

ROZDZIAŁ VI

MASZYNY MIERNICZE I PODZIAŁOWE

Maszynami mierniczemi nazywamy przyrządy, służące do sprawdzania większych miar końcówkowych, sprawdzianów trzpieniowych i innych z dużą dokładnością. Od komparatorów różnią się one tem, że wzorzec, najczęściej kreskowy, stanowi całość z maszyną. Jeśli z tego ostatniego względu można przeprowadzić zasadniczą różnicę pomiędzy komparatorem a maszyną mierniczą, o tyle z punktu widzenia użyteczności praktycznej ten podział niema tak wielkiego znaczenia, jakby się tego można spodziewać.

W rozdziale niniejszym uwzględnimy, poza opisem właściwych maszyn mierniczych, niektóre komparatory, wyróżniające się celowością budowy, pewnością działania i uniwersalnością. Będzie to miało na celu przedstawienie kilku przykładów udatnego skojarzenia prostych elementów mierniczych w celu osiągnięcia tych czy innych zamierzonych celów. Pole do twórczości w dziedzinie maszyn mierniczych, komparatorów i specjalnych przyrządów jest bardzo duże ze względu na najróżnorodniejsze potrzeby i możność wyboru najrozmaitszych metod. Rozdział niniejszy ma na celu zapoznanie z istniejącymi konstrukcjami, i dlatego nie przeprowadzamy w nim ścisłej klasyfikacji, zwracając uwagę głównie na stronę konstrukcyjną. Poza maszynami mierniczemi podajemy przy końcu opis maszyn podziałowych, stanowiących niezbędne uzupełnienie techniki metrologicznej.

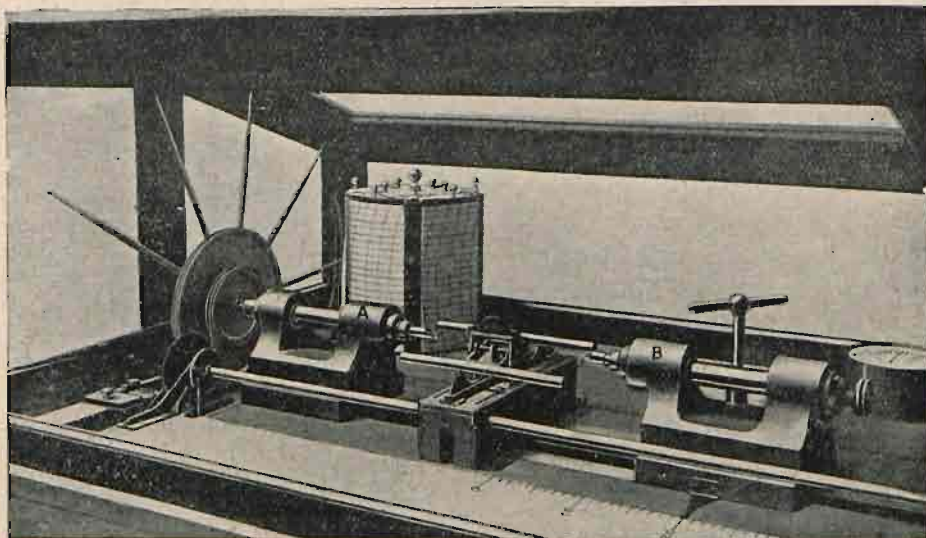
38. SAMOREJESTRUJĄCY KOMPARATOR HARTMANN'A.

W r. 1894 kierownik pracowni precyzyjnej przy sekcji technicznej artylerji francuskiej, płk. L. Hartmann, obmyślił i wykonał samorejestrujący komparator do wzorców końcówkowych. Przyrząd powyższy, zasługujący na uwagę ze względu na swe właściwości konstrukcyjne, znalazł rozpowszechnienie nie tylko we Francji, ale i zagranicą, i jest używany po dziś dzień. W zasadzie jest to duży mikrometr o tak odrębnej jednak budowie i tylu pomysłowych urządzeniach, że nie przypomina on w niczem swego pierwowzoru. Na całość komparatora składa się część miernicza, rejestrująca, silnikowa i nawrotnicowa.

Na urządzenie miernicze składa się łożo, i dwie głowice: nieruchoma *A* i ruchoma *B* (rys. 129). W głowicy *A* jest osadzona długa tuleja, zaopatrzona w nakrętkę, przez którą przechodzi śruba o lewym gwincie, której skok wynosi 1 mm. Śruba ta jest stale dopychana w kierunku poosiowym za pośrednictwem ciężarku *c*, wynoszącego 40 gr, działającego na obwód tarczy *T* (rys. 130) o średnicy 200 mm, zaklinowanej bezpośrednio na śrubie mikrometrycznej. Śruby nie dotykają się bezpośrednio

mierzonego wzorca, działając na tłoczki dotykowe z wpustami, uniemożliwiającymi ich obrót. Przesuw śruby mikrometrycznej jest ograniczony do $2,5\text{ mm}$, przyczem przy pomiarach jest używany ten sam stale odcinek śruby. Głowica ruchoma jest zbudowana podobnie, jak i stała, lecz śrubę obraca się zapomocą kółka moletowanego, nastawiając tłoczek dotykowy szybko względem wzorca.

