdego rodzaju osadzenia.

Widzimy więc, że w drugim wypadku potrzeba większej ilości narzędzi, lecz obróbka otworów zapomocą rozwiertaków jest łatwiejsza, a zatem i tańsza od szlifowania wałów. (Zob. »Mechanik« r. 1920, Nr. 6, Prof. E. T. Geisler »System wymienności«.) Z tych powodów do wyrobu n. p. pędni i t. p. korzystniej jest stosować układ pasowań dla stałego wału.

Różnicę wymiarów krańcowych, czyli tolerancję, określa się jednak nie tylko stosownie do rodzaju osadzenia, lecz także w zależności od wymaganej dokładności pasowania, gdyż dokładność ta może być różna, zależnie od celu i sposobu pracy części złożonych ze sobą. N. p. dopasowania części zwyczajnej obrabiarki może być mniej dokładne od dopasowania części jakiegoś mechanizmu maszyny mierni-

czej lub t. p., więc też w pierwszym wypadku tolerancja może być większa, w drugim jak najmniejsza. Oczywiście jest, że im dokładniejsza ma być obróbka, czyli mniejsza tolerancja, tem wyższe będą koszty robocizny.

Uwzględniając powyższe warunki w układzie pasowań, określa się tolerancję w zależności nie tylko od rodzaju osadzenia, lecz także od wymaganej dokładności wykonania.

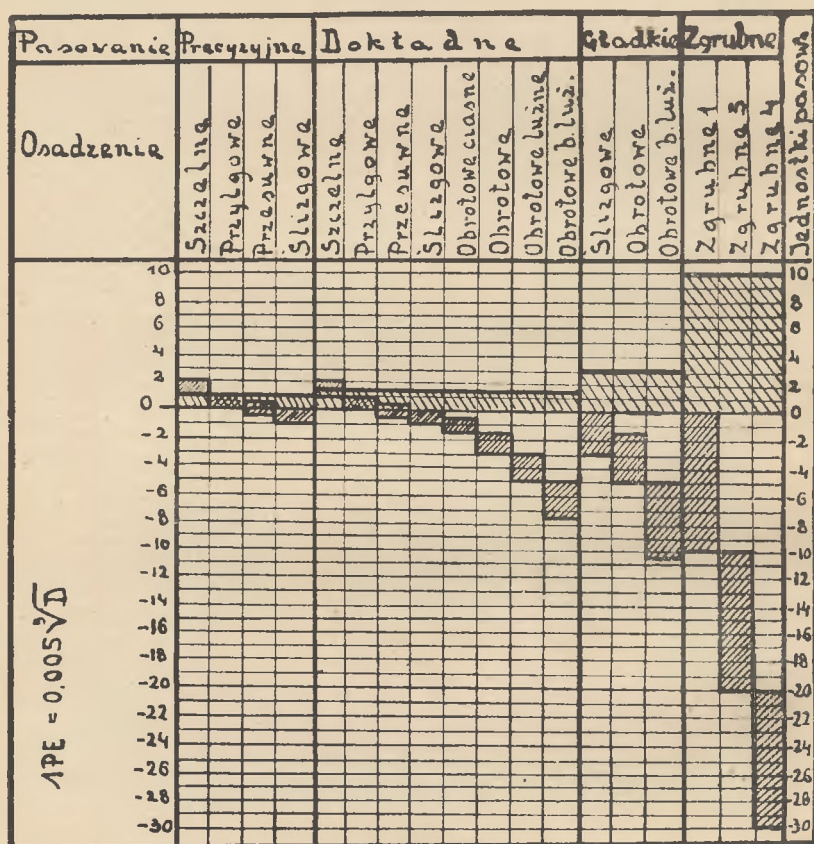


Obraz tolerancji { otworu 
wału 

Rys. 61. Układ pasowań dla stałego wału.

nia i odróżnia się cztery stopnie dokładności pasowania, mianowicie: **pasowanie precyzyjne, dokładne, gładkie i zgrubne**. Wielkość luzu, względnie różnica między możliwym luzem największym a najmniejszym jest tem mniejsza, im mniejsza jest tolerancja, to znaczy, że im mniejsza jest tolerancja czyli wyższy stopień dokładności wykonania, tem pewniej osiąga się żądany rodzaj osadzenia.

Wielkość dopuszczalnej tolerancji określono na podstawie doświadczeń, które wykazały, że ona zależy od śre-



Obszar tolerancji { otworu 
wału 

Rys. 62. Układ pasowań dla stałego otworu.

dnicy (D) otworu, wzgl. wału i wzrasta razem z nią. — Ogólną wielkość tolerancji określa się dla różnego rodzaju pasowań ilością t. zw. **jednostek pasowania**, a liczbową wielkość tolerancji oblicza się dla każdej średnicy, przyjmując jednostkę pasowania: $1 \text{ PE} = 0,005 \sqrt[3]{D}$

Wykreślne przedstawienie układu pasowań daje najprzejrzystszy obraz zależności wielkości tolerancji od rodzaju osadzenia i stopnia dokładności.

Rys. 61. przedstawia układ pasowań dla stałego wału, rys. 62. dla stałego otworu. W obu układach punktem wyjścia dla rozkładu tolerancji i luzów, względnie docisków jest wymiar nominalny czyli linia zerowa, od której oznacza się tolerancję i luzy w kierunku dodatnim lub ujemnym. Rodzaje osadzenia zgrubnego są oznaczone liczbami 1, 3, 4, brak liczby 2 tłumaczy się tem, że osadzenie to, proponowane wcześniej, później odrzucono.

Widzimy też z wykresu, że w miarę wzrostu dokładności obróbki od zgrubnej do precyzyjnej granice tolerancji stają się coraz węższe, więc zmniejszają się też wahania luzu, t. zn. różnice między luzem największym i najmniejszym.

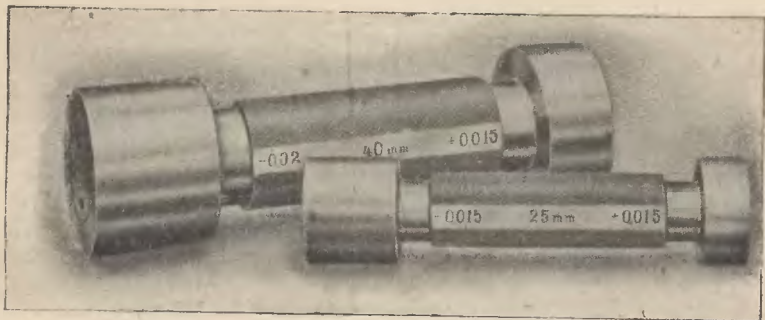
Dla ułatwienia oznaczania rodzaju pasowania na rysunkach warsztatowych i na narzędziach mierniczych, służących do kontrolowania wymiarów obrabianego przedmiotu, podają normy niemieckie skróty i barwy, których zestawienie podano poniżej ze względu na to, że niemieckie fabryki narzędzi mierniczych używają już po części tych znaków, a do Polski sprowadza się wiele tych narzędzi z Niemiec.

Stwierdzanie w czasie obróbki jakiegoś przedmiotu, czy jego wymiary pozostają w granicach dopuszczalnej tolerancji, możnaby skutecznie zapomocą znanych już narzędzi mierniczych, n. p. drobnomierzy lub innych, lecz w takim razie mierzenie zabierałoby więcej czasu a przede wszystkim dokładność pomiaru (a zatem i pasowania) byłaby zależna od wprawy i sumienności robotnika. Z te-

Zestawienie skrótów rodzajów pasowań.

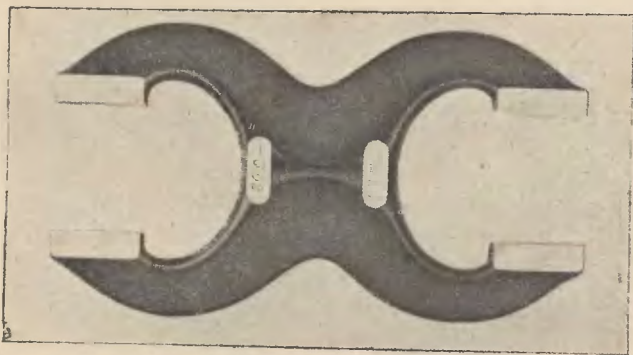
Stopień dokładności			Stały otwór		O s a d z e n i e	Stały wał	
Określenie pasowania	Skrót	Barwa	Otwór	Wał		Otwór	Wał
precyzyjne	e	niebieska	eB	F H S G	Spoczynkowe szczelne przylgowe przesuwne Ruchome ślizgowe	eF eH eS eG	eW
dokładne		czarna	B	F H S G EL L LL WL	Spoczynkowe szczelne przylgowe przesuwne Ruchome ślizgowe obrotowe ciasne obrotowe obrotowe luźne obrotowe b. luźne	F H S G EL L LL WL	W
gładkie	s	żółta	sB	sG sL sWL	Ruchome ślizgowe obrotowe obrotowe b. luźne	sG sL sWL	sW
zgrubne	g	zielona	gB	g1 g3 g4	Ruchome zgrubne 1 zgrubne 3 zgrubne 4	g1 g3 g4	gW

go powodu dla ułatwienia pracy używa się specjalnych narzędzi, t. zw. **sprawdzianów różnicowych** lub **kalibrów tolerancyjnych**, które zależnie od tego, czy mają służyć do mierzenia otworów czy wałów są **sworzniowe** lub **tłocz-kowe** (rys. 63.), względnie **widelkowe** czyli **szczękowe**



Rys. 63. (A. H. Schütt, Berlin.)

(rys. 64.). Sprawdziany te nazywają się różnicowe, bo wykazują dwa wymiary (n. p. z jednej strony $25 + 0,015$ mm, a z drugiej strony $25 - 0,015$ mm), które różnią się od wymiaru nominalnego (n. p. 25 mm) o wielkość górnego, względnie dolnego błędu ($\pm 0,015$ mm). W naszym przykładzie otwór ($25 \pm 0,015$ mm) będzie dobrze wykonany, to znaczy będzie odpowiadał określonej tolerancji,



Rys. 64. (A. H. Schütte, Berlin.)

gdy jedna strona sprawdziana ($25 - 0,015$) wejdzie w otwór łatwo, a druga strona ($25 + 0,015$ mm) tylko »zaczepli«, bo gdyby i ta druga strona weszła w otwór, to byłby on zbyt wielki dla danego rodzaju pasowania,



Rys. 65. (A. H. Schütte, Berlin.)

więc robota byłaby zepsuta. Dla odróżnienia tłoczki sprawdziana mają niejednakową długość, tak n. p., że krótszy tłoczek oznacza zepsutą robotę, albo też obie strony mogą być oznaczone różnymi barwami lub t. p.

Używanie sprawdzianów takich, jak na rys. 63., 64., to znaczy pełnych cylindrów, wzgl. dwustronnych widełek, byłoby uciążliwe przy sprawdzaniu większych wymiarów, więc używa się wtedy podwójnych lub pojedynczych sprawdzianów łopatkowych (rys. 65.,

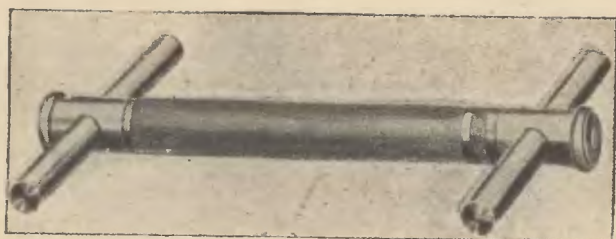


Rys. 66. (A. H. Schütte, Berlin.)



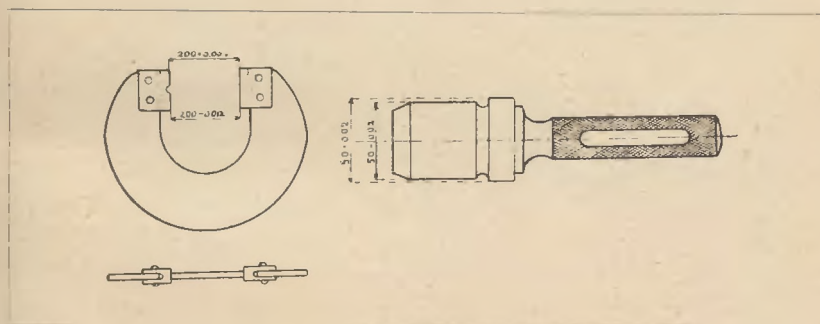
Rys. 67. (A. H. Schütte, Berlin.)

66.), względnie kabłąkowych (rys. 67.). Do sprawdzania większych otworów można też używać pręcikowych sprawdzianów różnicowych, osadzonych w stosownej ręczce (rys. 68.).



Rys. 68. (A. H. Schütte, Berlin.)

Jak widzimy, sprawdziany na rys. 66. i 67. posiadają obydwie wymiary (największy i najmniejszy) po jednej stronie, co ułatwia manipulację, bo nie trzeba sprawdziana odwracać w czasie mierzenia. Analogiczne sprawdziany różnicowe przedstawia też rys. 69., przyczem sprawdzian kabłąkowy posiada wymienne szczęki, które w razie zużycia można zastąpić nowymi. Stożkowe zakończenie sprawdziana tłoczkowego ułatwia jego wprowadzanie w otwór.

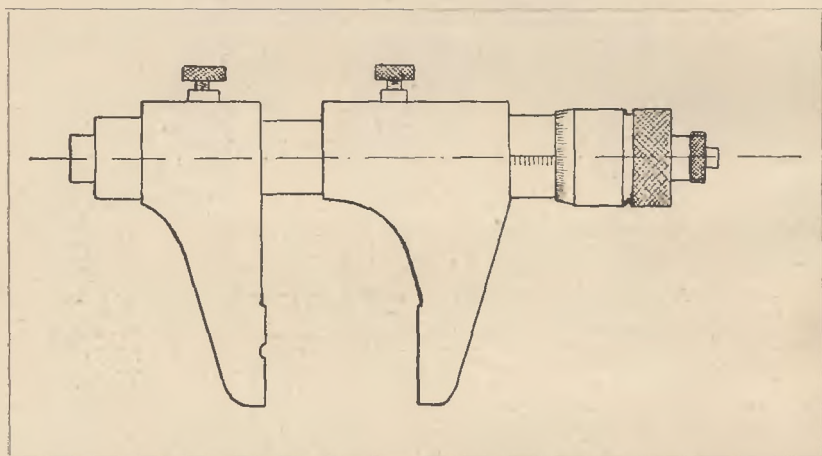


Rys. 69.

NASTAWIALNE SPRAWDZIANY RÓŻNICOWE.

Z zestawienia układu pasowań (zob. rys. 61., 62.) wynika, że dla każdej obrabianej średnicy potrzeba 21 ($18 + 3$) sprawdzianów różnicowych, odpowiadających różnym rodzajom osadzenia a oprócz tego jeszcze kilku sprawdzianów

pomocniczych, używanych przy wstępnej obróbce z grubszą. Jeżeli nawet fabryki ograniczają przez normalizację ilość średnic wyrabianych wałków i otworów, to i tak liczba potrzebnych sprawdzianów jest bardzo wielka. Z tego powodu korzystne są nastawialne sprawdziany różnicowe, które tem się charakteryzują że jedna ich szczeka jest nieruchoma (rys. 70.) i posiada dwie powierzchnie dotykowe (mierzące), przestawione względem siebie o wielkość tolerancji, odpowiadającej zakresowi pomiarów danego sprawdziana; natomiast prawa szczeka posiada tylko jedną po-

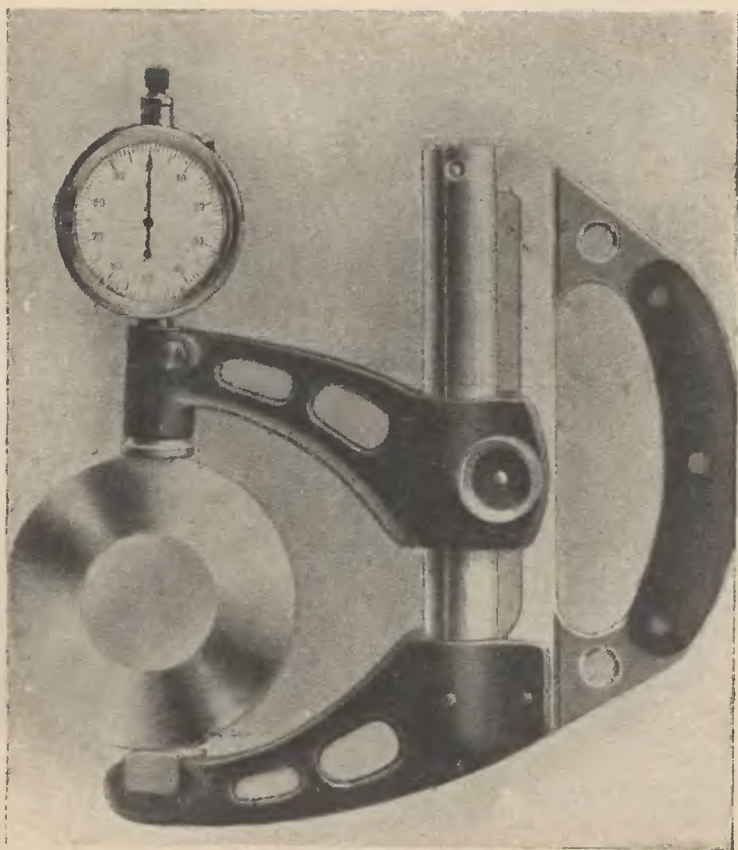


Rys. 70.

wierzchnię dotykową i jest nastawialna za pomocą drobnomierza z dokładnością 0,005 mm. Ponieważ, jak wiemy, śrubka drobnomierza może być źródłem błędów pomiaru, więc lepiej nastawiać taki sprawdzian przy pomocy płytek Johanssona, o których później będzie mowa.

Firma Ruthardt et Co (Stuttgart) wyrabia nastawialne sprawdziany różnicowe z czujnikami zegarkowymi (rys. 71.). Podziałka czujnika jest podzielona na 100 części, z których każda odpowiada przesunięciu czopka dotykowego o 0,01 mm, a ponieważ odległość kresek podziałki wynosi 1,3 mm, więc przy pewnej wprawie można odczytywać i części setnych milimetra. Do pomiarów krańco-

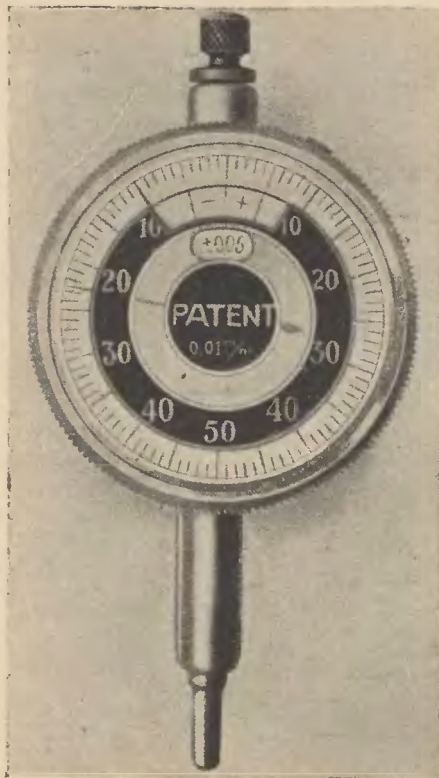
wych czujnik taki może być zaopatrzony w specjalną przesłonkę podziałki (rys. 72.), zwracającą uwagę na zakres tolerancji, ograniczony czerwonymi kreskami (w tym wypadku n. p. $\pm 0,05$ mm). Nastawianie takiego sprawdzia-



Rys. 71. (Ruthardt et Co, Stuttgart.)

na na zero skutecznia się także najlepiej zapomocą płytek Johanssona. W odróżnieniu od sprawdzianów widelkowych wykazują one nietylko, czy mierzona wielkość jest zawarta w granicach określonej tolerancji, lecz jednocześnie można odczytać na podziałce, o ile wielkość mierzona różni się od nominalnej.

Także firma »Karol Zeiss w Jenie« wprowadziła ostatnio nastawialne sprawdziany różnicowe dla średnic zewnętrznych (»Passameter«) i wewnętrznych (»Passimeter«), posiadające jeden dotyk szczękowy i zaopatrzone w podziałkę, uwzględniającą wszystkie rodzaje pasowań, oznaczone różnymi barwami (zob. W. T. r. 1922, Nr. 23, str. 713.).



Rys. 72. (Ruthardt et Co., Stuttgart.)

OGÓLNE UWAGI. —

Stosowanie sprawdzianów różnicowych jest jedynym środkiem, umożliwiającym wyrób części wymiennych między sobą. Wiele fabryk nowoczesnie zorganizowanych pracuje już w ten sposób, lecz nie istnieje jeszcze wymiennność części wykonanych w różnych fabrykach — prowadzi do tego normalizacja, któraby była ogólnie przyjęta. Lecz i u wyrobów tej samej fabryki wymiennność części może być wątpliwa, o ile nie są zachowane pewne warunki.

Przedewszystkiem sprawdzian powinien być dobrze i celowo wykonany, więc powierzchnie dotykowe muszą być ze stali dającej się możliwie twardo hartować, aby były jak najmniej narażone na zużycie; mogą też być wymienne, ale wtedy należy pamiętać o tem, że zamocowanie dotyków (szczęk) w oprawie może być powodem błędów pomiaru. Ze względu na zużywanie się powierzchni dotykowych sprawdziany muszą być kontrolowane zapomocą t. zw. **przeciwsprawdzianów**, które mogą być także różni-

cowe, to znaczy obejmujące pewną tolerancję dopuszczalnego zużycia. Ponieważ i sprawdziany kontrolne ulegają zużyciu, więc ostateczną kontrolą stają się znowu płytki Johanssona, względnie maszyny miernicze.

Bardzo zdrażliwym źródłem błędów pomiaru są, jak już wiemy, działania cieplne. Im ciaśniejsze są granice tolerancji dopuszczalnej dla danego wymiaru, tem skrupulatniej musimy stosować wszelkie możliwe środki ostrożności. Przedewszystkiem musimy zwracać uwagę na temperaturę normalną, przy której dany sprawdzian wykazuje rzeczywiste wymiar jemu właściwy (Francja 0^0 , Niemcy 20^0 , Ameryka, Anglja $16,7^0$ C), bo jeżeli współczynnik rozszerzalności stali wynosi 0,0115 mm na 1 m i 1^0 C, to różnica na długość 100 mm między temperaturą 0^0 C i 20^0 C wyniesie 0,023 mm. Jakkolwiek różnica ta nie jest wielka, to jednak w porównaniu z wielkościami, jakimi operujemy przy dokładnej obróbce, jest ona już dość znaczna, bo jeżeli przypuścimy, że n. p. otwory wiercono według sprawdzianów tłoczkowych o temperaturze normalnej 20^0 C, a wały obrabiano według sprawdzianów widelkowych o temperaturze normalnej 0^0 C, to nastąpiło takie przesunięcie wymiarów, że rodzaj pasowania będzie inny niż zamierzony. Błąd ten będzie tem większy, im większe będą średnice obrabianych przedmiotów.

Oprócz temperatury normalnej należy też zwrócić uwagę na wpływ temperatury w czasie mierzenia. Sprawdziany muszą być zabezpieczone przed działaniem ciepła ręki przez osłonięcie kauczukiem, skórą, drzewem i t. p. Sprawdzian nie powinien leżeć na słońcu albo w obrębie działania jakiegokolwiek innego źródła ciepła. Przedmiot mierzony powinien mieć temperaturę taką samą, jak sprawdzian, więc nie powinien być ogrzany wskutek obróbki lub t. p. Przy pomiarach bardzo dokładnych należy zwracać uwagę na to, aby własnym oddechem nie ogrzewać mierzonego przedmiotu lub narzędzia mierniczego.

PLYTKI JOHANSSONA (C. E. Johansson, Eskilstuna, Szwecja). Wspomniane już kilkakrotnie płytki, względnie klocki Johanssona służą do sprawdzania dokładności innych

narzędzi mierniczych, a także do bezpośrednich pomiarów. Ponieważ służą do sprawdzania, więc dokładność ich musi być większa od dokładności dającej się osiągnąć zapomocą innych narzędzi mierniczych, to też może ona wynosić w wyjątkowych wypadkach do 0,0001 mm (0,1 mikrona), a normalnie wynosi 0,0002 mm. Powierzchnie dotykowe (mierzące) tych płytek muszą być możliwie dokładnie równoległe i płaskie. Dwie płytki nasunięte na siebie przysysają się swymi powierzchniami, tworząc niejako jedną całość. Ponieważ to przysysanie się jest możliwe tylko wtedy, gdy obie powierzchnie są rzeczywiście płaskie i czyste, więc zjawisko to jest do pewnego stopnia kontrolą dokładności wykonania płytek.

Płytek mierniczych używa się w doborach, składających się z pewnej ich ilości o różnych wymiarach tak dobranych, że zapomocą danego doboru można składać wszystkie dowolne wielkości, różniące się między sobą kolejno o 0,001 mm, przyczem te same wymiary można uzyskać zapomocą rozmaitych kombinacji, najwyżej 4—5 płytek.

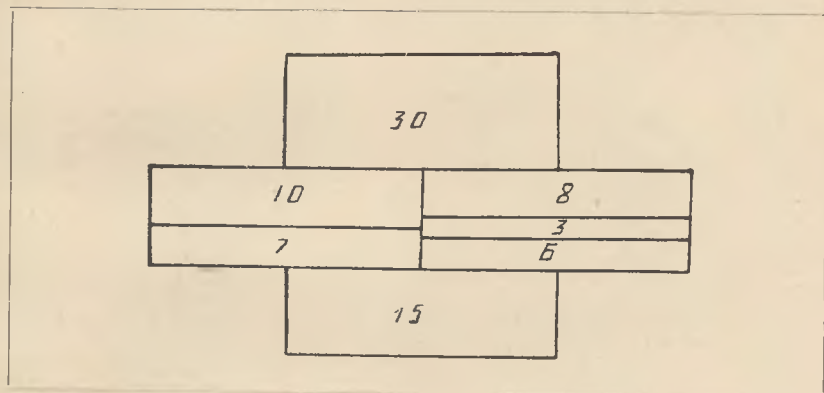
N. p. wymiar 41,56 mm składamy z płytek $40 + 1,56$ mm; wymiar 60,03 mm = $50 + 9 + 1,03$; wymiar: $98,897$ mm = $90 + 6,4 + 1,49 + 1,007$ mm i t. p.

Składając jakąś kombinację, zaczynamy od ostatnich miejsc dziesiętnych, a ponieważ tę samą sumę końcową można uzyskać zapomocą różnych kombinacji, więc płytki o podejrzanej dokładności można sprawdzać zapomocą innych płytek tego samego doboru (rys. 73.). Ilość możliwych kombinacji jest bardzo wielka, n. p. dobór, składający się z 91 płytek ze stopniowaniem co 0,001 mm, daje więcej niż 200000 kombinacji w granicach pomiaru 1 do 200 mm.

Ta właśnie łatwość, z jaką można składać z płytek różne wymiary, oraz łatwość wykonywania samego pomiaru z dokładnością równą dokładności pomiaru maszyną mierniczą, jest ogromną zaletą i powodem szybkiego rozpowszechniania się płytek mierniczych, — tembardziej, że cena doboru płytek jest znacznie niższa od ceny maszyny

mierniczej, przyczem płytek można używać nawet w warsztacie, podczas gdy maszyna miernicza wymaga już specjalnego pomieszczenia i wprawnej obsługi.

W praktycznem zastosowaniu do sprawdzania innych narzędzi mierniczych lub do bezpośrednich pomiarów używa się jeszcze pomocniczych części, t. zw. dzióbków i trzymaków, ułatwiających manipulację i chroniących zarazem powierzchnie płytek od zbyt szybkiego zużycia. Tak n. p. sprawdzanie rozstawu szczęk sprawdziana widełkowego

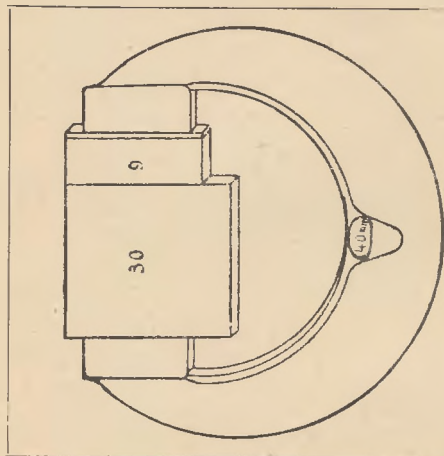


Rys. 73.

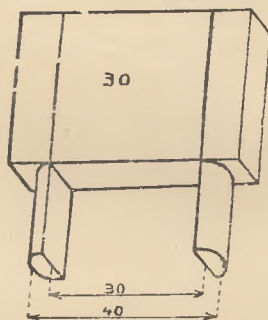
można skutecznie w dwojaki sposób. Według rys. 74 sprawdzamy nominalny wymiar (40 mm) sprawdziana za pomocą stosownego zespołu płytek, przyczem może się zdarzyć, że zespół ten wejdzie swobodnie między szczęki sprawdziana albo też nie wejdzie. Stosownie do tego zwiększamy lub zmniejszamy nieco wymiar zespołu płytek, stwierdzając w ten sposób wielkość różnicy między nominalnym wymiarem sprawdziana a rzeczywistym. Jeżeli różnica ta przy kontroli nowego sprawdziana przewyższa dopuszczalny błąd gwarantowany przez fabrykę, albo jeżeli przy kontroli używanego sprawdziana różnica ta przekracza dopuszczalne zużycie, to sprawdzian jest nieużyteczny. Gdyby n. p. w naszym wypadku fabryka gwarantowała dokładność $\pm 0,002$ mm, a pomiędzy szczęki sprawdziana wchodziłby zespół płytek o wymiarze sumarycz-

nym 40,003 albo 39,997 mm, to sprawdzian nie odpowiadałby gwarantowanej dokładności.

Według rys. 75. sprawdzanie przeprowadza się przy pomocy płytek i dzióbków, które umożliwiają pomiar zewnętrzny. Dzióbki te są równie dokładnie obrobione jak płytki i posiadają wystające części półcylindryczne o pro-



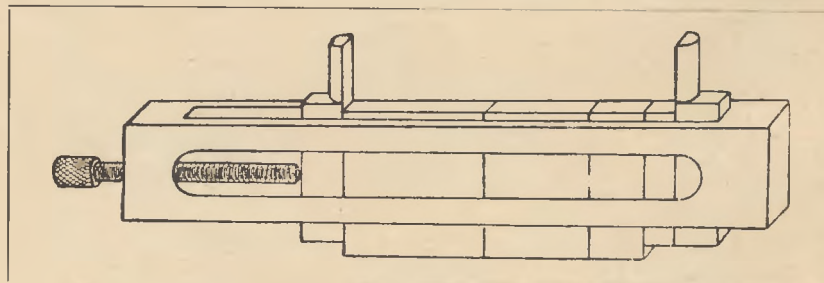
Rys. 74.



Rys. 75.

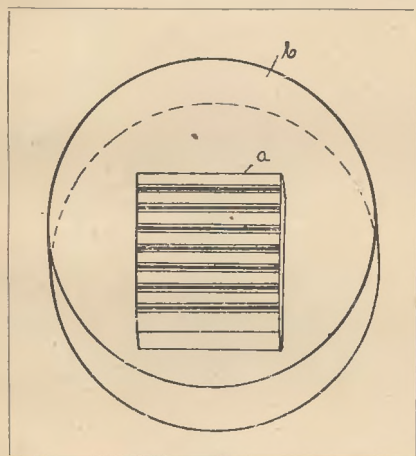
mieniu 5 lub 2 mm. W zestawieniu według rys. 75. można zatem mierzyć zewnętrzne średnice 30 mm i wewnętrzne 40 mm. Dla ułatwienia czynności zapomocą zestawienia większej liczby płytek może mieć zastosowanie trzymak, przedstawiony na rys. 76.

Płytki, podobnie jak i inne narzędzia miernicze, ulegają zużyciu, więc konieczna jest ich kontrola. Sprawdzanie



Rys. 76.

to odbywa się metodą optyczną, gdyż używanie do tego celu maszyn mierniczych, których dokładność nie przewyższa dokładności płytek, nie prowadziłoby do celu. Sprawdzanie sposobem optycznym¹⁾ polega na zjawisku interferencji światła (objaśnionem poprzednio) i można je uskutecznić zapomocą specjalnych komparatorów interferencyjnych Dr. W. Köstera²⁾ lub prostszym sposobem zapomocą »równi optycznej«. Ta ostatnia metoda polega na tem, że do powierzchni badanej płytki a (rys. 77.), przykładamy



Rys. 77.

się z lekkim naciskiem t. zw. równię optyczną b. Jest to krążek ze szkła soczewkowego o średnicy 50—100 mm i grubości 15—20 mm, którego powierzchnie są możliwie dokładnie równoległe i płaskie. Potem na jeden punkt obwodu krążka wywieramy mocniejszy nacisk, wskutek czego między stykającymi się powierzchniami równi optycznej i płytki powstaje klinowata warstewka, n. p. tłuszczu albo

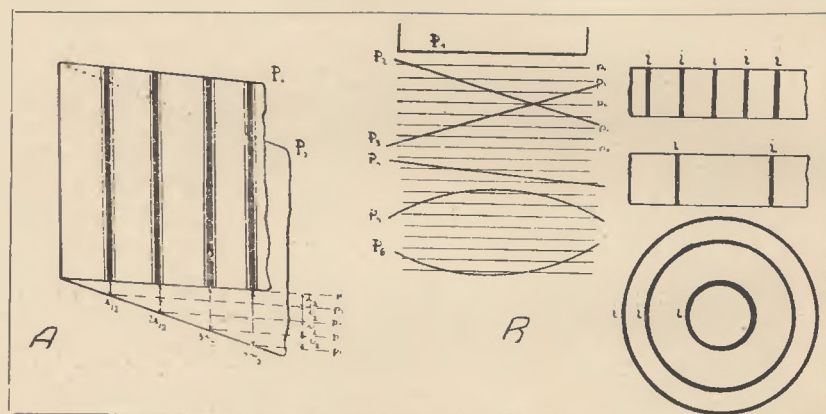
wilgoci albo też powietrza, powodująca zjawisko interferencji. Jeżeli światło, rzucone na równię optyczną, jest jednorodne, to zobaczymy układ prążków naprzemian jasnych i ciemnych, których prostoliniowość i równomierny rozkład świadczy o dokładnej płaskości badanej powierzchni płytki. Gdy natomiast prążki interferencyjne nie są proste i rozkład ich nie jest równomierny, to mamy oznakę, że badana powierzchnia nie jest płaska. Nieprawidłowy rozkład prążków umożliwia dokładną ocenę kształtu krzywizny badanej powierzchni i stopnia jej niedokładności. Dla

¹⁾ Zobacz »Pomiary techniczne zapomocą fal świetlnych«, Prof. E. T. Geisler.

²⁾ »Feinmechanik« r. 1922, Nr. 1.

ułatwienia sobie orientacji można się posługiwać w każdym poszczególnym wypadku następującym obrazowym przedstawieniem zjawiska interferencji: ¹⁾

Przypuśćmy, że na rys. 78. A B płaszczyzna P_1 jest dolną powierzchnią szklanej płytki, a P_2 (względnie P_3, P_4, P_5, P_6) górną powierzchnią sprawdzanej płytki. Pomiedzy obu powierzchniami jest zamknięta klinowa warstewka, powstała wskutek nacisku wywartego z jednej strony. Na powierzchni P_1 obserwujemy ciemne prążki interferencyjne,



Rys. 78. A, B.

które możemy sobie wyobrazić jako linje przecięcia się z powierzchnią P_2 (wzgl. P_3, P_4, P_5, P_6), płaszczyzn $p_1, p_2, p_3 \dots$ i t. d., które są zawsze równoległe do powierzchni P_1 , a ich wzajemna odległość wynosi $\lambda/2$ (λ długość fali światła). W ten sposób prążki interferencyjne odpowiadają niejako linjom warstwicowym, zapomocą których na kartach geograficznych uwydatnia się rzeźbę ziemi.