Urządzenie samorejestrujące stanowi przede wszystkim tarcza T z dziesięcioma wskazówkami W , z których na rys. 130 nakreślono tylko dwie.



Rys. 129. Samorejestrujący komparator Hartmann'a

Są one numerowane w porządku odwrotnym strzałki zegara. Na końcu wskazówek znajdują się stalowe hartowane punktaczki, rozstawione równomiernie na obwodzie koła długości 2.000 mm . Bęben B jest podzielony na pięć sektorów, do których jest przymocowane pięć arkusików indykatorowych. Kreski poziome na arkusikach znajdują się w odległości co 2 mm i są numerowane od dołu do góry. Odpowiednio do tego, przesuwowi śruby mikrometrycznej, wynoszącemu $1\text{ }\mu$, odpowiada przesunięcie 2 mm na obwodzie punktaczek stalowych.

Bęben jest umiejscowiony zapomocą górnego storcowego łożyska. Od spodu działa nań mała tarczka napędowa, wyklejona sukniem. Nacisk na tarczkę można regulować zapomocą nakrętki górnej.

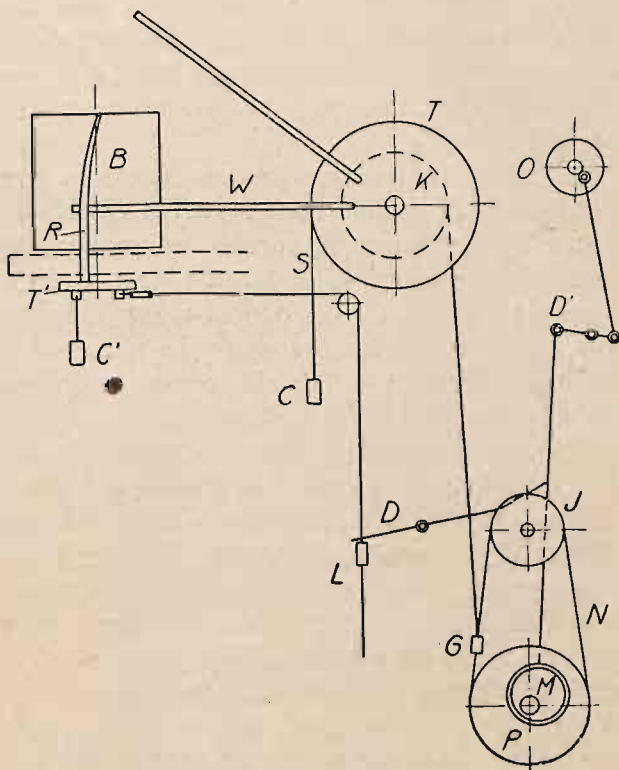
Urządzenie samozapisujące polega na przyciskaniu zapomocą pałeczki R wskazówki W . Pałeczek jest przymocowany do tarczki T' , złączonej z drążkiem D , który zaczyna się przesuwować w chwili, gdy guzik

na pasku napędowym, o którym będzie mowa poniżej, dojdzie do górnego kresu swego skoku. Do pierwotnego swego położenia pałączek jest sprowadzany zapomocą przeciwcieżarka C' . Ruch pałączka w kierunku bębna wywołuje za pośrednictwem grzechołki niewielki obrót bębna. Ruch w tył jest przytem niemożliwy, wskutek działania niewielkich sprężynek, lub szczoteczek, działających na karby wewnętrznej tarczki napędowej bębna.

Komparator jest wprawiany w ruch zapomocą silnika elektrycznego. Specjalny wyłącznik włącza silnik, wprzega i wyprzega urządzenia samorzapiskujące. Z chwilą zatrzymania się silnika wyłącza się wszystkie mechanizmy. Wałek napędowy z kółkiem pasowym P robi 3 obr./min. Kółko jałowe J , które może zmieniać swą odległość od kółka P , otrzymuje napęd za pośrednictwem pasa N . Pasek powyższy jest zaopatrzony w guzik G , połą-

czony bezpośrednio z kółkiem K na tarczy T za pośrednictwem nierozciągliwej nici. Jeśli silnik obraca się równomiernie, to i guzik G , a wraz z nim i śruba mikrometryczna przesuwa się równomiernie. Gdy guzik dojdzie do swego górnego położenia, podnosi on drążek D , którego koniec pociąga sznurek, działający na urządzenie zapisujące, jeśli jest ono włączone.

Urządzenie nawrotnicowe ma za zadanie podstawić naprzemian przedmiot mierzony, lub porównywany z nim wzorzec, pomiędzy tłoczki dotykowe. Pomiędzy głowicami widzimy suporcik ze skrzynką, przez którą przechodzi wałek, otrzymujący obrót tam i zpowrotem. W tym celu na końcu tego wałka jest zaklinowana tarczka mimośrodowa, która za pośrednictwem dwóch drążków otrzymuje ruch wahadłowy od mimośrodów M na tarczce, osadzonej luźno na wałku silnikowym. Skrzynka suporcikowa



Rys. 130. Schemat komparatora

zawiera układ drążków, podstawiających naprzemian przedmiot mierzony i wzorzec.