Na rys. 78. B przedstawiono kilka przykładów rozkładu prążków interferencyjnych, zależnie od położenia względnie kształtu sprawdzanych powierzchni P_2, P_3, P_4, P_5, P_6 , przyczem po lewej stronie widzimy położenie powierzchni P_2, P_3 i t. d. względem urojonych płaszczyzn p_1, p_2 i t. d., a po prawej stronie odnośne układy prążków (i), tak jak je widzimy, obserwując badaną powierzchnię

¹⁾ »Werkzeugmaschine«, r. 1923, Nr. 11.

pod równią optyczną P_1 . Zauważymy przedewszystkiem, że gdyby któraś z powierzchni badanych była dokładnie równoległa do płaszczyzn p_1 , p_2 i t. d., to wtedy leżałaby ona w którejś z tych płaszczyzn, albo też między nimi i byłaby równomiernie naświetlona lub zaciemniona. Jednak wskutek naciśnięcia równi optycznej z jednej strony powstaje warstewka klinowa, to znaczy płaszczyzna P_1 (a zatem także płaszczyzny p_1 , p_2 i t. d., które są do niej zawsze równoległe) tworzy z badaną powierzchnią P_2 , wzgl. P_3 lub P_4 pewien kąt mniejszy lub większy. Widzimy, że jeżeli ten kąt jest mniejszy (P_4), to zmniejsza się ilość przeciętych płaszczyzn p i ilość prążków interferencyjnych i . Z ilości tych prążków — rozłożonych w równych odstępach, gdy badana powierzchnia jest idealnie płaska — możemy zatem wnioskować o nachyleniu powierzchni P , a nawet możemy je obliczyć, posilkując się prostymi związkami boków i kątów w trójkacie, gdyż mamy jego wysokość ($\lambda/2$) i możemy oznaczyć odległość prążków, obliczając n. p. ich ilość na długość 1 cm. Ponieważ jednak rozkład prążków jest taki sam dla powierzchni P_2 i P_3 , jakkolwiek ich pochylenia są przeciwne, więc dla stwierdzenia kierunku pochylenia wywieramy na równię lekki nacisk, który powoduje przesunięcie się równi P_1 i płaszczyzn p względem P_2 wzgl. P_3 . Wskutek tego prążki przesuwają się w prawo dla powierzchni P_2 lub w lewo dla P_3 . Podobnie przez nacisk stwierdzamy, czy powierzchnia kulista jest wklęsła (P_6) lub wypukła (P_5), bo prążki przedstawiają w obu wypadkach układ kół współśrodkowych, jeżeli jednak wywrzemy nacisk na równię, to w pierwszym wypadku (P_6) prążki dążą ku środkowi a w drugim wypadku (P_5) przesuwają się od środka na zewnątrz. Widzimy zatem, że naogół prążki dążą ku miejscom obniżonym. W praktyce prążki interferencyjne mogą mieć najrozmaitsze kształty krzywych nieregularnych, zależnie od nieprawidłowości sprawdzanych powierzchni. Błędy te określa się na podstawie wyżej opisanych zjawisk zasadniczych.

WZORCE I PODOBY.

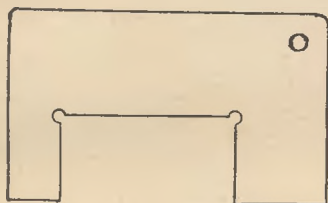
Wzorce i podoby (szablony) nienależą, ściśle biorąc, do narzędzi mierniczych, gdyż zazwyczaj nie zależy na liczbowej wielkości wskazywanych przez nie wymiarów, lecz mają one tylko ustalać pewną wielkość albo pewien profil, który ma być wielokrotnie sprawdzany na obrabianych przedmiotach. Wzorce mają więc zastosowanie tam, gdzie jak n. p. przy naprawkach wyrabia się według zniszczonej części nową, której wymiary mają odpowiadać zniszczonej części a ich liczbową wartość jest obojętna. Podoby stosuje się z korzyścią w takich wypadkach, gdy obrabiany przedmiot ma skomplikowany kształt, którego sprawdzanie w czasie obróbki wymagałoby ewentualnie specjalnych urządzeń mierniczych, a w każdym razie byłoby trudne i wymagałoby więcej czasu. Przytem używanie wzorców czy podob jest łatwe, nie są one nastawialne — względnie po jednorazowem nastawieniu dla jakiegoś celu nie zmienia się ich nastawy — więc unika się też możliwych błędów nastawiania.

Najprostsze są wzorce do sprawdzania średnic wewnętrznych lub zewnętrznych i w tym wypadku mają one podobny kształt, jak sprawdziany prętowe lub kabłąkowe, a wyrabia się je w razie potrzeby własnymi środkami w warsztacie, ze stali okrągłej lub kwadratowej, albo też gdy wymiary mają być większe, wyrabia się je na podobieństwo sprawdzianów prętowych z rury gazowej, w której końce wkłada się ostrza stalowe. Materiał do wyrobu wzorca powinien być dobrze wyżarzony celem uniknięcia odkształceń z powodu wewnętrznych naprężeń. Końce wzorca opiłowuje się stożkowato i okrągło, a po kulistem oszlifowaniu powierzchni dotykowych końce te hartuje się, pozostawiając środek wzorca (pręta) niezahartowanym, aby mu można nadać jeszcze pożądaną długość przez spęczanie lub wydłużanie. Powierzchnie dotykowe można jeszcze wypolerować kawałkiem płasko oszlifowanego żeliwa, smarując naftą lub benzyną.

Dla każdego wymiaru powinno się mieć przynajmniej trzy wzorce, z których jednego używa robotnik, drugi służy

do kontroli gotowych wyrobów, a trzeci jest w zapasie i służy do sprawdzania w razie niezgodności dwóch poprzednich pomiarów.

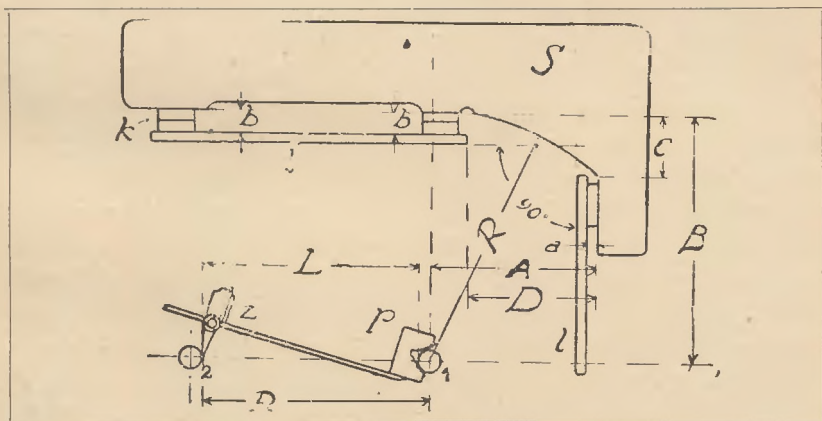
Małe wzorce do pomiarów zewnętrznych wyrabia się z płytki, stosownie przyciętej i ostruganej, przyczem z jednej strony pociera się ją siarczanem miedzi celem lepszego uwidocznienia profilu zakreślanego potem rylcem. W kątach wierci się otwory (p. rys. 79) o średnicy około 1,5 mm., poczem wycina się na gryzarce tak, aby odstęp powierzchni dotykowych był mniej więcej o 0,02 mm. mniejszy od wymiaru nominalnego wzorca. Nadwyżkę tę pozostawia się na doszlifowanie po zahartowaniu.



Rys. 79.

Podaję tylko zasadnicze cechy najczęściej używanych wzorców, bo niema tu ściśle określonych typów, lecz wyra-

bia się je, zależnie od potrzeby i w zastosowaniu do danego wypadku. Jako ciekawszy przykład praktyczny przytoczę sposób sprawdzania profilowego wzorca pocisku¹⁾, bo konieczność sprawdzania obrysu przedstawia większe



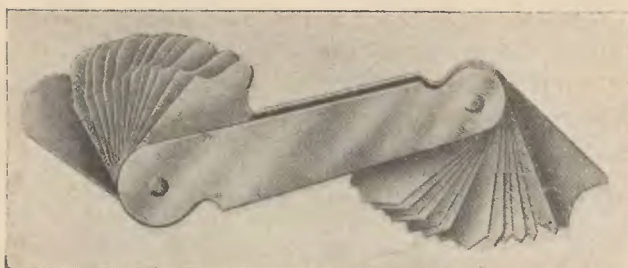
Rys. 80.

¹⁾ Według: »Metody sprawdzania wzorców i sprawdzianów.« Wojskowy Instytut Naukowo-Wydawniczy, r. 1921, zeszyt I.

trudności i wymaga użycia specjalnych metod mierzenia. W przykładzie tym (p. rys. 80) sprawdzanie polega na stwierdzeniu promienia krzywizny R i położenia jej środka względem punktów zasadniczych, t. z. odległości A , B , C , D . Na równi przymocowuje się dwie linie l , l , tak, aby zawierały między sobą kąt 90^0 , poczem w stosownej od nich odległości przymocowuje się krążek 1 w ten sposób, żeby można było zapomocą płytek mierniczych zmieniać wymiary A i B . Drugi krążek 2 należy umocować tak, aby odległość środka krążka 1 od powierzchni krążka 2 wynosiła dokładnie R , t. z. równała się nominalnej wielkości promienia krzywizny obrysu wzorca S . Następnie przymocowuje się pręt, na którym jest osadzony czujnik, do klocka p z wycięciem kątowym i wreszcie układa się na równi wzorzec S w takim położeniu, żeby odległości A i B były równe wymiarom nominalnym. Obracając teraz czujnik dokoła krążka 1 , badamy, czy promień łuku wzorca jest prawidłowy i czy środek łuku zajmuje właściwe położenie, t. z. czy czujnik nie będzie wskazywał wychyleń.

SPRAWDZANIE POWIERZCHNI. Była już mowa poprzednio, że pomiarów powierzchni płaskich lub krzywych nie uskutecznia się bezpośrednio, lecz najczęściej stosuje się w takich wypadkach metodę sprawdzania profilu danej powierzchni, która może być płaska, krzywa lub łamana, zależnie od tego, jaki ma kształt linja, będąca tworzącą tej powierzchni. Tak n. p. powierzchnię cylindryczną lub stożkową, obrabianą na tokarce, można sprawdzić zapomocą linji prostej, podobnie jak powierzchnię płaską, bo tworzącą tych powierzchni jest prosta. Do sprawdzania takich powierzchni służą linje czyli linjały (stalowe i hartowane) o ostrej krawędzi, którą przykładają się do badanej powierzchni i stwierdza szczelność dolegania pod światło. Można w ten sposób stwierdzić niedokładności, wynoszące do $0,002$ mm. Chcąc natomiast sprawdzić dokładność jakiejś powierzchni krzywej, musimy zrobić sprawdzian (podobę), którego krawędź dotykowa wzgl. przylgowa odpowiada dokładnie żadanemu obrysowi sprawdzanej powierzchni. Przyleganie krawędzi podoby do sprawdzonej

powierzchni badamy tak, jak poprzednio pod światło. Dla profilów, powtarzających się często, wyrabia się wzorce w sposób masowy, tak n. p. dla zaokrągleń wzorce promieniowe (p. rys. 81), natomiast do sprawdzania profilowych



Rys. 81. (A. H. Schütte, Berlin.)

powierzchni, obrabianych w mniejszej ilości, wyrabia się na miejscu podoby, dostosowane do poszczególnych wypadków.

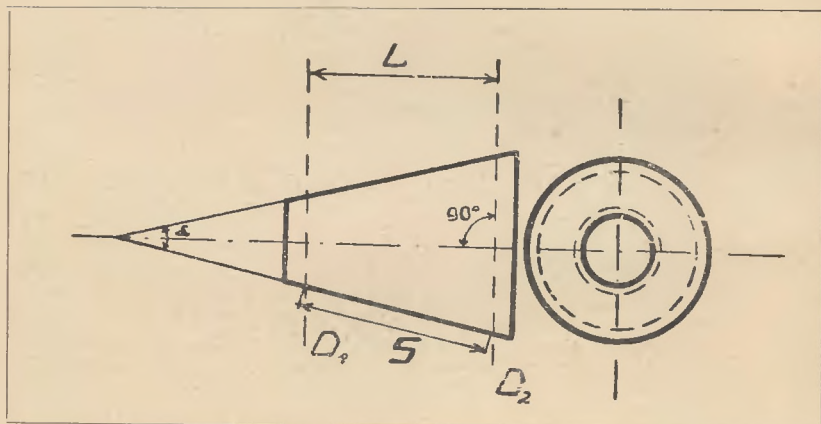
C) Pomiary specjalne.

1. Mierzenie stożków.

Jak wiadomo, stożek (w ściślejszem znaczeniu) otrzymamy, jeżeli linię prostą (t. z. tworzącą stożka), zaczepioną w jednym punkcie, przesuwamy wzdłuż obwodu koła. przy czem punkt zaczepienia tworzącej leży w osi stożka, t. z. na linii prostej, przechodzącej przez środek koła i prostopadłej do jego płaszczyzny. W praktyce mamy zwykle do czynienia ze stożkami ściętymi, t. j. takimi, które nie posiadają ostrego wierzchołka i jeżeli mamy wykonać pomiar takiego stożka (p. rys. 82), to zależy nam na poznaniu następujących wymiarów: wielkości średnic podstawy i wierzchołka (wzgl. D_2 i D_1 , odstepu L płaszczyzn, w których leżą zmierzone średnice D_2 , D_1 , względnie pochylenia powierzchni stożka, t. z. kąta α wzgl. $\alpha/2$. Wreszcie celem pomiaru może być także sprawdzenie dokładności obróbki samej powierzchni stożka.

Istnieją różne sposoby pomiaru stożków i można je naogół podzielić na metody bezpośrednie i pośrednie. Bez-

pośredni pomiar polega na tem, że badaną powierzchnię stożkową sprawdzamy zapomocą możliwie dokładnie wykonanej drugiej powierzchni stożkowej, więc zapomocą normalnych sprawdzianów stożkowych (p. rys. 83), które podobnie jak sprawdziany tłoczkowe i pierścieniowe dla powierzchni cylindrycznych, mogą być pełne lub wydrążone, zależnie od tego, czy ma być sprawdzana stożkowa powierzchnia wewnętrzna, czy zewnętrzna. Metody tej używa się do sprawdzania krótkich stożków,



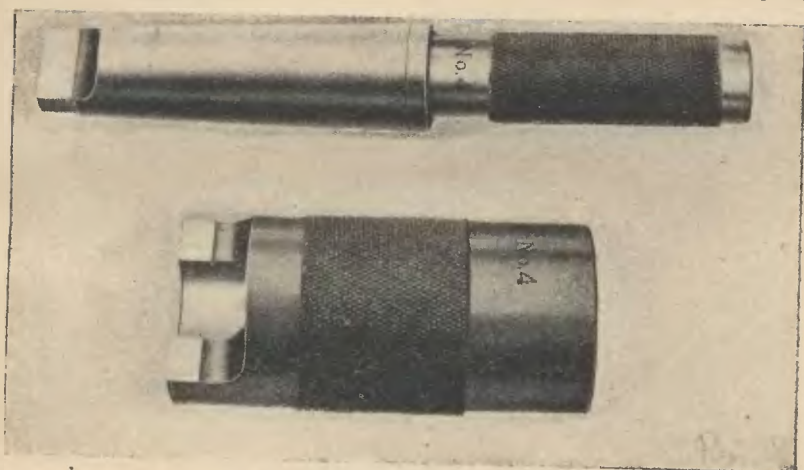
Rys. 82.

przyczem nie odbywa się tu właściwy pomiar, bo wymiary sprawdziana są praktycznie biorąc obojętne, lecz sprawdzenie dokładności powierzchni stożka i związanej z tem dokładności pasowania.

Czynność sprawdzania jest podobna jak przy użyciu sprawdzianów tłoczkowych wzgl. pierścieniowych, przyczem dobrze jest na powierzchni sprawdziana pociągnąć ołówkiem atramentowym dwie kreski biegnące w kierunku tworzących i przesunięte względem siebie o 90^0 . Tak przygotowany sprawdzian wsuwa się, nie obracając go, do sprawdzanej n. p. pochwy stożkowej i potem dopiero obraca go się nieco z lekkim naciskiem. Po wyjęciu sprawdziana obie kreski na jego powierzchni powinny być równomierne zatarte na całej długości. Miejsca niezatarte wskazują, gdzie

nie było przylegania. W zastosowaniu do długich stożków metoda ta nie daje tak pewnych wyników, jak metoda pośrednia.

Pomiar pośredni wykonywa się w ten sposób, że odmierza się pewne wymiary charakterystyczne zapomocą znanych nam już narzędzi do mierzenia długości, poczem przy pomocy tych odmierzonych wielkości oblicza się rachunkowo pochylenie powierzchni stożkowej. Mierzymy



Rys. 83. (A. H. Schütte, berlin).

zatem (p. rys. 82) n. p. średnice D_1 i D_2 , oraz ich odległość L , poczem według wzoru¹⁾

$$\operatorname{tg.} \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2 L}$$

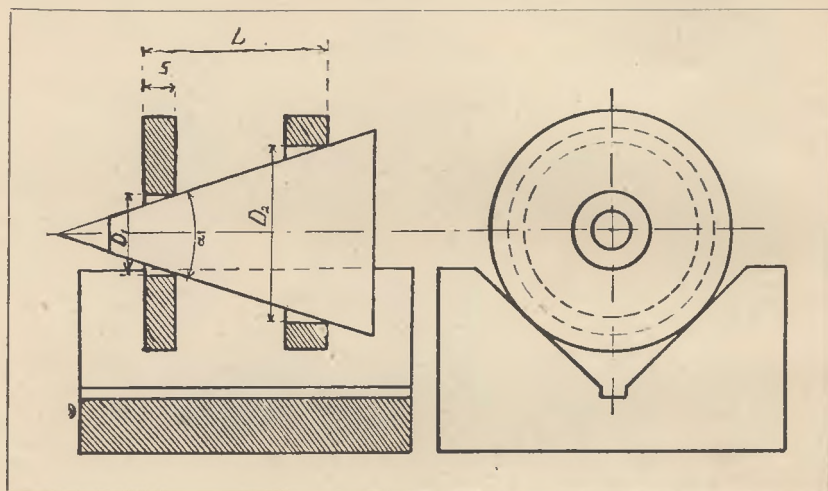
albo:

$$\sin. \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2 S}.$$

Potrzebne tu pomiary można wykonać dowolnem narzędziem, n. p. drobnomierzem lub przymiarem przesuwkowym, należy tylko pamiętać o tem, że obydwie średnice muszą być mierzone dokładnie w płaszczyznach prostopadłych do osi stożka. Narzędzia te nie dają jednak pewno-

¹⁾ Objasnienia znaków $\operatorname{tg.}$, $\sin.$, zobacz nieco dalej.

ści, czy stożek jest dokładnie kołowo obtoczony, bo stykają się z mierzonym obwodem tylko w dwóch punktach. Kontrola ta jest natomiast możliwa, gdy do pomiaru używa się sprawdzianów pierścieniowych, tak jak wskazuje rys. 84. Zasada pomiaru jest taka sama jak poprzednio, tylko średnice mierzymy zapomocą pierścieni nałożonych na stożek, po-



Rys. 84.

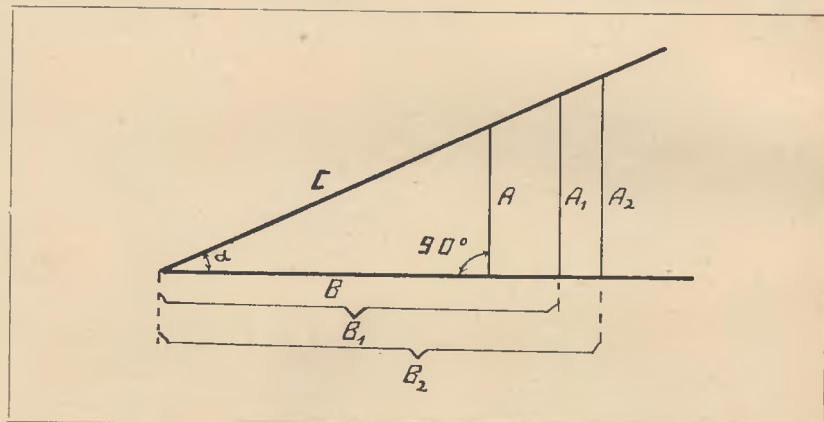
czem odmierzamy odległość (L) zewnętrznych (dogodniejszy pomiar) powierzchni pierścieni i obliczamy pochylenie powierzchni stożkowej według wzoru:

$$\operatorname{tg.} \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2(L - s_1)}$$

Do pomiaru tego można użyć zwykłych sprawdzianów pierścieniowych albo takich, które mają jednakowe średnice zewnętrzne (rys. 84), co ułatwia manipulację.

Istnieją też do pomiaru stożków specjalne przyrządy, które ułatwiają pomiar, trudny do wykonania z wolnej ręki. Przyrząd taki składa się z dwóch drobnomierzy przesuwalnych na poziomej prowadnicy podstawy przyrządu. Powierzchnie dotykowe tych drobnomierzy mają (dogodniejszy dla pomiaru) kształt zaokrąglonych szczęk, a prowadnica jest zaopatrzona w podziałkę, która umożliwia bezpośrednie

ków.¹⁾ Stożek ustawia się na równi tak, aby przylegał do niej ściśle mniejszą podstawą (rys. 85). Na słupkach, ułożonych z klocków mierniczych do równej wysokości H , umieszcza się dwa wałeczki oszlifowane dokładnie do tej samej średnicy $2G$. Pomiar uskutecznia się przez wałeczki (n. p. zapomocą drobnomierza), w dwóch wysokościach i ewentualnie dla kontroli jeszcze w trzecim miejscu. Stożek ustawia się na równi mniejszą podstawą, bo wtedy nacisk



Rys. 86.

dotyków drobnomierza wciska wałeczki między stożek a równię wzgl. górną powierzchnię klocków. Wyniki pomiarów oznaczono na rys. przez M_1 i M_2 , przy ich pomocy obliczamy rachunkowo odnośne średnice (D_1 , D_2) stożka i jego pochylenie. Pochylenie stożka i wogóle każde nachylenie można określić dwojako: przez podanie wielkości kąta nachylenia, albo przez podanie linjowej wielkości wzniesienia na pewnej długości. Jeżeli więc ma być określone nachylenie prostej C do prostej B (p. rys. 86), to można podać wielkość kąta α , albo długość odcinków A i B, bo na podstawie tych danych można nachylenie C do B sprawdzić, tylko że w pierwszym wypadku musimy się posługiwać kątomierzem a w drugim wystarczą miary długości. W prak-

¹⁾ »Metody sprawdzania wzorców i sprawdzianów«. Wojskowy Instytut Naukowo-wydawniczy, r. 1921, zeszyt I.

tyce nie podaje się wprost długości odcinków A, B, lecz wartość ich stosunku $\frac{A}{B}$, bo jeżeli mamy odtworzyć dane pochylenie, n. p. na rysunku, to możemy się posługiwać nie tylko odcinkami A i B, lecz także A_1 i B_1 , A_2 i B_2 i t. d., gdyż stosunek ich jest zawsze ten sam:

$$\frac{A}{B} = \frac{A_1}{B_1} = \frac{A_2}{B_2} = \text{i t. d.}$$

Widzimy więc, że wielkość odcinków A B jest obojętna, byleby ich stosunek był zawsze ten sam, bo wtedy i kąt nie ulega zmianie. W praktyce dobieramy wielkość tych odcinków tak, aby rachunek czy też pomiar był jak najłatwiejszy. Z tego powodu obiera się wielkość odcinka B, n. p. 1, 10, 100 i t. p., bo wtedy stosunek A/B ma najprostszą formę, ułatwiającą praktyczne posługiwanie się nim. Więc podaje się n. p., że pochylenie stożka wynosi 5 mm na 100 mm (5 : 100), co oznacza, że chcąc przedstawić takie nachylenie n. p. rysunkowo, musimy odciąć na dowolnej prostej odcinek długości 100 mm (B), na jego końcu wykreślić prostopadły odcinek o długości 5 mm (A) i koniec tego odcinka połączyć prostą linią (C) z początkiem poprzedniego, a wtedy kąt, zawarty między odcinkami C i B jest kątem pochylenia danego stożka.

Jeżeli wielkość jakiegoś kąta (α) jest podana zapomocą stosunku odcinków, to wyznaczenie jego wielkości w stopniach nie przedstawia też żadnych trudności. Mianowicie odcinki A, B, C tworzą jak widzimy trójkąt prostokątny, obejmujący omawiany kąt pochylenia α a stosunki tych odcinków, czyli boków trójkąta są tak zwanymi funkcjami kątów trójkąta, czyli funkcjami trygonometrycznymi, które nazywamy wstawą (sinus, w skróceniu sin.), dostawą (cosinus, w skróceniu cos.), styczną (tangens, w skróc. tg.), dotyczną (cotangens, w skróc. cotg.). Wartością liczbową tych funkcji kąta są następujące stosunki:

$$\sin \alpha = \frac{A}{C}; \cos \alpha = \frac{B}{C}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{A}{B}; \operatorname{cotg} \alpha = \frac{B}{A}.$$



Znając liczbową wartość którejkolwiek z tych funkcji kąta α możemy z tablic funkcji trygonometrycznych (znajdujących się zawsze w kalendarzach technicznych) odczytać wprost wielkość tego kąta w stopniach. *)

Biorąc znowu poprzedni przykład, gdzie $A = 5$ mm, $B = 100$ mm, potrafimy kąt α przedstawić rysunkowo, a chcąc oznaczyć jego wielkość w stopniach, bierzemy n. p. stosunek:

$$\frac{A}{B} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{5}{100} = 0,05$$

i w tablicach znajdujemy, że tej wartości stycznej (tg.) odpowiada z małą niedokładnością kąt $\alpha = 2^{\circ} 50'$.

Wróćmy teraz do pomiaru stożka według rys. 85. i oznaczmy jego pochylenie P , które obliczamy (por. wzory rachunkowe do rys. 82 i 84) ze stosunku połowy różnicy obu pomiarów do odległości mierzonych średnic, więc:

$$P = \frac{M_1 - M_2}{2 H} = \operatorname{tg} \alpha$$

Średnice stożka na wysokościach pomiaru (H , O) obliczamy przy pomocy odmierzonych wielkości M_1 , M_2 , bo:

$$D_1 = M_1 - C,$$

$$\text{przyczem: } C = 2 G + 2 N = 2 (G + N) = 2 [G + G \cotg. \frac{1}{2} (90 - \alpha)] = 2 G [1 + \cotg. \frac{1}{2} (90 - \alpha)],$$

$$\text{zatem: } D_1 = M_1 - C = M_1 - 2G [1 + \cotg. \frac{1}{2} (90 - \alpha)]$$

$$\text{i podobnie: } D_2 = M_2 - C = M_2 - 2 G [1 + \cotg. \frac{1}{2} (90 - \alpha)].$$

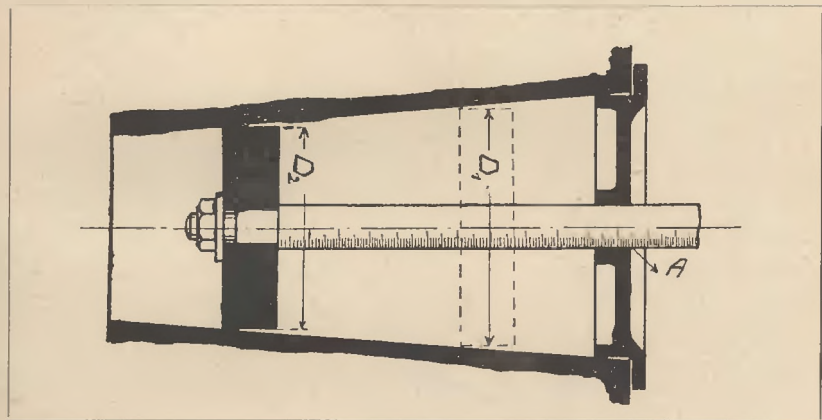
Przy pomocy jednej z odmierzonych średnic i pochylenia stożka można też obliczyć średnicę stożka w dowolnem miejscu bez wykonywania dalszego pomiaru (o ile mamy pewność, że stożek jest dokładnie wykonany), dodając do zmierzonej średnicy (n. p. D_2) iloczyn pochylenia stożka (P) przez odległość średnicy szukanej od średnicy znanej, więc:

*) Zobacz także »Mechanik«, r. 1920, Nr. 3.

$$D_3 = D_2 + PL,$$

albo: $D_3 = D_1 + P(L - H).$

MIERZENIE WEWNĘTRZNYCH POWIERZCHNI STOŻKOWYCH odbywa się na tych samych zasadach, przy pomocy krążków mierzących średnice wewnętrzne. Posiłkujemy się przytem (p. rys. 87.) prętem, na którym krążek się osadza i zagłębia w stożku. Podobnie jak poprzednio krążek mierniczy musi być ustawiony dokładnie pro-



Rys. 87.

stopadłe do osi stożka i krawędź krążka musi być ostra a nie zaokrąglona, bo to powoduje błąd w pomiarze. Ponieważ ostra krawędź krążka mogłaby się zacinać przy nieostrożnem wprowadzaniu i uszkodzić powierzchnię stożka, więc używa się krążka pomocniczego, którego piasta służy jako prowadnica dla pręta z krążkiem mierniczym. W ten sposób wykonywa się pomiar dwóch średnic (D_1 , D_2), a odległość ich, potrzebną do obliczenia pochylenia według podanego wzoru, wyznaczamy zapomocą podziałki pręta, albo też, o ile niema tej podziałki, to zagłębienie krążka zaznacza się na pręcie kreską, zrobioną w tem miejscu (A), gdzie pręt wychodzi z piasty na zewnątrz, poczem odmierza się odległość kresiek, odpowiadających obu pomiarom.

O ile ma być sprawdzona dokładność całej powierzchni stożkowej, to musimy wykonać większą ilość pomia-

rów przy pomocy krążków odpowiednio stopniowanych, przyczem dla uzyskania przejrzystego obrazu niedokładności stożka dobrze jest wyniki pomiaru zestawzić rysunkowo.

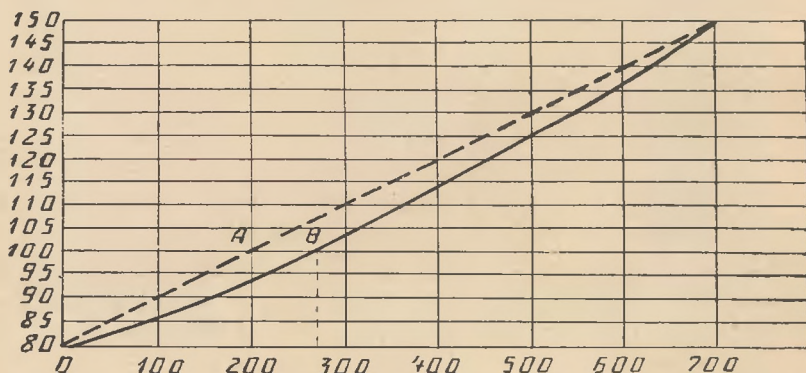
Weźmy dla przykładu stożek (p. rys. 88.), którego pochylenie ma się wyrazić stosunkiem $1/20 = \operatorname{tg} \alpha/2$ (t. zn. według tablic trygonometrycznych $\alpha/2 \cong 2^\circ 51'$), a ponieważ najmniejsza średnica stożka ma wynosić 80 mm, największa 150 mm, więc:

$$\frac{D_2 - D_1}{2L} = \frac{150 - 80}{2L} = \frac{70}{2L} = \frac{1}{20}$$

stąd obliczamy długość stożka:

$$L = \frac{70 \times 20}{2} = 700 \text{ mm.}$$

Do sprawdzenia tego stożka użyjemy szeregu sprawdzianów krążków, których średnice począwszy od 80 mm wzrastają kolejno o 5 mm aż do 150 mm. Celem rysunkowego przedstawienia pochylenia naszego stożka postępujemy tak, jak objaśniono w związku z rys. 86., t. zn. na osi poziomej odcinamy w stosownej skali (tak dobranej, aby rysunek był przejrzysty) długość stożka ($L = 700$ mm), a na osi poziomej średnice sprawdzianów krążkowych i otrzymujemy w ten sposób idealny wykres tworzącej stożka, będący oczywiście linią prostą (na rys. kreskowana). Rzeczywisty profil stożka otrzymujemy na wykresie w ten sposób, że sprawdziany krążkowe zagłębiamy kolejno w ba-



Rys. 88.

danym stożku i zaznaczamy na wykresie odległość włożonego krążka od punktu początkowego (0 wzgl. 700). Tak n. p. pomiarem tym stwierdzamy, że sprawdzian o średnicy 100 mm nie dochodzi do odległości 200 mm (punkt A) od punktu początkowego, lecz do odległości 270 mm (punkt B). Szereg punktów otrzymanych w ten sposób i połączonych ze sobą daje krzywą, przedstawiającą rzeczywisty profil stożka.

W naszym przykładzie przyjęliśmy stopniowanie sprawdzianów krążkowych w dużych skokach (co 5 mm), w rzeczywistości jednak, aby uzyskać wynik dokładniejszy, musimy wykonać znacznie więcej pomiarów, używając krążków o drobniejszym stopniowaniu (1 mm 0,5 mm i t. p., zależnie od pożądanej dokładności).

W Wydziale wzorców waszyngtońskiego »Bureau of Standards« *) mierzy się stożki wewnętrzne zapomocą kul (rys. 89.). Do wnętrza stożka długości L i pochylenia α wpuszcza się dwie dokładne kulki o promieniach G_1 i G_2 . Kąt pochylenia α obliczamy ze związku:

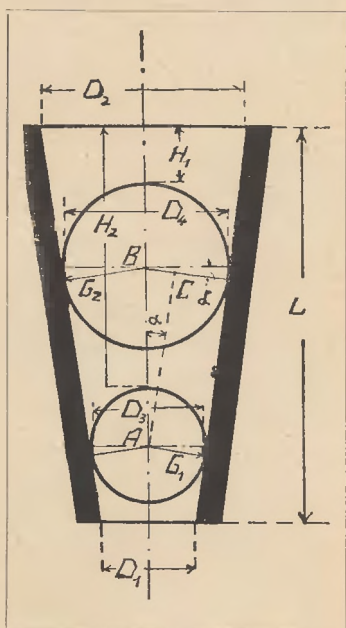
$$\sin \alpha = \frac{BC}{AB}$$

gdzie: $BC = G_2 - G_1$, $AB = (H_2 + G_1) - (H_1 + G_2)$,

zatem: $\sin \alpha = \frac{G_2 - G_1}{(H_2 + G_1) - (H_1 + G_2)}$

Średnica stożka D_3 , D_4 , leżące w płaszczyznach przechodzących przez środki kulek w głębokościach $H_1 + G_2$, względnie $H_2 + G_1$, obliczamy ze związków:

$$\frac{G_2}{D_{4/2}} \cos \alpha, \quad \text{z kądem } D_4 = \frac{2 G_2}{\cos \alpha}$$



Rys. 89.

*) »Metody sprawdzania wzorców i sprawdzianów«. Wojskowy Instytut Naukowo-Wydawniczy.

$$\text{i podobnie: } D_3 = \frac{2 G_1}{\cos \alpha}$$

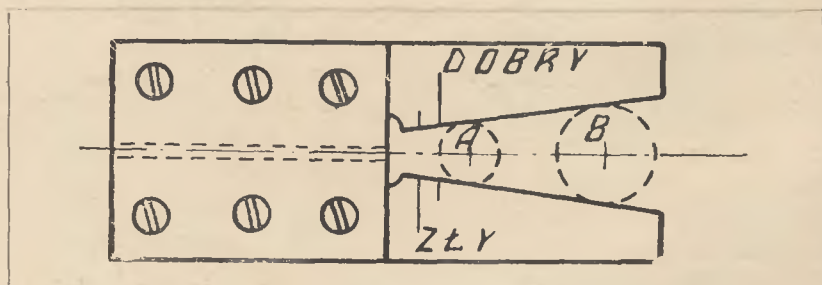
Przy pomocy jednej z odmierzonych średnic możemy też obliczyć największą i najmniejszą średnicę stożka, bo:

$$D_2 = D_4 + \operatorname{tg.} \alpha (H_1 + G_2)$$

$$D_1 = D_2 - L \operatorname{tg.} \alpha.$$

Do krótkich tulejek stożkowych nie można tej metody zastosować i wtedy jej wymiary odmierza się na pełnym stożku, odlanym w tej tulejce ze stopu, zawierającego 90% siarki i 10% grafitu.

WZORCE (SZABLONY). Mierzenie stożków za pomocą takich narzędzi mierniczych, jak drobnomierze, pierścienie wzgl. krążki i t. p. wymaga wprawy i wielkiej ostrożności. Z tego powodu do sprawdzania stożków w czasie obróbki wygodniejsze są wzorce. Wzorzec taki (rys. 90.) składa się z dwóch nożów, umocowanych w stosownej osadce. Noże te mogą być nastawialne, co umożliwia zmianę kąta, zawartego między ich ostrzami i pomiar różnych stożków. Nastawianie nożów uskutecznia się za pomocą sprawdzianów normalnych (A, B), mających odpowiednie średnice i ustawionych w odległości, odpowiadającej danemu pochyleniu stożka. Sprawdzanie stożka odbywa się w ten sposób, że wsuwamy go pomiędzy noże wzorca i badamy pod światło, czy krawędzie nożów przylegają ściśle do powierzchni stożka. Wzorzec taki może służyć jednocześnie jako sprawdzian różnicowy, o ile zaznaczy się dwoma kreskami stożek »dobry« i »zły«, a ponieważ kre-



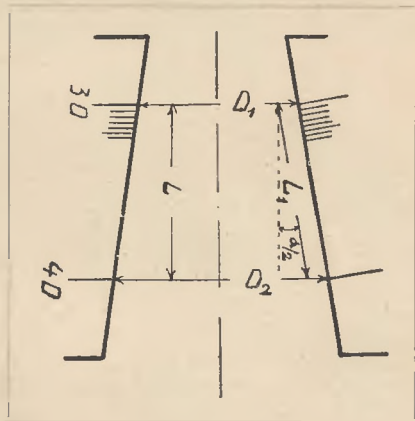
Rys. 90.

sek takich można dać kilka, więc na jednym sprawdzianie można zaznaczyć jednocześnie kilka tolerancji.