Działanie komparatora przedstawia się w sposób następujący:

Wyobraźmy sobie, że śruba mikrometryczna jest wykręcona zupełnie, że guzik znajduje się na samym dole, że jeden z wzorców znajduje się pomiędzy tłoczkami dotykowymi, zaś drugi jest podtrzymywany przez suporcik, wprawiany w ruch przez urządzenie nawrotnicowe, znajdujące się przy końcu swego skoku. Włączamy w ruch silnik i urządzenie samorzapiujące.

Podczas pierwszego okresu działania ciężarek opuszcza się ze stałą prędkością na skutek ruchu guzika G . Równocześnie z tem obraca się tarcza T i przesuwa się śruba mikrometryczna. Z chwilą gdy tłoczek oprze się o przedmiot, ciężarek C jest unieruchomiony, i sznurek S zatrzymuje się. Guzik G podnosi się w dalszym ciągu, przybywa wkrótce do wierzchołka kółka pasowego J i podnosi drążek przyrządu samorzapiującego. Wskazówka, znajdująca się naprzeciwko bębna, który obraca się wówczas o jeden ząbek, wybija punkt na papierze.

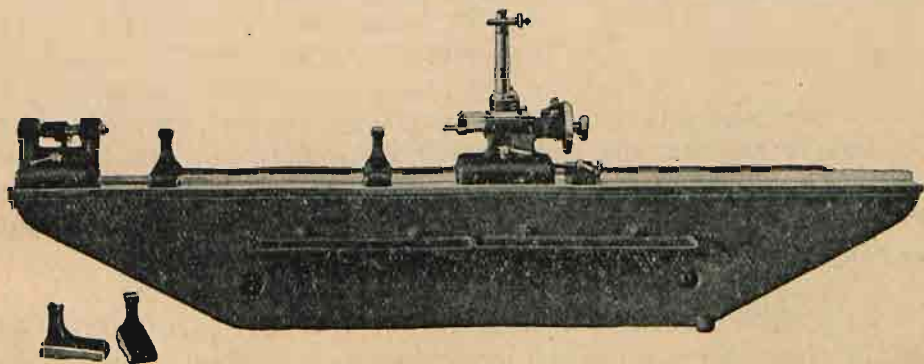
Podczas drugiego okresu guzik G opuszcza się w dół po prawej stronie kółek pasowych. W pewnej chwili wywołuje on pociągnięcie sznurka, działającego na kółko K , wskutek czego śruba mikrometryczna odkręci się i podniesie ciężarek C . Po dojściu do swego najniższego położenia, guzik G obraca o pół obrotu mimośród, odsuwając płaską sprężynkę, nie zaznaczoną na rys. 130, która unieruchamia mimośród i wywołuje tym sposobem ruch mechanizmu i zamianę wzorców pomiędzy tłoczkami dotykowymi. Ruch jednostajny trwa w dalszym ciągu, przechodząc przez poszczególne fazy, odpowiadające pełnemu obrotowi guzika G . Rejestracja pomiarów polega na otrzymywaniu co minutę punktu na bębnie w założeniu, że kółko jałowe znajduje się w położeniu najwyższem. Jeśli opuścimy go na dół, okres cyklu zmniejszy się. Wskutek obracania się bębna rejestrującego na ten sam kąt w stosunku do kolejnych cykli, zbiór punktów, odpowiadających każdemu wzorcowi, tworzy wyraźną krzywą. Jeśli temperatura wzorców jest ta sama, co i otoczenia, krzywe stają się prostymi poziomymi. Średnia odległość pomiędzy krzywami, wyrażona w podziałkach arkusików indykatorowych, odpowiada różnicy długości obu wzorców, wyrażonych w mikronach.

Jak widzimy komparator Hartmann'a różni się zasadniczo od innych, dzięki zautomatyzowaniu obsługi, przemienności i wielokrotności pomiarów i rejestrowaniu samoczynnem wyników. Ciśnienie, wywierane na wzorcu, jest duże i wynosi około $4,5\text{ kg}$; jest ono jednak zato stałe. Na komparatorze Hartmanna można porównywać wzorce, różniące się pomiędzy sobą co najwyżej o 1 mm . Zakres zastosowań dotyczy masowego sprawdzania, a raczej porównywania wzorców roboczych z etalonem.

39. MASZYNA MIERNICZA PRATT-WHITNEY'A. Większość t. zw. maszyn mierniczych, stosowanych w przemyśle, a wyrabianych przeważnie przez wytwórnie niemieckie, są to zwykłe komparatory, zaopatrzone w czujniki mechaniczne, przeponkowe i inne. Budowane przez konstruktorów, nie posiadających dostatecznej kultury naukowej, nie dają one nigdy reklamowanej dokładności. W konstrukcji tych maszyn widzimy zwykle cały szereg błędów, wyrażających się w zbytniem skomplikowaniu czujników mechanicznych, zbyt dużych naciskach, tarciach i t. p. Nieodzownym ich dopełnieniem jest komplet wzorców, najczęściej płytek Johanson'a, co czyni iluzoryczną taniość zachwalanej maszyny. W wielu razach zakup komparatora omawianego typu jest rzeczą zbędną, gdyż do celów przemysłowych wystarcza w tych razach dobry mikrometr postumentowy, np. Pratt-Whitney'a lub Société G  nevoise.