W takim wykonaniu wzorzec służy tylko do sprawdzania stożków, lecz nie do mierzenia w ściślejszym znaczeniu, gdyż w tym celu potrzebna jest podziałka, którą można też umieścić na nożach, czyli szczękach wzorca. Podziałkę tę (p. rys. 91.) oblicza się według zasadniczego wzoru, określającego pochylenie stożka:

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \frac{D_2 - D_1}{2 L},$$

gdzie L oznacza odległość odnośnych kresek podziałki. Wzór ten można stosować w tej postaci, jeżeli kreski podziałki leżą w płaszczyznach tych kół, których średnice wykazują, to znaczy, jeżeli są prostopadłe do osi stożka. Natomiast gdy noże wzorca są nastawialne tak, że nachylenie ich względem osi stożka ulega zmianom, to kreski podziałki muszą być prostopadłe do krawędzi szczęk, aby odczytywanie było możliwe niezależnie od nastawiania szczęk, wtedy jednak odległość kresek jest L_1 i obliczamy ją ze związku:



Rys. 91.

$$L_1 = \frac{L}{\cos \alpha/2} = L \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha/2}.$$

Przyjmijmy dla przykładu, że szczęki wzorca są ustawione dla stożka o pochyleniu $90^\circ 27' 42''$ i że pierwsza kreska podziałki, odpowiadająca średnicy $D_1 = 30$ mm, jest już zaznaczona a mamy zaznaczyć drugą kreskę, odpowiadającą średnicy $D_2 = 40$ mm (p. rys. 91.). Odległość tych kresek (L) obliczamy na zasadzie wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \frac{D_2 - D_1}{2 L}$$

Danemu kątowi $\alpha/2 = 9^\circ 27' 42''$ odpowiada według tablic trygonometrycznych: $\operatorname{tg} \alpha/2 = 0,16666 = 1/6$, zatem

$$\frac{D_1 - D_2}{2 L} = \frac{40 - 30}{2 L} = \frac{1}{6}$$

skąd:

$$L = 30 \text{ mm.}$$

Gdybyśmy oznaczyli, tak jak na górnym nożu (rys. 81.) kreski prostopadłe do krawędzi noża, to odległość kresek odpowiadających tym samym średnicom obliczamy ze wzoru:

$$L_1 = L \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha/2} = 30 \sqrt{1 + \frac{1}{36}} = 30,41 \text{ mm.}$$

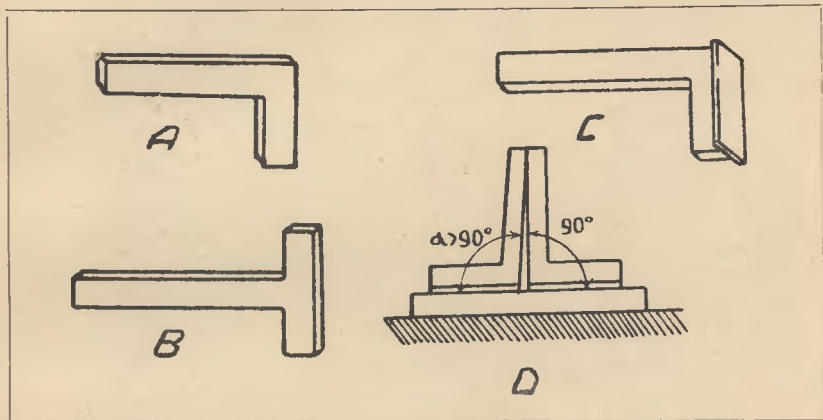
2. Mierzenie kątów.

Kąty mierzy się jednostką zwaną stopniem, który określa kąt odpowiadający 360-tej części obwodu koła. Mniejsze jednostki miernicze otrzymuje się, dzieląc stopień na 60' minut, minutę na 60'' sekund. W praktyce technicznej unika się najczęściej podawania wielkości kątów w stopniach, lecz określa się je zapomocą którejś z jego funkcji trygonometrycznych, najczęściej zapomocą stycznej (tangens). Kąt wynoszący 90° , nazywa się kątem prostym, kąty mniejsze od 90° nazywamy ostrymi, większe od 90° rozwartymi.

W praktyce warsztatowej najczęściej ma się do czynienia z kątami 90° , 45° , 60° , 120° i z tego powodu do pomiaru tych kątów używa się zwykle miar stałych (nienastawialnych), które mają tę zaletę, że można je wykonać z wielką dokładnością.

Domierzenia kątów prostych służy t. zw. **węgielnica** (rys. 92. A), która może być także wykonana jako **węgielnica dwustronna** (rys. 92. B) lub **przyłgowa** (rys. 92. C). Węgielnice, używane w czasie pracy, sprawdza się zapomocą **węgielnicy normalnej**, której powinno się używać tylko

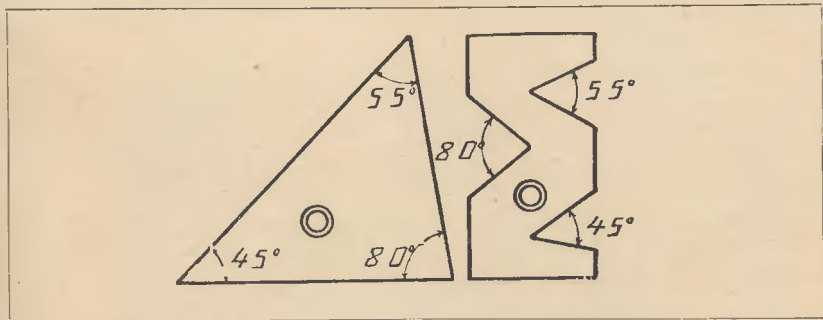
do sprawdzania, aby ją zabezpieczyć przed zużyciem. Sprawdzanie odbywa się w ten sposób, że węgielnicę badaną przykładamy na równi (rys. 92. D) do węgielnicy normalnej i obserwujemy pod światło, czy przyleganie jest dokładne. Tym samym sposobem sprawdza się zapomocą wę-



Rys. 92.

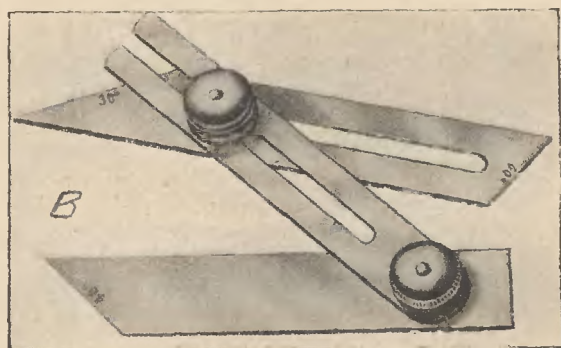
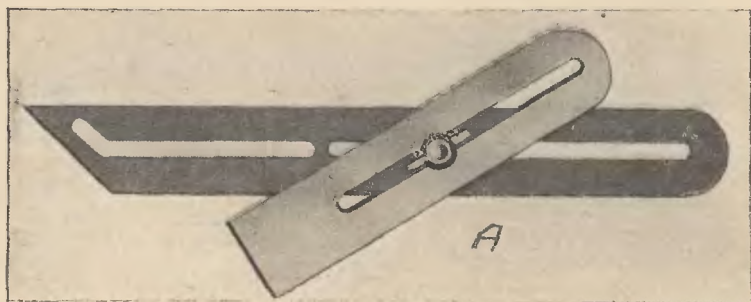
gielnicy dokładność przedmiotów obrabianych lub t. p., o ile można się ustawić pod światło, w przeciwnym wypadku musimy się kierować wyczuwaniem miejsc nieprzylegających albo też możemy się posilkować przeciąganiem paska papieru i t. p.

Prosty kąt węgielnicy można też sprawdzać zapomocą pionu, zawieszonego nad równią ustawioną dokładnie poziomo. »Titaniawerk, G. m.b. H., Berlin-Schöneberg« wy-



Rys. 93.

rabia na tej zasadzie specjalny przyrząd kontrolny, składający się z linjału i przymocowanego na nim prostopadłego słupka, na którym wisi swobodnie linja o dokładnie obrobionych powierzchniach równoległych. Linja ta daje się ustalać w pionowym położeniu tak, że przystawiając do niej węgielnicę można sprawdzić jej dokładność.



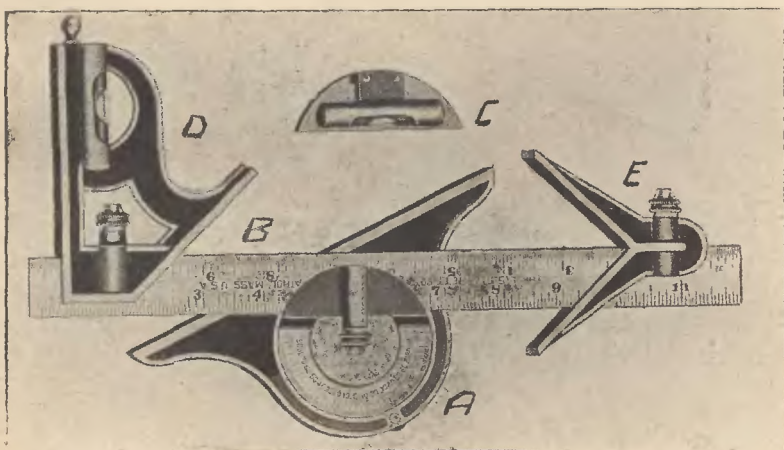
Rys. 94. A, B. (A. H. Schütte, Berlin.)

Do pomiaru kątów różniących się od 90^0 używa się **kątowników**, które kontroluje się zapomocą dokładnych **sprawdzianów kątowych**. Rys. 93. przedstawia przykład wykonania takiego kątownika z odpowiadającym mu sprawdzianem.

Do przenoszenia kątów służą nastawialne **skośnice pojedyncze** lub **podwójne**, przedstawione na rys. 94. A B.

O ile nie zależy na większej dokładności to używa się **kątomierzy** nastawialnych, wyrabianych w rozmaitych typach, które mogą być także zaopatrzone w pomocnicze

części, umożliwiające szersze ich zastosowanie. Zasadniczo kątomierz taki składa się (p. rys. 95) z obrotowej podziałki kątovej A i z przesuwalnej na niej linii B, która stanowi jedno ramię mierzonego kąta, podczas gdy stosownie ukształtowana obsada podziałki kątovej stanowi jego drugie ramię. Zamiast linii B można wstawić poziomnicę C, co umożliwia pomiar nachylenia nieruchomych płaszczyzn względem poziomu. Na linii zaopatrzonej w podziałkę można osadzić części D lub E, które umożliwiają używanie te-



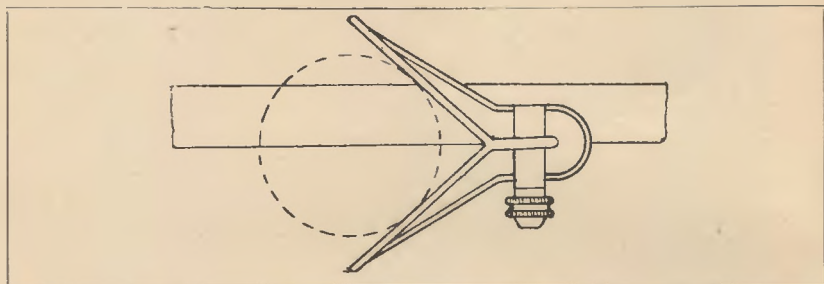
Rys. 95. (A. H. Schütte, Berlin.)

go narzędzia jako dwustronnej węgielnicy przylgowej lub jako kątownika do wyznaczania środka przekrojów cylindrycznych (p. rys. 96.) i wreszcie jako miary do mierzenia głębokości.

Jeżeli zachodzi potrzeba pomiaru kąta nachylenia powierzchni oddalonych od siebie, to nie można zastosować omawianych dotąd narzędzi i wtedy posługujemy się **poziomnicą**. Ponieważ poziomnica wskazuje tylko nachylenie danej powierzchni względem poziomu, więc kąt nachylenia dwóch różnych powierzchni znajdujemy w ten sposób, że wyznaczamy ich nachylenia względem poziomu a różnica tych nachyleń równa się kątowi, zawartemu między obu powierzchniami.

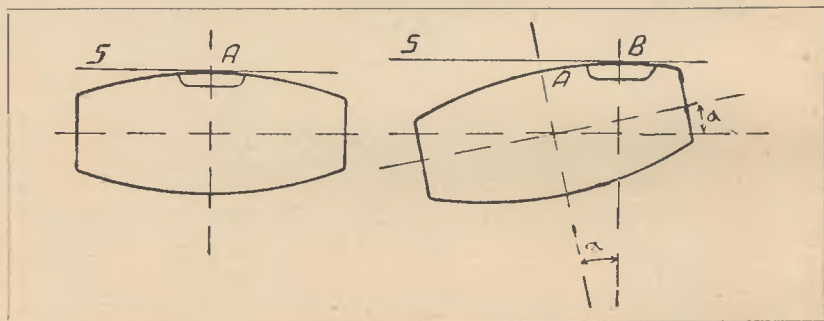
Działanie poziomnicy polega na tem zjawisku, że bańka powietrza zamkniętego w cieczy zajmuje zawsze najwyższe położenie.

W praktycznem wykonaniu zasadniczą częścią poziomnicy jest szklana rurka, zatopiona z obu stron i napełniona



Rys. 96.

cieczą. Rurka ta nie jest cylindryczna, lecz ma beczkowato wypukłe ścianki (przedstawione przesadnie na rys. 97.) o wielkim promieniu krzywizny. Na rys. 97. widać, że w poziomem położeniu rurki bańka zajmuje najwyższe położenie

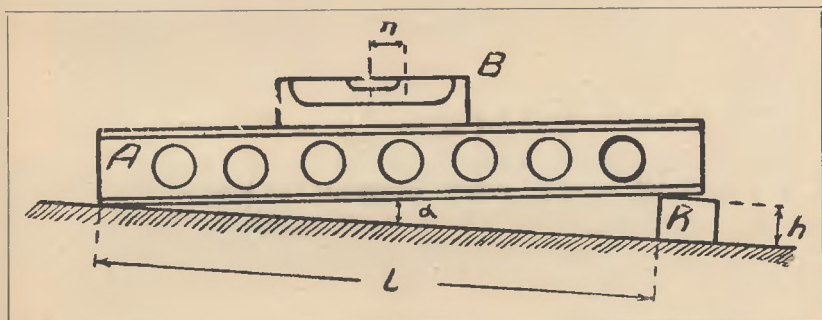


Rys. 97.

nie A, określone poziomą styczną S , dotykającą środka bańki. Jeżeli rurkę wychylimy z położenia poziomego o kąt α , to bańka zajmie znowu najwyższe położenie B, określone styczną S , przyczem przesunie się po łuku AB , odpowiadającym kątowi α . Kąt nachylenia poziomnicy równa się kątowi wychylenia bańki z położenia środkowego, tak, że rurkę można zaopatrzyć w podziałkę i jeżeli będziemy wie-

dzieli, jaki kąt odpowiada przesunięciu bańki o jedną kreśkę podziałki, to tem samem będziemy mogli określić kąt nachylenia poziomnicy w dowolnem położeniu. Podziałkę tę wytrawia się na szklanej rurce po obu stronach bańki i przesunięcie bańki odczytuje się na jej brzegu a nie w środku, bo określanie środka bańki prowadziłoby do błędów. Przesunięcie bańki można odczytywać u jednego jej brzegu, albo chcąc osiągnąć większą dokładność — z obu stron, poczem z obu odczytów bierze się wartość średnią.

U dobrej poziomnicy środek bańki w poziomem położeniu przyrządu powinien się nakrywać z środkowym



Rys. 98.

punktem podziałki. Jeżeli poziomnicę taką położymy na jakiejś pochyłej powierzchni i odczytamy na podziałce przesunięcie bańki, a potem obrócimy poziomnicę o 180^0 i znowu odczytamy przesunięcie bańki, to obydwie odczyty będą identyczne. Jeżeli jednak poziomnica będzie wadliwa, to przesunięcia odczytane na podziałce nie będą jednakowe, lecz średnia wartość obu odczytanych przesunięć będzie równa rzeczywistemu przesunięciu bańki. Ponieważ pewna niedokładność w wykonaniu poziomnicy jest zawsze możliwa, więc należy z reguły robić dwa pomiary, obracając poziomnicę o 180^0 i obliczyć potem średnią wartość z obu przesunięć bańki, odczytanych na podziałce.

Poziomnice precyzyjne są w ten sposób wykonane, że zapomocą śrubek można rurkę z ciecżą przestawić w jej

obsadzie i usunąć wspomniany wyżej błąd. Wiemy już, że odstęp kresk podziałki, wynoszący zwykle 2 mm lub 2,26 mm (paryska linja), odpowiada pewnemu kątowi, który wyznacza się w następujący sposób (p. rys. 98). Na poziomej równi kładziemy linjał A, poczem położywszy na nim poziomnicę B, wyznaczamy położenie bańki tak, jak poprzednio opisano, t. zn. raz w jednym położeniu poziomnicy a drugi raz po obróceniu jej o 180^0 . Następnie pochylamy linjał, podkładając klocek mierniczy K w znanej odległości L. Kąt pochylenia linjału i poziomnicy oblicza się ze związku:

$$\operatorname{tg.} \alpha = \frac{h}{L}$$

Ponieważ długość łuku, po którym przesunęła się równocześnie bańka, wyraża się ilością (n) kresk podziałki, a kąt odpowiadający całemu łukowi przesunięcia bańki, musi być równy kątowi α , więc jeżeli jednemu odstępowi kresk podziałki odpowiada kąt β'' (w sekundach) to.

$$n \beta'' = \alpha'' \text{ z kąd } \beta'' = \frac{\alpha''}{n}.$$

Wielkością kąta β , t. zn. pochyleniem, odpowiadającym przesunięciu bańki o jedną kreskę podziałki określa się **czułość** poziomnicy, przyczem czułość jest naogół tem większa, im większy jest promień krzywizny rurki i im większa bańka. Określenie czułości poziomnicy nie jest jednak ogólnie ustalone, czasem określa się ją także wielkością przesunięcia bańki, odpowiadającego pochyleniu równemu $1''$, albo też przesunięciem bańki, odpowiadającym nachyleniu 1 : 10 000, 1 : 1000, albo 1 : 100. W tym ostatnim wypadku, praktykowanym w budowie maszyn, podaje się n. p., że czułość poziomnicy wynosi 0,1 mm na 1 m, co oznacza, że na pochyłości $\frac{0,1}{1000} = \frac{1}{10000}$ bańka przesunęła się o jedną kreskę.