W praktyce metrologicznej, tak laboratoryjnej jak i przemysłowej, zasłużoną popularność zdobyła sobie maszyna miernicza amerykańskiej wytwórni Pratt-Whitney. Posiada ona przytem historyczne znaczenie, stanowiąc najpoważniejszy etap ewolucji maszyny mierniczej od czasów Whithwortha. Pierwszy model maszyny Pratt-Whitney'a zbudowany został na podstawie projektu astronoma Rogers'a, prof. uniwersytetu Harvard'skiego i inż. G. Bond'a.

Współczesna maszyna miernicza Pratt-Whitney'a (rys. 131) składa się z łoża z prowadnicami i z dwóch głowic: ruchomej i nieruchomej.

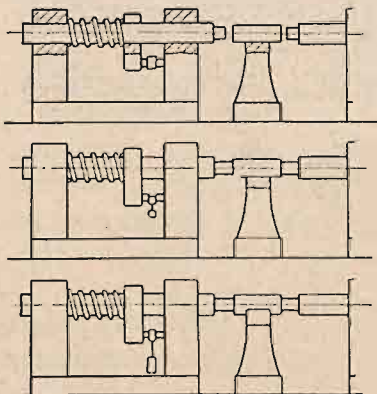


Rys. 131. Maszyna miernicza Pratt-Whitney'a

W głowicy ruchomej osadzone jest wrzeciono mikrometryczne, przesuwające trzpień, opierający się o mierzony przedmiot. Na wrzecionie mikrometrycznym zamocowana jest tarczka podziałowa, umożliwiającą odczytywanie z dokładnością, sięgającą części mikrona. Do tej głowicy ruchomej przymocowany jest ponadto mikroskop, który, przesuwając się wraz z głowicą ponad bardzo dokładną miarą kreskową, daje możliwość, dzięki obecności okularu mikroskopowego, dokonać pomiaru wzorca końcówko-

wego bez posilkowania się innym etalonem końcówkowym. Wobec tego, że wzorzec kreskowy przechowuje się na maszynie, przy starannem się z nią obchodzeniu, można powiedzieć wiecznie, przeto pewność pomiaru staje się oczywistą. Rzecz prosta, że maszyna miernicza może służyć jako komparator końcówkowy, i w tym celu posiada ona bardzo pomysły czujnik cierny, przedstawiony na rys. 132.

Przedmiot mierzony zaciska się w kowadełkach. Trzpień głowicy nieruchomej przesuwają się wzdłuż osi i jest dociskany do przedmiotu zapomocą sprężyny. Aby nacisk trzpienia na przedmiot był stale jednaki w chwili odczytywania na skali, głowica nieruchoma posiada



Rys. 132. Czujnik cierny

następujące urządzenie: Do trzpienia jest przymocowany mały opornik. Pomiędzy ten opornik, a inny nieruchomy, wkłada się małą płytkę z rękojeścią. Nacisk sprężyny jest tak unormowany, że płytka nie może wypaść z oporników, a nawet obrócić się około punktu zaciśnięcia, choć posiada w tym kierunku dążność, wskutek umieszczenia rękojeści w położeniu poziomem. Gdy przedmiot mierzony zostanie cokolwiek dopchnięty za pośrednictwem śruby mikrometrycznej, płytka zostaje zluzowana i pod działaniem ciężaru zwieszającej się rękojeści zaczyna się obracać. Chwila powyższa świadczy o tem, że przedmiot jest zaciśnięty w trzpie-

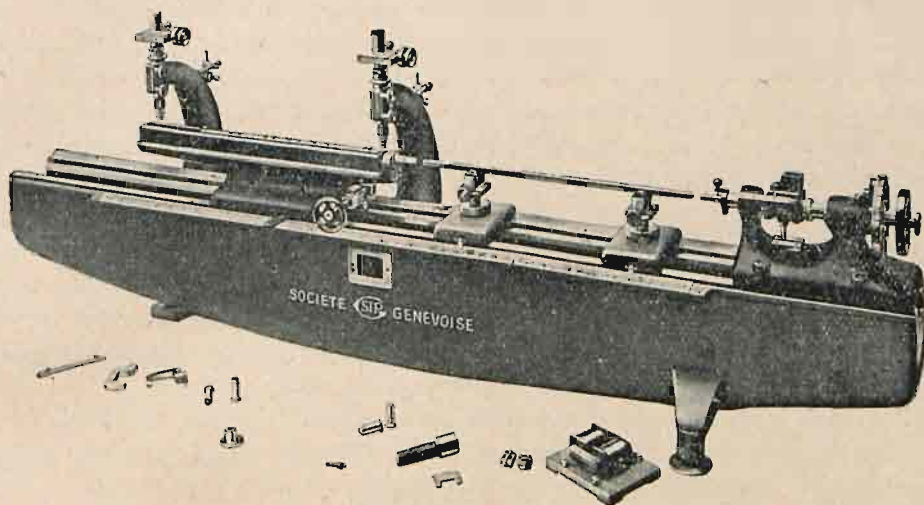
niach z określoną siłą, i że należy przystąpić do odczytywania miary.

Pomiar na maszynie mierniczej Pratt-Whitney'a nie jest kłopotliwy, trwa krótko i jest wysoce dokładny. Maszyna powyższa jest też stale używana w najpoważniejszych pracowniach metrologicznych, z wyjątkiem specjalnych pomiarów charakteru naukowego.

40. UNIWERSALNA MASZYNA MIERNICZA SOCIÉTÉ GÉNEVOISE. W praktyce metrologicznej maszyna miernicza SociÉTé GÉnevoise odgrywa tak poważną rolę, że opisowi jej i zastosowaniom poświęcimy więcej miejsca, niż innym maszynom.

Maszyna składa się z łoża z prowadnicami i dwóch głowic (rys. 133). Nieruchoma głowica posiada wrzeczono mikrometryczne z tłoczkiem dotykowym i czujnikiem dźwigienkowym (rys. 134). Na głowicy ruchomej umieszczony jest etalon kreskowy, przesuwający się pod mikroskopem z okularum mikrometrycznym. Dłuższe maszyny są zaopatrzone w dwa mikroskopy, dzięki czemu łożo wypada krótsze. Głowica konikowa (ruchoma) posiada przesuw szybki i bardzo powolny precyzyjny za po-

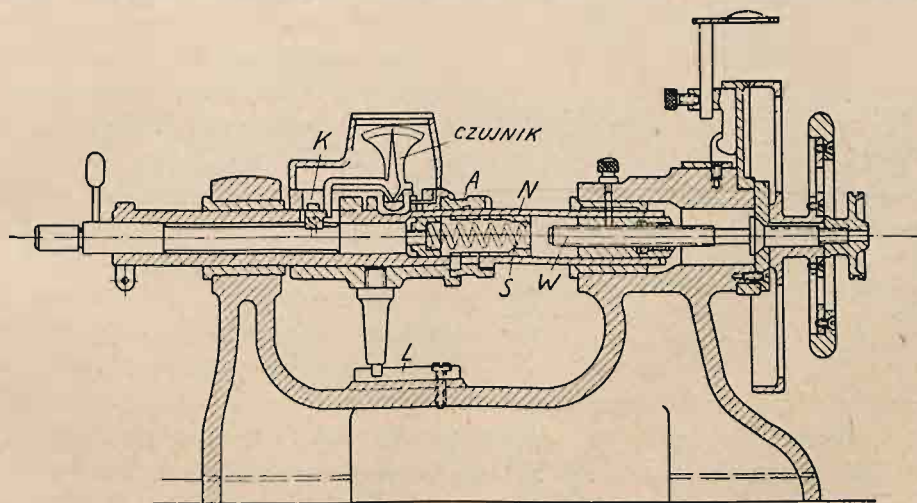
średnictwem kółka ręcznego. Bębenek na wrzecionie mikrometrycznym daje możliwość odczytywania na skali z dokładnością do $0,1 \mu$. Tłoczek dotykowy



Rys. 133. Maszyna miernicza Société Gènevoise

działa na czujnik, powiększający jego przesunięcia 1000-krotnie. Czujnik jest odwracalny i służy zarówno do pomiarów zewnętrznych, jak i wewnętrznych.

Tym sposobem pomiary mogą być uskuteczniane za pośrednictwem trzech sposobów: wrzeciona mikrometrycznego, czujnika, umożliwiającego



Rys. 134. Głowica maszyny mierniczej

bezpośrednie porównywanie dwóch niewiele różniących się między sobą wzorców, i na koniec zapomocą porównywania z etalonem kreskowym przy użyciu okularu mikrometrycznego.

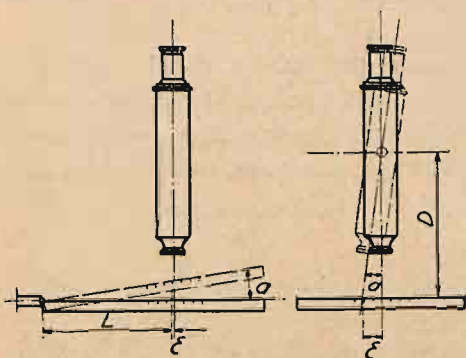
Niezależnie od tego cały szereg urządzeń dodatkowych pozwala uskuteczniać na maszynie wszystkie typowe pomiary kalibrów cylindrycznych i śrubowych.

Konstrukcję głowicy mikrometrycznej przedstawia rys. 134. Wrzeczono mikrometryczne W jest osadzone na stożek w pokrywce tylnego łożyska. Tulejka nakrętkowa N nie obraca się, a tylko przesuwą, prowadzona przez linjał L , zapewniający należyłą kompensację błędu śruby pociągowej. Wewnątrz tej tulejki przesuwą się tłoczek dotykowy, odpychany zapomocą sprężyny S . Pierścień A daje możliwość regulowania naprężenia sprężyny. Kołek K działa na ramię dwudźwigienkowego czujnika C .

Na uwagę zasługuje tu możliwość zmiany rodzaju naprężenia sprężyny, która raz odpycha, drugi raz po przekręceniu pierścienia A wciąga tłoczek dotykowy. Jest to ważny szczegół konstrukcyjny, umożliwiający przechodzenie od pomiarów zewnętrznych do wewnętrznych.