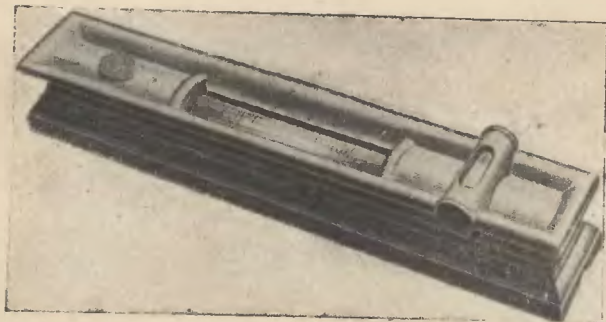
Miedzy dokładnością a czułością poziomnicy zachodzi związek, przedstawiony następującem zestawieniem:

Dokładność i czułość poziomnic.

Stopień dokładności	C z u ł o ś ć		
	Kąt odpowiadający przesunięciu o jedną kreskę	Nachylenie	Przesunięcie w mm
I	2"	1: 10000	20
II	4"	1: 10000	10
III	7"	1: 10000	6
IV	14"	1: 1000	33
V	21"	1: 1000	21
VI	85"	1: 1000	12
VII	48"	1: 1000	86
VIII	1' 9"	1: 100	60
IX	1'43"	1: 100	40
X	2'52"	1: 100	24

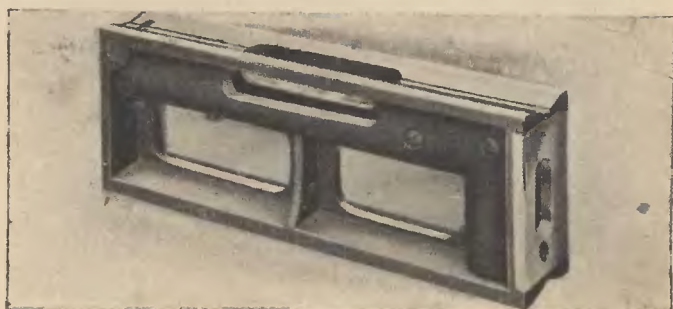
Dla normalnego użytku warsztatowego wystarcza stopień dokładności VI do X.

Robiąc pomiary zapomocą poziomnicy, należy też pamiętać o tem, że jak u innych narzędzi, tak i tu wpływ ciepła może być źródłem błędów. Przedewszystkiem pod wpływem ciepła zmienia się wielkość bańki, następnie obsada rurki szklanej ma inny skurcz niż szkło, co w danym wypadku może wpłynąć na zmianę promienia krzywizny rurki. Szczególnie szkodliwie wpływa jednostronne ogrzanie, n. p. przez dotknięcie ręki, bo wtedy zmienia się przyczepność cieczy do szkła, tak, że bańka dąży do miejsca ogrzanego.



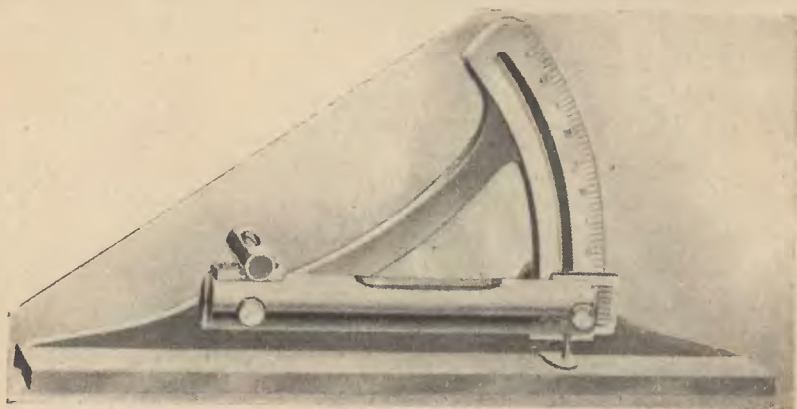
Rys. 89. (A. H. Schütte, Berlin.)

Obsady poziomnic są rozmaite, zależnie od celu, dla jakiego mają służyć. Tak n. p. rys. 88. przedstawia poziomnicę, która posiada też poziomnicę poprzeczną, umożliwiającą poziome ustawianie poziomnicy tak w kierunku jej osi głównej, jak i w kierunku prostopadłym do niej.



Rys. 100. (A. H. Schütte, Berlin.)

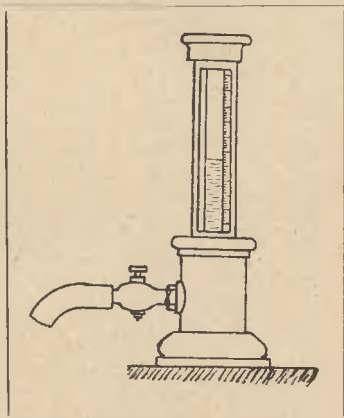
Rys. 100. przedstawia poziomnicę ramową, która może też spełniać zadanie węgielnicy, t. zn. wskazywać kierunek poziomy i pionowy. Podstawa poziomnicy może być płaska lub klinowo wyżłobiona, co ułatwia jej ustawianie na powierzchniach krzywych, n. p. na wałach. Rys. 101. przedstawia poziomnicę do mierzenia kątów (do 45°). Jeden jej koniec jest osadzony obrotowo, a drugi jest nastawialny w łukowej prowadnicy, zaopatrzonej w podziałkę kątową. Jeżeli poziomnicę taką postawimy na jakiejś pochy-



Rys. 101. (A. H. Schütte, Berlin.)

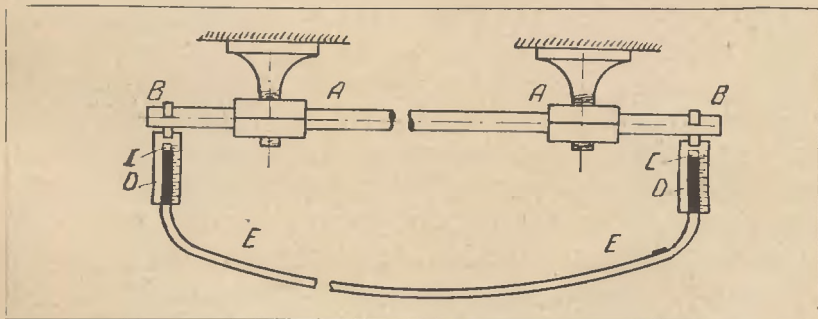
tej powierzchni i rurkę jej nastawimy do poziomu, to znaczy tak, aby bańka zajęła środkowe położenie, to przesuwalny koniec rurki wskazuje na podziałce kąt nachylenia naszej powierzchni do poziomu.

Używane są również **poziomnice węzowe** (rys. 102.), zbudowane na nasadzie naczyń połączonych (w naczyniach połączonych ze sobą ciecz ustawa się zawsze do tej samej wysokości). Poziomnica taka składa się z dwóch słupków (na rysunku przedstawiono jeden z nich), wydrążonych i z przodu wyciętych, oraz zaopatrzonych w podziałkę. W ich wnętrzu znajdują się szklane rurki, napełnione cieczą i połączone ze sobą węzłem stosownej długości. Jeżeli obydwa słupki ustawi się w dwóch różnych miejscach, lecz na tym samym poziomie, to ciecz ustawi się w obu rurkach



Rys. 102.

na tej samej wysokości. Poziomnice te są bardzo dogodne przy zakładaniu pędni, fundamentów i t. p. W razie nagłej potrzeby można taką poziomnicę zrobić z łatwością własnymi środkami; rys. 103 przedstawia taki praktyczny przykład. Celem sprawdzenia położenia wału A-A, zawieszamy na haczkach B B deszczułki D D, na których są umocowa-

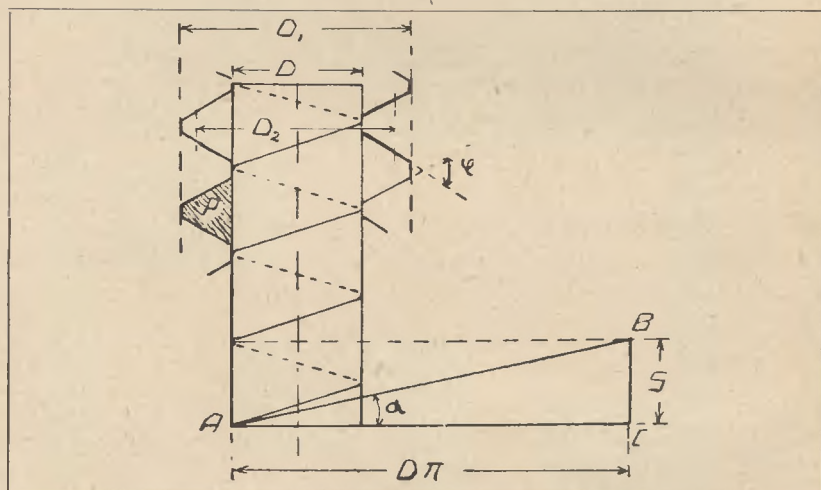


Rys. 103. (Według W. T. 1913, str. 317.)

ne rurki szklane C C, połączone ze sobą węzłem E E. Obserwując poziom wody na podziałce, wyrównujemy wał aż do osiągnięcia jednakowego stanu wody w obu rurkach.

3. Mierzenie śrub.

Śruba jest jedną z najważniejszych części maszynowych, służących do łączenia lub do przenoszenia ruchu, więc też zastosowanie jej jest bardzo szerokie i z tego powodu bardzo często spotykamy się w praktyce z konieczno-



Rys. 104.

ścią pomiaru śruby, przyczem wymagana dokładność pomiaru zależy od żądanej dokładności śruby, zmieniającej się także w bardzo szerokich granicach. Dla lepszego zrozumienia pomiaru śruby opiszemy tu w krótkości jej zasadnicze znamiona.

Powstawanie linii śrubowej można zobrazować tak, jak na rys. 104. Jeżeli na walec o średnicy D nawiniemy trójkąt prostokątny ABC , którego podstawa ma długość równą obwodowi podstawy walca, to bok trójkąta, leżący naprzeciw kąta prostego, opisze na powierzchni walca linię śrubową. Gdybyśmy sobie wyobrazili, że wzdłuż tej linii ciągnie-
my profil P jakiegoś gwintu, to otrzymalibyśmy śrubę.

W praktyce są używane następujące profile: trójkąt równoramienny, równoboczny lub prostokątny o wierzchołku tępo ściętym lub zaokrąglonym, prostokąt lub kwadrat, trapez, półkole. Skok S tej śruby będzie równy wysokości nawiniętego trójkąta a pochylenie linii śrubowej będzie równe kątowi α . Między skokiem śruby, średnicą i kątem α zachodzi związek:

$$\operatorname{tg.} \alpha = \frac{S}{D \pi}$$

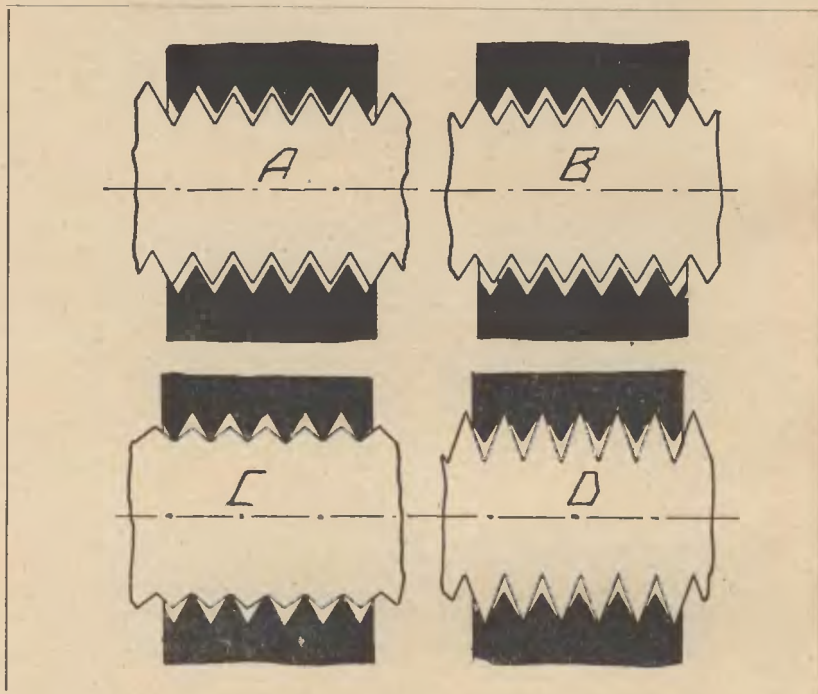
Śrubę charakteryzują następujące wielkości (rys. 104.):

1. Średnica zewnętrzna D_1 .
2. Średnica rdzenia czyli wewnętrzna D .
3. Średnica boków śruby D_2 — jest to odległość przeciwległych boków śruby, mierzona w dowolnej płaszczyźnie prostopadłej do osi śruby i w dwóch punktach jednakowo odległych od osi śruby; w bardziej ograniczonym znaczeniu jest to ta średnica boków, która różni się od średnicy zewnętrznej, względnie wewnętrznej o głębokości gwintu.
4. Skok śruby — S , czyli odległość skrętów zwoju śruby, mierzona w dowolnym miejscu, jako odległość dwóch analogicznych punktów profilu zwoju.
5. Kąt wierzchołkowy C .
6. Położenie boków śruby względem jej osi, co się wyraża połową kąta wierzchołkowego.
7. Spłaszczenie, względnie zaokrąglenie wierzchołka gwintu.

Trzy ostatnie cechy znamionują profil gwintu.

Teoretycznie wszystkie te wielkości musiałyby mieć określone wartości, aby pasowanie śruby i nakrętki było idealne, w praktyce jednak nie można osiągnąć takiej dokładności wykonania. Ważność poszczególnych wymiarów wyżej wyliczonych jest jednak rozmaita; przede wszystkim śruba i nakrętka tej samej miary muszą się dać ze sobą skrócić, następnie doleganie powierzchniowe musi być tak wielkie, aby czyniło zadość wymaganiom wytrzymałości. Odnośnie do pierwszego warunku średnica wewnętrzna, zewnętrzna i średnica boków śruby nie może przekroczyć pe-

wnej największej wartości a odpowiednie średnice nakrętki nie mogą przekroczyć pewnej najmniejszej wartości; natomiast w odniesieniu do drugiego warunku najmniejsze wartości tych średnic u śruby i największe u nakrętki są ograniczone wymaganą wielkością powierzchni dolegania. Doświadczenia, wykonane przez A. H. Sturdec'a (Anglja) wykazały, że zmniejszenie powierzchni dolegania o 50⁰/₀



Rys. 105. A, B, C, D.

zmniejsza wytrzymałość tylko o 20⁰/₀, bo wskutek poddawania się powierzchni styku śruby i nakrętki powierzchnia ta samoczynnie się powiększa w czasie obciążenia, więc ostatecznie wahania wielkości średnic wewnętrznych i zewnętrznych mają mniejsze znaczenie. Ważniejsze są natomiast błędy w wymiarach skoku, kąta wierzchołkowego i średnicy boków. Rys. 105. A, B, C, D przedstawiają przesadnie niedokładności, ujawniające się gdy: A) skok śruby jest większy niż nakrętki; B) mniejszy niż nakrętki; C) kąt

wierzchołkowy śruby jest większy; D) mniejszy niż u nakrętki. Niedokładność skoku i położenia boków śruby względem jej osi uniemożliwia jej wkręcenie.

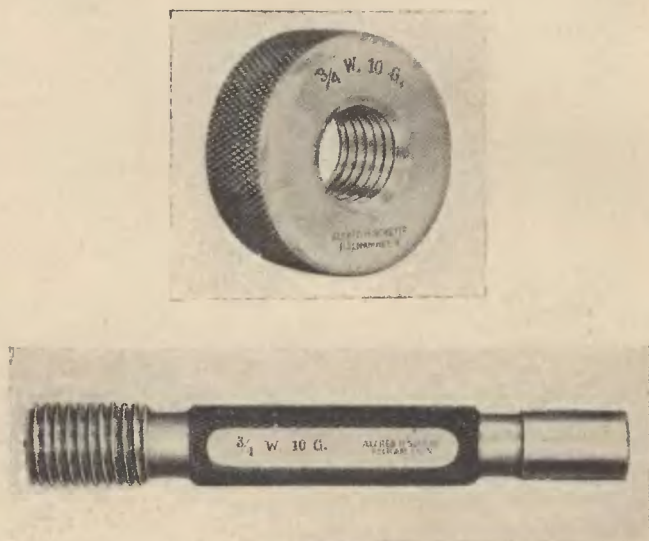
Wymagana dokładność gwintu może być różna, zależnie od celu jakiemu śruba ma służyć, lecz oczywiście jest, że i tu jest pożądana jak najdalej idąca normalizacja oraz ustalenie tolerancji, czyli błędów, dopuszczalnych dla rozmaitych rodzajów pasowania. Niemiecka komisja ustalająca tolerancje dla gwintów (Unterausschuss für Gewindetoleranzen) przewiduje trzy grupy: śruby precyzyjne (1 GPE), dokładne ($1\frac{1}{2}$ GPE), zgrubne ($2\frac{1}{2}$ GPE), przy czym wielkość tolerancji oznacza się jednostką pasowania 1 GPE = $67 \sqrt{S}$, gdzie skok śruby S jest wyrażony w milimetrach. Wyrażona tu jednostka pasowania odpowiada w zupełności jednostkom pasowania, proponowanym niezależnie w Anglii i Ameryce.

Przytoczone tolerancje nie dotyczą gwintów szczelnych (dla pary i gazów), które stanowią osobną grupę. W porównaniu z rodzajami pasowań gładkich wałów i otworów, pasowania śrub odpowiadałyby następującym osadzeniom: śruby precyzyjne (n. p. dla przyrządów mierzniczych) — pasowanie precyzyjne przesuwowo-ślizgowe; śruby dokładne (n. p. lepsze śruby handlowe, jak dla obrabiarek) — pasowanie gładkie ślizgowe; śruby zgrubne pasowanie zgrubne g_1 . Śruby nie czyniące zadość nawet warunkom pasowania zgrubnego określono jak śruby surowe.

Ponieważ tolerancje dla śrub według wyżej podanych zasad lub innych nie są jeszcze ustalone, więc ogólnie biorąc można przyjąć, że u śrub szczelnych wymiary średnic zewnętrznych i wewnętrznych muszą być zachowane z dokładnością do $\pm 0,01$ mm, natomiast u śrub, służących do łączenia, dopuszczalny błąd może być większy, bo u tych śrub zależy tylko na zachowaniu wystarczającego dolegania powierzchniowego; jeżeli jednak ma być możliwa wymiennność śrub, to średnica boków musi być zachowana z dokładnością do $\pm 0,01$ mm, względnie nakrętki do $\pm 0,01$ mm. Błędy skoku (skok powinien być taki sam na

całej długości śruby) u niezbyt długich gwintów mogą być zawarte w granicach od $+ 0,02$ do $- 0,08$ mm na 1 cal długości gwintu. Warunki te dotyczą lepszych śrub, natomiast dokładność zwykłych śrub handlowych może być znacznie mniejsza.

Sprawdzanie śrub normalizowanych odbywa się analogicznie jak sprawdzanie wałów lub otworów za pomocą



Rys. 106. (A. H. Schütte, Berlin.)

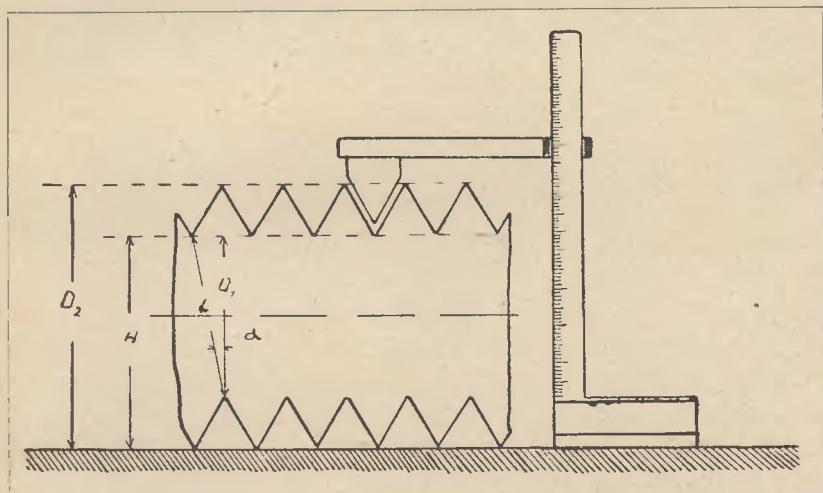
sprawdzianów różnicowych, gdyż nie zachodzi tu potrzeba oddzielnego pomiaru poszczególnych wymiarów śruby (wyliczonych pod 1 : 7), lecz tylko o sprawdzenie, czy śruba odpowiada granicom tolerancji dopuszczalnej dla danego pasowania czy nie. Do tego celu służą gwintowane sprawdziany: sworzniowe do sprawdzania nakrętek i pierścieniowe do sprawdzania śrub (rys. 106.).

Pomiar śruby w ścisłym znaczeniu musi obejmować oddzielnie jej wszystkie charakterystyczne wymiary.

1. Średnicę zewnętrzną można zmierzyć dowolnym ze znanych nam już narzędzi, jak n. p. drobnomierzem, przymiarem przesuwkowym i t. d. W czasie pomiaru

należy zachować omawiane już ostrożności, a w szczególności uważać, aby ciepło ręki nie działało ani na mierzoną śrubę, ani na narzędzie miernicze. Najlepiej trzymać śrubę w drewnianych kleszczach, a narzędzie miernicze zamocować w stosownej podstawie, albo w imadle i t. p.

2. Średnicy wewnętrznej nie można naogół mierzyć bezpośrednio, bo z powodu pochylenia linii śrubo-



Rys. 107.

wej punkty powierzchni śruby, leżące na rdzeniu, nie znajdują się naprzeciw siebie w płaszczyźnie prostopadłej do osi śruby. Mimo to, jeżeli nie zależy na dokładniejszym pomiarze, można w ten sposób mierzyć wewnętrzną średnicę, używając n. p. przymiaru przesuwkowego o stosownie ukształtowanych (zaostrzonych) dotykach. Mierzymy wtenczas (p. rys. 107) zamiast wewnętrznej średnicy D_1 długość L , a ponieważ między temi wielkościami zachodzi związek:

$$\frac{D_1}{L} = \cos \alpha$$

przyczem α wyznaczamy z równania:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi D_1}$$

gdzie S oznacza skok, więc popełniony błąd pomiaru można z łatwością obliczyć.

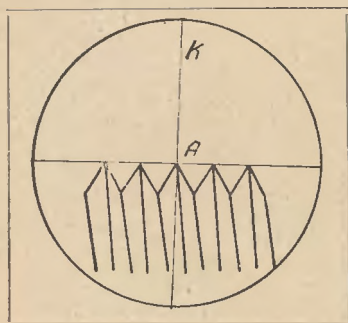
Z obliczenia wynika, że dla śrub poniżej $\frac{1}{2}$ " (cala) błąd ten nie przekracza 0,05 mm., dla śrub do 3" nie przekracza 0,1 mm.

Z powodu tej niedokładności pomiaru bezpośredniego uciekamy się do pośredniej drogi. W warsztacie skuteczniamy to przy pomocy miar do mierzenia wysokości, tak jak wskazuje schematyczny rys. 107. Śruba leży na równi, na której ustawiamy też n. p. miarę przesuwkową, odmierzając nią D_2 i H , wtedy

$$D_1 = 2H - D_2.$$

Jak zobaczymy później, w praktyce warsztatowej można wogóle pominąć pomiar średnicy wewnętrznej, ze względu na związek, jaki zachodzi między nią a średnicą boków śruby wzgl. jej profilem.

O ile średnica śruby wynosi mniej niż 2—3 mm., to stosuje się optyczną metodę pomiaru, która służy także do dokładnego mierzenia średnicy zewnętrznej, średnicy boków śruby i skoku. Zasadniczą częścią takiego przyrządu optycznego jest mikroskop, w którego polu widzenia znajduje się włoskowy krzyż, służący do nastawiania śruby w czasie mierzenia (p. rys. 108). Pomiar odbywa się w ten sposób, że mierzoną śrubę osadza się w suwadle przyrządu, które można przesuwac w dwóch kierunkach prostopadłych do siebie zapomocą precyzyjnych śrub, przyczem przesunięcia suwadła w jednym i w drugim kierunku odczytuje się na podziałkach. Chcąc n. p. zmierzyć średnicę zewnętrzną, ustawiamy naprzód punkt węzłowy krzyża K (p. rys. 108.) na wierzchołek gwintu, t. zn. na punkt A , poczem przesuwamy suwadło tak, żeby środek krzyża padł na przeciwległy wierzchołek gwintu i odczytujemy na podziałce wielkość przesunięcia suwadła, równą w tym wypadku

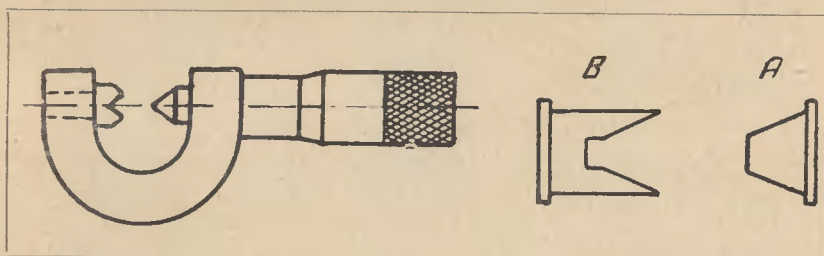


Rys. 108.

zewnętrznej średnicy śruby. W taki sam sposób możemy na-
stawić środek krzyża na każdy inny punkt, mierząc inną do-
wolną średnicę, n. p. wewnętrzną lub boków śruby.

Dokładność pomiaru zależy od dokładności podziałki i
od dokładności śrub przesuwających suwadła.

3. Pomiar średnicy boków śruby można
uskutecznić zapomocą mikroskopu jak wyżej opisano, jednak
przrzędu tego nie używa się w warsztacie jako zbyt deli-
katnego i kosztownego. W warsztacie można używać do
tego celu drobnomierza, zaopatrzonego w stosowne dotyki,
które mogą być stałe lub nakładane. Rys. 109 przedstawia



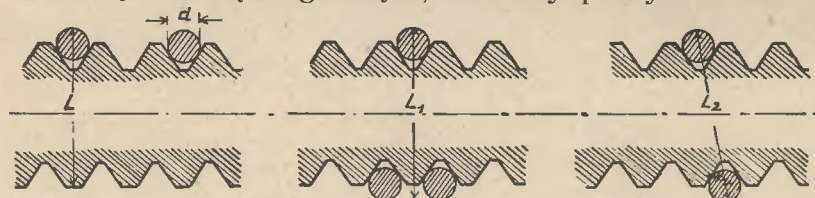
Rys. 109.

Rys. 110.

taki drobnomierz, którego dotyki stanowią jedną całość z je-
go wrzecionem wzgl. z kowadełkiem, natomiast rys. 110
przedstawia nakładane dotyki, wyrabiane przez firmę »Mi-
kron G. m. b. H. Berlin«. Stożkowe zakończenie A nakłada
się na wrzeciono drobnomierza, a siodełko B na kowadełko.
Nakładki te są tak dokładnie obrobione, że trzymają się
sąmą przyczepnością (przysysają się) i są zabezpieczone
tylko przeciw bocznym przesunięciom zapomocą pierścieni.
W chwili pomiaru siodełko ustawia się samoczynnie w kie-
runku pochylenia gwintu. Pochylenie stożków obu dotyków
jest równe kątowi wierzchołkowemu gwintu, a podziałka
drobnomierza jest taka, że odczytuje się wprost średnicę bo-
ków śruby, t. z. zero odczytuje się wtedy, gdy stożek wszedł
w pryzmatyczne siodełko. Gwinty o różnych kątach wierz-
chołkowych wymagają oczywiście różnych drobnomierzy,
a także jeden drobnomierz może służyć tylko do mierzenia

śrub o skokach zawartych w pewnych określonych granicach.

Przy pomiarze zapomocą drobnomierza popełnia się mianowicie pewien błąd, który pochodzi stąd, że siodełko ustawia się w chwili pomiaru w kierunku wzniosu gwintu i podobnie też ustawia się stożek, wiadomo zaś, że kąt wierzchołkowy mierzy się w płaszczyźnie, przechodzącej przez oś śruby a nie w płaszczyźnie prostopadłej do jej wzniosu. Ponieważ jednak siodełko i stożek drobnomierza mają pochylenie równe kątowi wierzchołkowemu (wzgl. jego połowie), więc wskutek niewłaściwego położenia nie przylegają szczelnie do gwintu, co jest właśnie powodem błędu pomiaru. Chcąc uniknąć tego błędu, trzebaby pochylenie stożka

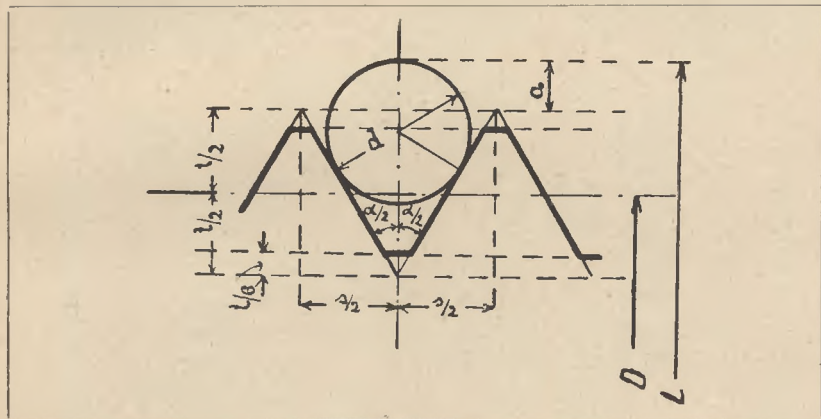


Rys. 111.

i siodełka uczynić równem kątowi wierzchołkowemu, mierzonemu w płaszczyźnie prostopadłej do wzniosu śruby, lecz wtedy trzebaby używać innego drobnomierza (wzgl. nakładek A, B) dla każdego skoku i dla każdej średnicy śruby (choćaby o tym samym skoku, bo pochylenie linii śrubowej zależy od wielkości skoku i od średnicy), co wymagałoby bardzo wielkiej ilości takich narzędzi mierniczych. Z tego powodu nie przeciwdziała się temu błędowi, tembardziej, że jest on bardzo mały.

Średnicę boków śruby można też mierzyć w inny sposób, który jest pożyteczny zwłaszcza wtedy, gdy śruba nie jest wykonana według istniejących systemów i handlowe drobnomierze nie nadają się do jej pomiaru. Sposób ten polega na tem, że pomiar wykonywa się przez druty, dokładnie kalibrowane i wstawione pomiędzy gwinty śruby. Rys. 111 przedstawia zasadę sposobów wykonywania takiego pomiaru. W pierwszym wypadku mierzymy (n. p. zwykłym drobnomierzem) odcinek L , który jest prostopadły do osi

śruby i przedstawia odległość zewnętrznej powierzchni drutu od zewnętrznej powierzchni gwintu. Sposób ten może być używany, gdy zewnętrzna średnica śruby jest dokładnie zachowana i z tego powodu częściej się stosuje dwa następne sposoby, umieszczając druty po obu stronach śruby i mierząc odcinek L_1 wzgl. L_2 . W ostatnim wypadku mierzony odcinek jest nachylony do osi śruby pod kątem jej wzniosu.



Rys. 112.

Dokładność tego pomiaru zależy od tego, czy druty są dokładnie cylindryczne i z tego względu pewniejsze są grubsze druty niż cienkie, bo łatwiej je dotrzeć do dokładnego kształtu. W każdym razie wielkość błędu pomiaru może wynosić do $\frac{1}{200}$ mm. Trudne jest zamocowanie drutów, lecz firma «C. Zeiss, Jena» wyrabia w tym celu odpowiednie wieszadła, które można osadzić na każdym drobnomierzu.

Z pomiaru odcinka L_1 oblicza się średnicę boków śruby w następujący sposób (p. rys. 112).

Jeżeli L oznacza zmierzoną długość, D średnicę boków śruby, t głębokość gwintu, to:

$$L - D = 2a + t.$$

Wielkość a obliczamy ze związku:

$$a + t = \frac{d}{2} + \frac{d/2}{\sin \alpha/2}$$

zatem:

$$L - D = 2 \left(\frac{d}{2} + \frac{d/2}{\sin \alpha/2} - t \right) + t - d + \frac{d}{\sin \alpha/2} - t$$

a ponieważ:

$$t = \frac{s}{2} \cotg. \frac{\alpha}{2}$$

więc:

$$D = L - d \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right) + \frac{s}{2} \cotg. \frac{\alpha}{2}.$$

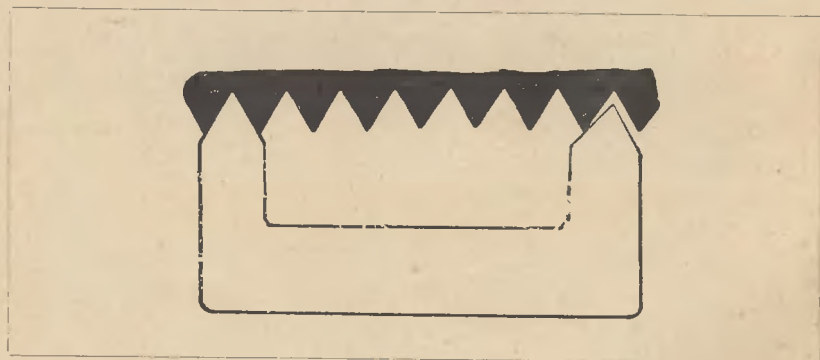
Ponieważ dla gwintu Whitworth'a: $\alpha = 55^\circ$, więc $\sin \alpha/2 = 0,46175$, $\cotg. \alpha/2 = 1,42098$,

zatem $D = L - 3,1657 d + 0,96049 s$;

dla gwintu S. J. $\alpha = 60^\circ$, $\sin \alpha/2 = 0,5$, $\cotg. \alpha/2 = 1,73205$,
więc: $D = L - 3 d + 0,86603 s$.

Najdogodniej jest używać do pomiaru drutów, mających zawsze tę samą średnicę, bo wtedy można sobie zestawić tabelkę i używać jej przy obliczaniu wartości D z pomiaru L.

4. P o m i a r s k o k u ś r u b y. Jeżeli skok śruby ma być tylko sprawdzony, t. z. ma być stwierdzona jego zgodność ze skokiem śruby normalnej, to można do tego celu użyć takich sprawdzianów, jakie wyrabia n. p. firma »Rich. Weber et Co. Berlin« (p. rys. 113), obejmujących długość odpowiadającą pewnej wielokrotności skoku, bo doświadczenie wykazało, że pomiar skoku jest tem dokładniejszy, im

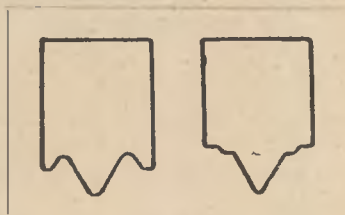


Rys. 113.

większą liczbę zwojów śruby obejmuje się pomiarem — pod tym warunkiem oczywiście, że poszczególne skoki od jednego zwoju do drugiego są między sobą równe. Sprawdzian taki przykłada się do sprawdzanej śruby dokładnie w płaszczyźnie jej osi i bada zgodność pod światło (na rys. 113 przedstawiano przesadnie niedokładność skoku).

Rzeczywisty pomiar skoku uskutecznia się zapomocą stosownych przyrządów, których działanie polega na tem, że wielkość skoku mierzy się wielkością przesuwu ruchomej części przyrządu, nastawianej odpowiednio względem mierzonego gwintu. Wielkość tego przesuwu, odpowiadającą jakiegokolwiek wielokrotności skoku mierzonej śruby, mierzy się zapomocą drobnomierza, maszyny mierniczej, klocków mierniczych lub t. p., więc od dokładności tych przyrządów zależy dokładność pomiaru skoku.