Etalon kreskowy jest wykonany z metalu speculum, używanego do wyrobu zwierciadeł teleskopowych. Daje on się doskonale polerować (por. Beilby: *Aggregation and Flow of Solids*. Macmillan, Londyn 1921).

W wykonaniu tego etalonu leży główna podstawa wartości metrologicznej maszyny. Będziemy o niej mówili w ostatnim rozdziale o wzorcach miar długości.



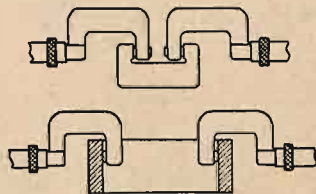
Rys. 135. Na lewo: schemat umieszczenia mikroskopu w maszynie mierniczej Société G n voise; mikroskop nieruchomy i ustawienie przedmiotu w prostej linii z wzorcem; b d = $L (1 - \cos a)$. Na prawo: mikroskop ruchomy; b d = $D \tan a$

suporcie. B d, wynikający z przekrzywienia si  mikroskopu, jest w czas pierwszego rz du, jako proporcjonalny do $D \tan a$ (rys. 135).

Na maszynie mierniczej Société G n voise¹⁾ można wykonywa  następujące pomiary: wzorców długości i długich średnicówek do cylindrów; klocków Johanson'a z p skiem końcówkami; trzpieni cylindrycznych

¹⁾ Maszyn  powo ysz  posiada G lwny Urząd Miar przy Ministerstwie Przemysłu i Handlu.

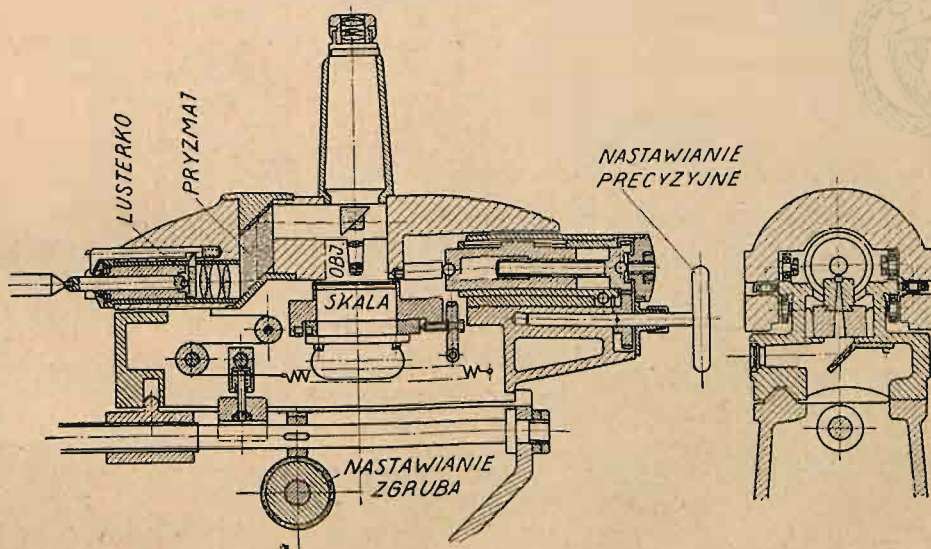
przy pomocy specjalnego suporciku, w którego ostrze zakłada się sprawdzian; sprawdzianów szczękowych; pierścieni kalibrowych (rys. 136); sprawdzianów śrubowych według metody trójdrukowej, dzięki zastosowaniu specjalnego suporciku w rodzaju tych, jakie wyrabia National Physical Laboratory, umieszczonego na prowadnicach kulkowych; pomiary kąta gwintu, dzięki zastosowaniu specjalnego mikroskopu gonjometrycznego.



Rys. 136

Do szybkich pomiarów maszyna posiada suporcik podwójny, podobny do tego, jaki widzieliśmy w komparatorze Hartmanna, jednak nie automatyczny. Przy mierzeniu dłuższych przedmiotów należy używać osłon izolacyjnych, zakładanych na łożo.

41. MASZYNA MIERNICZA ZEISSA. UNIWERSALNY KOMPARATOR WICKMAN'A. Wykonanie uniwersalnej maszyny mierniczej Société Gènevoise wymaga wielkiego zasobu doświadczenia i staranności. W praktyce przemysłowej, gdzie nie zależy na tak wielkiej precyzji pomiarowej, maszyna miernicza Pratt-Whitney'a jest w wielu razach wygodniejsza do użytku. Dą-

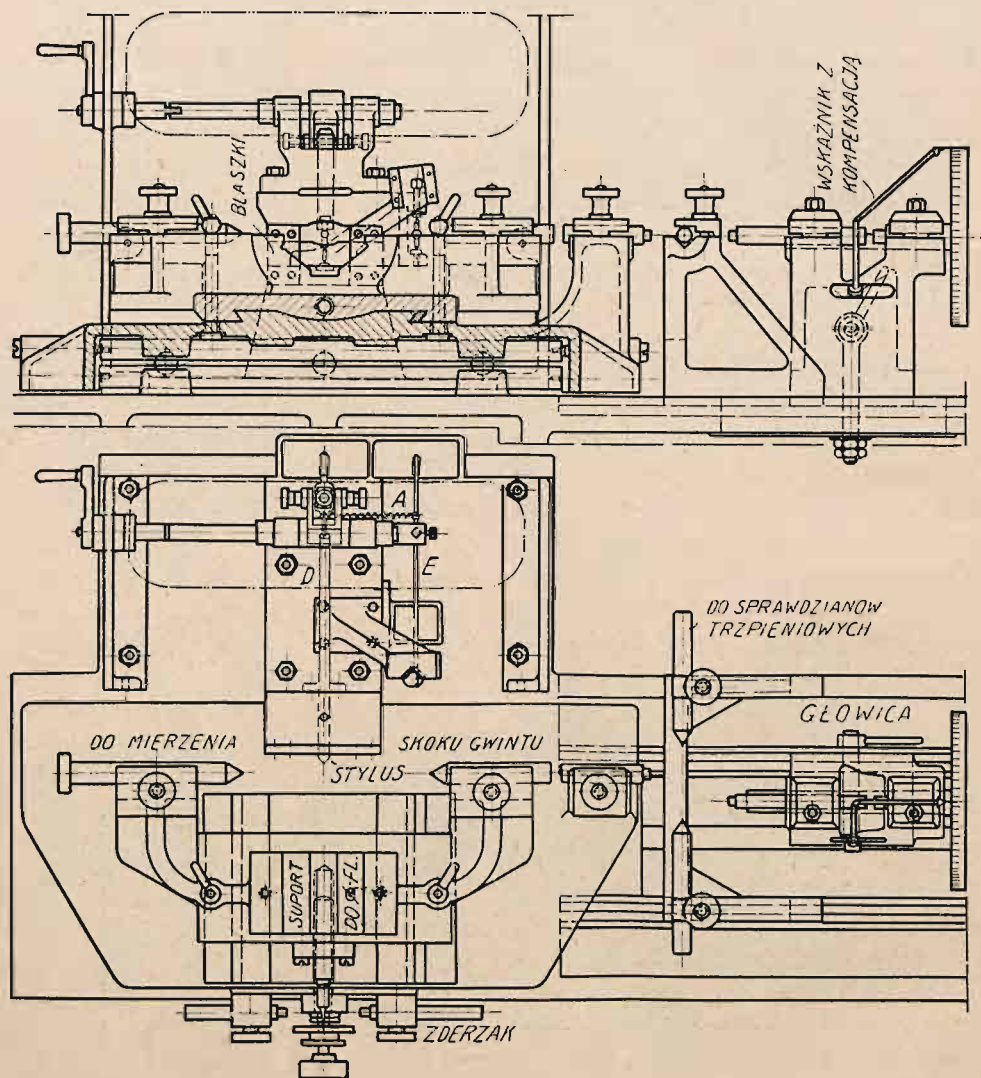


Rys. 137. Głowica maszyny mierniczej Zeiss'a

żenie do jeszcze większego uproszczenia konstrukcji wyraziło się w nowych pomysłach Société Gènevoise, Zeiss'a, oraz Axel'a G. Wickman'a. Ten ostatni zbudował uniwersalny komparator warsztatowy, w którym zastosował kilka nowych i nawskróś oryginalnych zasad. Rozwiązania konstrukcyjne

są przytem wybitnie angielskie, dzięki zastosowaniu elementów, powtarzających się stale w konstrukcjach National Physical Laboratory i innych.

Niemniej, oryginalnie pomyślany, typ maszyny mierniczej dała świeżo wytwórnia Zeissa (rys. 137). Jej cechą charakterystyczną jest pominięcie



Rys. 138. Widok z przodu i z góry maszyny mierniczej Wickman'a

całkowite śruby mikrometrycznej i zastąpienie jej przez dokładnie wykonaną podziałkę, obserwowaną przez mikroskop. Podziałka powyższa posiada długość 50 mm, odstępy międzykreskowe wynoszą 0,1 mm. Umie-

szczony w głowicy optometr daje ze swej strony wyczyty w częściach mikrona, a mianowicie odnośne odstępy międzykreskowe wynoszą $0,2 \mu$.

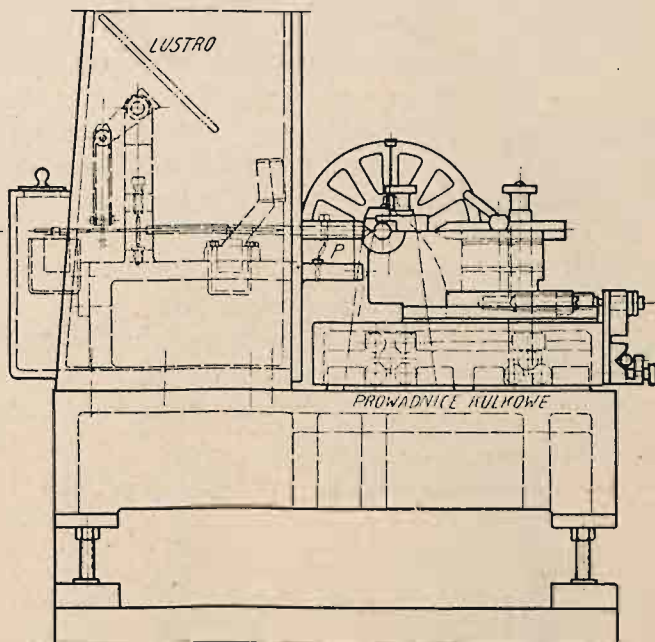
Istotną nowością w maszynie Zeiss'a jest zastosowanie wspólnego okularu dla mikroskopu i optimetru, dzięki czemu odczytujemy równocześnie liczby z obu skal. Jest to osiągnięte przez zastosowanie pryzmatów, skierowujących odpowiednio bieg promieni w optimetrze.