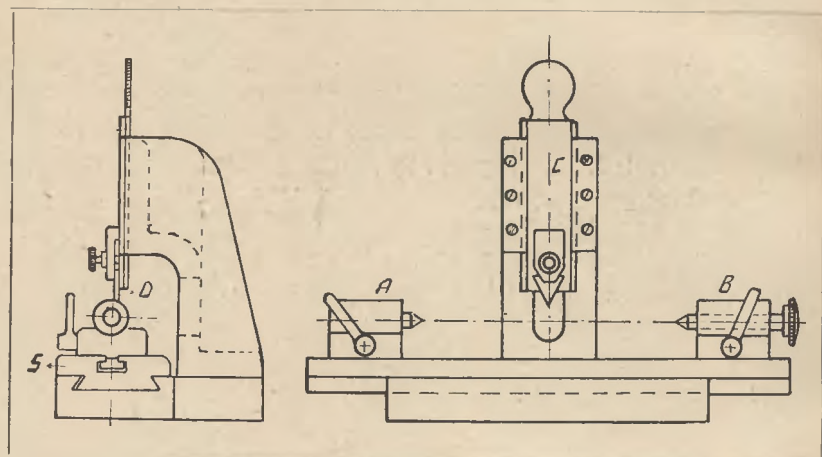
Przyrząd taki (porównaj rys. 115.) do mierzenia skoku śruby składa się z dwóch koników przesuwalnych na poziomem łożu, pomiędzy którymi umocowuje się mierzoną śrubę. Ponad nią znajduje się su-



Rys. 114.

wadło przesuwalne poziomo- i równoległe do jej osi. Na tem suwadle przesuwają się w kierunku pionowym drugie suwadło, w którym jest umocowany wzorec profilu mierzonego gwintu, mający n. p. kształt taki, jak na rys. 114. Po zamocowaniu mierzonej śruby opuszcza się wzorec tak, aby wszedł dokładnie w zwoj śruby, co stwierdza się pod światło, przyczem oś symetrii wzorca musi być prostopadła do osi sprawdzanej śruby, a powierzchnia wzorca musi leżeć w płaszczyźnie osi śruby. Z tego położenia, którego dokładne oznaczenie przyrząd umożliwia, podnosi się wzorec w górę a suwadło poziome przesuwają o wielkość odpowiadającą pewnej wielokrotności skoku mierzonej śruby. W tem nowem położeniu opuszcza się znowu wzorec tak, aby wszedł w nacięcie gwintowe mierzonej śruby. O ile skok śruby jest dokładny, to wzorec wejdzie dokładnie w jej nacięcie, jeżeli jednak stwierdzimy pod światło, że

wzorzec nie wchodzi szczelnie, to przesuwamy śrubę (wzgl. suwadło poziomo) o tyle, żeby uzyskać zgodność i wielkość tego ostatniego przesunięcia równa się błędowi skoku mierzonej śruby. Na tej samej zasadzie polega pomiar skoku śruby metodą optyczną, zapomocą mikroskopu, opisanego już poprzednio. Mierzenie odbywa się w ten sposób, że środek włoskowego krzyża nastawiamy na jakiś punkt profilu mierzonej śruby a potem przesuwamy suwadło przyrządu wraz z mierzoną śrubą o pewną wielokrotność skoku. W tem

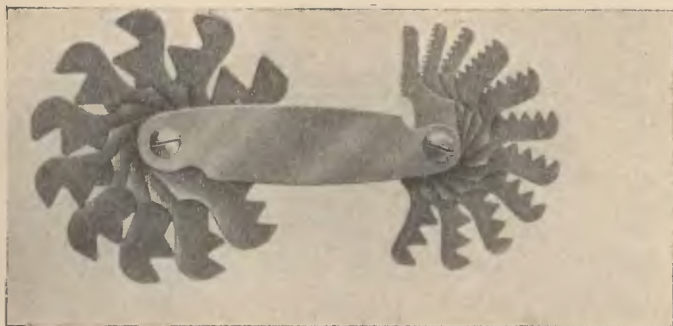


Rys. 115.

nowem położeniu środek krzyża powinien paść znowu na analogiczny punkt profilu śruby. Przesuw krzyża włoskowego musi się oczywiście odbywać w kierunku równoległym do osi mierzonej śruby.

5. Sprawdzanie profilu gwintu — polega na sprawdzaniu kąta wierzchołkowego i spłaszczeń wzgl. zaokrągleń gwintu oraz ich położenia względem osi śruby. Uskutecznia się to najwygodniej zapomocą stosownie dobrego wzorca (podoby), wykonanego dokładnie według wymaganego profilu. Ponieważ wzorzec musi być przystawiony do gwintu dokładnie w płaszczyźnie osi sprawdzanej śruby, co ręcznie nieda się uskutecznić z wymaganą dokładnością, więc używa się w tym celu przyrządu, przedstawionego schem. na rys. 115. Przyrząd ten nie różni się w za-

sadzie od przyrządu do mierzenia skoku, więc o ile jest zaopatrzony w urządzenie pomocnicze, umożliwiające dokładne oznaczenie wielkości przesuwu suwadła, to może służyć także do mierzenia skoku. — Na suwadle S znajdują się dwa koniki A, B, między którymi osadza się sprawdzaną śrubę. Worzec D jest umocowany w pionowym suwadle C, zapomocą którego można go wstawić w gwint śruby, dokładnie w pionowej płaszczyźnie, przechodzącej przez oś śruby, poczem przyleganie stwierdza się pod światło.

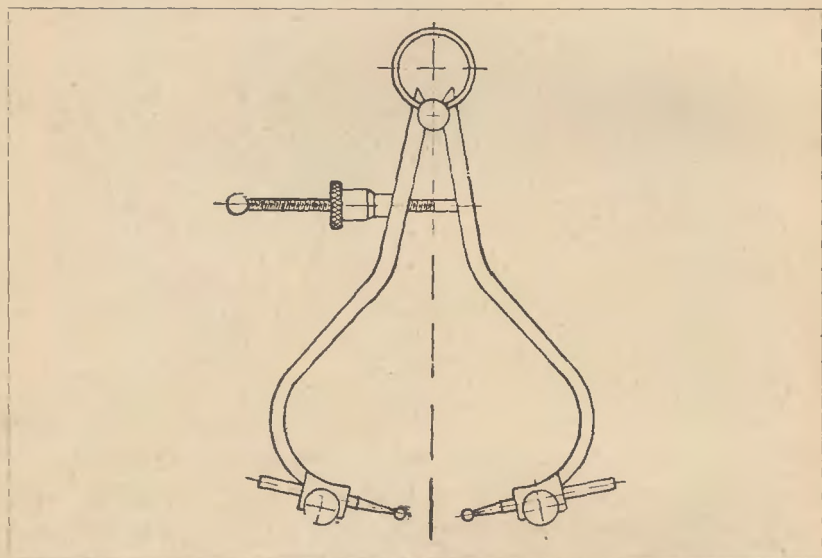


Rys. 116. (A. H. Schütte, Berlin.)

Zapomocą wzorca stwierdza się odrazu dokładność wszystkich znamion charakterystycznych profilu śruby, t. j. położenie boków śruby, zaokrąglenie wzgl. spłaszczenie gwintu i kąt wierzchołkowy. Doświadczenie wykazało, że przy takim sprawdzaniu profilu śruby pod światło można nieuzbrojonym okiem stwierdzić (lecz nie zmierzyć) błędy, wynoszące około $1\frac{1}{2}$ do 2 tysięcznych milimetra.

Istotny pomiar kąta wierzchołkowego można natomiast wykonać metodą optyczną, zapomocą znanego już mikroskopu, którego stolik musi wtedy posiadać oprócz dwóch suwadła jeszcze część obrotową. Mierzoną śrubę ustawiamy tak, aby jeden z boków profilu śruby nakrył się z jednym ramieniem włoskowego krzyża, poczem obraca się stolik o tyle, żeby drugi bok profilu nakrył się z tem samem ramieniem krzyża. Kąt obrotu, równy kątowi wierzchołkowemu mierzonej śruby, odczytuje się na skali obrotowej części stolika mikroskopu z dokładnością około 10 minut.

Sprawdzanie nakrętek jest trudniejsze, bo dostęp do mierzonego gwintu jest trudniejszy. Pomiar odbywa się w ten sposób, że poszczególne wielkości sprawdza się oddzielnie, więc naprzód wewnętrzną średnicę zapomocą gładkiego sprawdziana sworzniowego (porównaj rys. 106), następnie sprawdza się gwint zapomocą sworznia gwintowanego i poszczególne wielkości zapomocą sworzni, posiadających tylko jeden zwój gwintowy, stwierdzając dokładność ich pasowania w gwincie nakrętki.



Rys. 117.

Bardzo często, n. p. przy wyrobie zwykłych śrub handlowych, nie jest wymagana taka dokładność pomiaru, jaką się osiąga zapomocą opisanych przyrządów i w tych wypadkach można się posługiwać mniej czułymi narzędziami mierniczemi, które są za to prostsze i łatwiejsze w użyciu. Do takich narzędzi należą podoby gwintowe, takie n. p. jak na rys. 116, umożliwiające pomiar wzgl. sprawdzanie gwintów zewnętrznych i wewnętrznych.

Przy wyrobie śrub używa się też sposobu sprawdzania wymiarów śruby przez porównywanie ze śrubą wzorcową, t. z. wymiary śruby wzorcowej przenosi się na śrubę

obrabianą. Porównywanie średnic uskutecznia się za pomocą macek o dotykach kulkowych, gdy sprawdza się średnicę boków, lub ostro zakończonych, gdy się mierzy średnicę wewnętrzną gwintu ostrego. Używając kulek różnej wielkości, można sprawdzać średnice boków śruby w różnych punktach powierzchni boków. Macki takie przedstawia rys. 117.



SKOROWIDZ.

A

Amplituda 18.

B

Bezwzględna niedokładność pomiaru 10.

Błędy drobnomierza 53.

Błędy pomiaru drobnomierzem 9, 53, 55.

Błędy pomiaru — źródła 10.

C

Cosinus 99.

Cotangens 99.

Czujnik 36.

— dźwigniowy 60.

— Hirth'a 61.

— zegarkowy 63.

Czułość poziomnicy 112.

Cyrkiel dotykowy 24.

— drążkowy 31.

— kończysty 24.

— z podziałką 27.

D

Dobór — płytek Johanssona 84.

Docisk 71.

Dokładność gwintu 119.

— pomiaru 9, 13.

— pomiaru drobnomierzowa 53, 55.

— pomiaru sprawdzianem 68.

— poziomnicy 112.

Doleganie 71.

Drobnomierz 51.

— do pomiaru śrub 123.

— o zmiennej rozpiętości 52.

— prześwitowy 58, 59.

— zastosowania 56.

F

Faza 18.

Funkcja trygonometryczna 99.

G

Głębokość — mierzenie 50, 58.

Granica podziału 40.

Grzechotka 56.

Gwint — dokładność 119.

— podoby 130.

— profil 117, 118.

H

Hirth 61.

Huygens 8.

I

Interferencja światła 17, 87.

Interferometr 19.

J

Jednostka długości 8.

— miernicza 8.

— pasowania 75.

Johansson 83.

K

- Kalibry kabłkowe 62, 77.
- krawcowe 70, 77.
- łopatkowe 68, 77.
- normalne 65.
- pierścieniowe 66.
- różnicowe 70, 77.
- szczękowe 68, 77.
- tłoczkowe 66, 77.
- tolerancyjne 70, 77.
- Kąt — mierzenia 106, 114.
- Kąt — wierzchołkowy śruby 117.
- Kątomierz 108.
- Kątownik 108.
- Klocki Johanssona 83.
- Komparator interferencyjny 17, 20.
- Kontrola sprawdzianów 82, 86.

L

- Linja 92.
- Linjał 92.
- Luz 71.

M

- Macki 24.
- Macki do śrub 131.
- Maszyna miernicza 14.
- Metr 9, 20.
- Metr normalny 37.
- Metrówka 37.
- zwijana 39.
- Michelson 17.
- Miary nastawialne 23, 36.
- nienastawialne (stałe) 23, 36, 65.
- pręcikowe 58.
- sprawdzanie 14.
- Mierniczy krażek 101.
- Mierzenie bezpośrednie 7.
- definicja 7.
- głębokości 50, 58.
- grubości papieru, papy, skóry 57.
- kątów 106, 114.

Mierzenie pośrednie 7.

- prześwitu 26, 58, 59.
- sposobem rysunkowym 35.
- śrub 116, 120, 121, 123, 126.
- stożków 93, 101.
- wysokości 46, 58.

Mikrometr 51.

Mikroskop do pomiaru śrub 122.

Minimetr Hirth'a 61.

N

- Naprężenia wewnętrzne w narzędziach 23.
- Narzędzia miernicze — pomocnicze 23, 24.
- Nasadka — drobnomierza 51.
- Nastawialne miary 23.
- sprawdziany (kalibry) różnicowe 79.
- Nastawianie drobnomierzy 54.
- Niedokładność bezwzględna 10.
- pomiaru 9.
- śruby 118.
- względna 10.
- Nienastawialne miary 23.
- Noniusz 40.
- Normalizacja 70.
- Normalny metr 37.
- Normalna temperatura 11.

O

- Optyczna metoda pomiaru śrub 122.
- Optyczna metoda sprawdzania powierzchni 87.
- Osadzenie 71.

P

- Pasowanie 71.
- Pasowania dla stałego otworu 72.
- dla stałego wału 72.
- Płytki Johanssona 83.
- miernicze 83, 84.
- Pochylenie stożka 98.

Podoba 36, 90.
 Podoby gwintowe 130.
 Podziałka narzędzia mierniczego
 23, 37, 40.

Pomiar — błędy 9.
 — niedokładności 9, 13.
 — głębokości 58.
 — grubości papieru, papy,
 skóry 57.
 — kątów 106, 114.
 — śrub 116, 120, 121, 123, 126.
 — stożków 93, 101.
 — wewnętrzny (prześwitu)
 26, 58, 59.
 — wysokości 46, 58.
 — żłobka 50.

Pomocnicze narzędzia miernicze
 23, 24.

Powierzchnia — sprawdzanie 64.
 Poziomnica 109.

— do mierzenia kątów 114.
 — ramowa 114.
 — węzowa 115.

Prążki interferencyjne 18, 87.

Pręcikowe sprawdziany różnicowe 79.

Profil gwintu 117, 128.

Promieniowe wzorce 93.

Prototyp metra 9.

Przeciwsprawdzian 82.

Przenoszenie wymiarów 28.

Przymiar przesuwkowy 39.

— przesuwkowy do mierze-
 nia głębokości 50.
 — przesuwkowy do mierze-
 nia grubości zębów 47.
 — przesuwkowy do mierze-
 nia wysokości 46.
 — słupkowy 32.

Przyrząd do pomiaru stożków 96.

R

Regulacja drobnomierza 54.

Rodzaje osadzenia 71.

— pasowania 71.

Równia optyczna 87.

Rylec 29, 31.

S

Sinus 99.

Skok śruby 117, 126.

Skośnica podwójna 108.

— pojedyncza 108.

Skróty rodzajów pasowania 76.

Sprawdzanie miar 14.

Sprawdzanie płytek Johanssona
 85, 87.

Sprawdzanie powierzchni 64, 92.

— powierzchni stożka 102.

— poziomnicy 110.

— profilu gwintu 128.

— śruby 117.

— węgielnicy 107.

— wzorca pocisku 91.

Sprawdzian kabłakowy 68, 77.

— kątowny 108.

— krańcowy 70, 77.

— łopatkowy 68, 77.

— normalny 65.

— pierścieniowy 66.

— pręcikowy 69.

— różnicowy 70, 77.

— różnicowy — nastawial-
 ny 79.

— różnicowy — podwójny
 78.

— różnicowy — pręcikowy
 79.

— różnicowy z czujnikiem
 80.

— stożkowy 94.

— szczękowy 68, 77.

— tłoczkowy 66, 77.

— tolerancyjny 70, 77.

Średnica rdzenia śruby 117.

— zewnętrzna śruby 117.

— boków śruby 117.

Śruba — kąt wierchołkowy 117.

— mierzenie 116.

— niedokładność 118.

— normalizowana 120.

Śruba skok 117, 126.
 — średnica boków 117, 123.
 — średnica rdzenia 117, 121.
 — średnica zewn. 117, 120.
 Stożek — mierzenie 93, 101.
 — pochylenie 98.
 Światło — teoria falowa 17.
 Szablon 36.
 Szablon stożkowy 104.
 System wymiarów krańcow. 70.

T

Tabelka do pomiaru grubości zębów 49.
 Tangens 99.
 Taśmówka 39.
 Temperatura normalna 11.
 — pomiaru 11.
 Teoria falowa światła 7.
 Tolerancja 71.
 — dla śrub 119.
 Trwałość narzędzia mierniczego 23.
 Trygonometryczna funkcja 99.

U.

Układ pasowań dla stałego otworu 72, 74.
 Układ pasowań dla stałego wału 72, 73.

W

Węgielnica 106.
 — dwustronna 106.
 — normalna 106.
 — przylgowa 106.
 — sprawdzanie 107.
 Wpływ temperatury na pomiar 11
 Względna niedokładność pomiaru 10.
 Wzorce 36, 90, 91, 93.
 Wzorzec metra 9.
 — pocisku 91.
 — promieniowy 93.
 — stożkowy 104.
 Wymiary graniczne 71.
 — krańcowe 70, 71.
 Wymiar nominalny 71.
 Wyrób wzorców 90.
 Wysokość — mierzenie 46, 58.

Z

Zastosowania czujników 63; 80.
 — drobnomierzy 56.
 — płytek Johanssona 84.
 — przymiarów przesuwkowych 46.
 Zestawienie skrótów rodzajów pasowań 76.

Ż, ż.

Żłobek — pomiar 50.
 Źródła błędów pomiaru 10.



SCHNETZLER-J. SAMIEC:

DOŚWIADCZENIA ELEKTROTECHNICZNE

Wskazówki do wykonywania doświadczeń i sporządzania przyrządów. — 392 stron druku z 268 rysunkami w tekście. — Oprawa w płótno. — Cena 10 zł.

SCHNETZLER-SZYDELSKI:

Młody Konstruktor Maszyn.

Zasady budowy maszyn oraz podręcznik do budowy modeli. — Objętość dzieła 320 str. z 370 ilustr. w tekście. — Okładka w 6 kolorach. — Oprawa kartonowa, grzbiet płócienny. — Cena 7 złotych.

SCHNETZLER-GIESZCZYKIEWICZ:

TECHNIK DOMOWY.

Podręcznik dla amatorów rzemiosła. — 328 str. z 409 rys. w tekście. — Okładka w 7 kolorach, oprawa kartonowa, grzbiet płócienny. — Cena 7 złotych.

Dr. K. SIMM:

MUZEUM PRZYRODNICZE.

Wskazówki do sporządzania i konserwowania zbiorów przyrodniczych. — 160 stron z 162 ilustr. w tekście. — Okładka w 2 kolorach. — Oprawa kartonowa, grzbiet płócienny. — Cena 3 złote.

Dr. O. NOTHDURFT — P. HECZKO — BR. DUCHOWICZ:

Doświadczenia chemiczne

Praktyczny podręcznik do studjum chemji na podstawie łatwych doświadczeń. — Objętość dzieła 320 str. z 152 rysunkami w tekście. — Oprawa płócienna. — Cena 8 zł.

KERN-SZYDELSKI:

Majster do wszystkiego.

Przewodnik do robót amatorskich w wolnych chwilach. Objętość dzieła 300 stron z 440 rys. w tekście. — Oprawa w płótno. — Cena 8 złotych.