Guzik dotykowy głowicy jest zarazem guzikiem optimetru. Głowica przesuwa się po swej podstawie za pośrednictwem łożysk

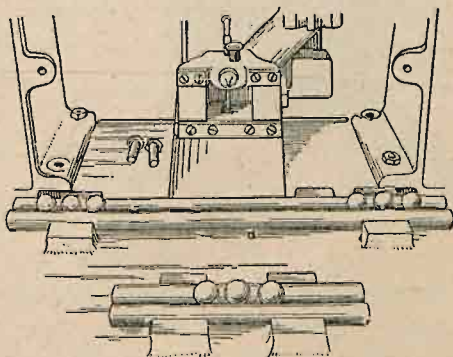
rolkowych pozornie bez najmniejszego tarcia. Guziki dotykowe są wykonane z agatu. Stołiki są regulowane i zaopatrzone w prowadnice kulkowe.

Maszyna miernicza Wickmana jest niezwykle prosta. Stanowi ją krzyżowy suport na prowadnicach kulkowych, głowica z wrzecionem mikrometrycznym i mechaniczno-optyczny czujnik. Pozatem do specjalnych pomiarów, jak np. gwintów, służą dodatkowe podtrzymki. Całość konstrukcji tem się odznacza, że poszczególne części wymagają mało starannej obróbki.

Rys. 138—141 zapoznaje nas z całością i wszystkimi szczegółami konstrukcji. Na podstawie lanej spoczywa na trzech punktach stół roboczy, obrabiany jedynie z góry. Na stole umieszczoną jest głowica z wrzecionem mikrometrycznym i sanki krzyżowe na prowadnicach kulkowych. Czujnik jest umieszczony wewnątrz pionowego pudła, w którego przedniej



Rys. 139. Widok z boku maszyny Wickman'a

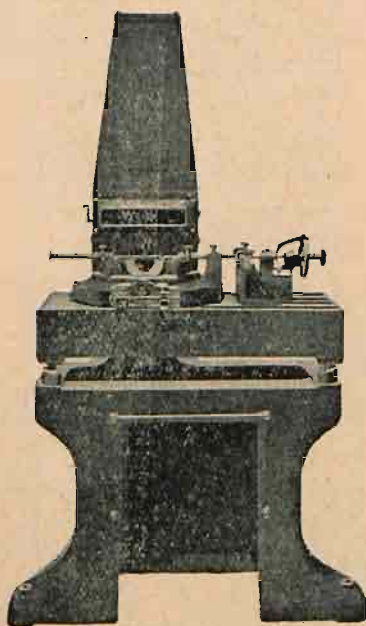


Rys. 140

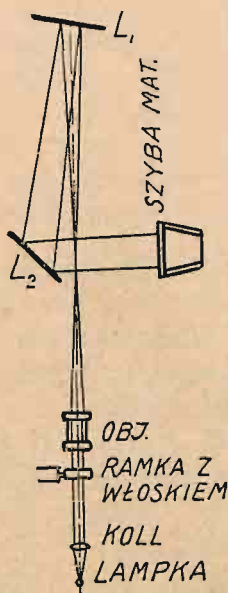
części wprawiona jest szyba matowa, gdzie ukazuje się cień włosa czujnikowego. Myśl przewodnia konstrukcji czujnika optycznego Sears'a jest tu nader wyraźna.

Rys. 142 przedstawia schemat czujnika mechaniczno-optycznego. Lampka punktowa, umieszczona wewnątrz łoża w specjalnej osłonie aluminiowej z żeberkami, rozpraszającymi ciepło, rzuca wiązkę światła równoległego zapomocą soczewki kolimatorowej na oprawkę z ramką z naciągniętym włosem. Ramka ta stanowi część składową czujnika mechanicznego, o którym będzie mowa poniżej. Po przejściu przez obiektyw projekcyjny cień włosa odbija się dwukrotnie od lustra pionowego i ukośnego i pada na szkło matowe.

Ze szczegółami mechanizmu czujnikowego zapoznaje nas rys. 138 i 143. Pierwszy z nich przedstawia guzik dotykowy czujnika. Może on pokręcać się około osi pionowej. Mianowicie pierwszy drążek z guzikiem



Rys. 141. Maszyna Wickman'a



Rys. 142

dotykowym, noszący nazwę stylusa, jest podtrzymywany przez pionowy kołek i połączony z podstawą maszyny zapomocą dwóch wstęp stalowych. Tym sposobem guzik stylusa może się dotykać np. raz prawego, to lewego flanku gwintu. Skręcanie, udzielane stylusowi, jest zasadniczym pomysłem działania komparatora. Mianowicie, dłuższe tylne ramię dźwignienki stylusowej D działa za pośrednictwem pręcika łącznikowego A i dwóch sprężyn B na krótkie ramię dźwignienki, na któ-

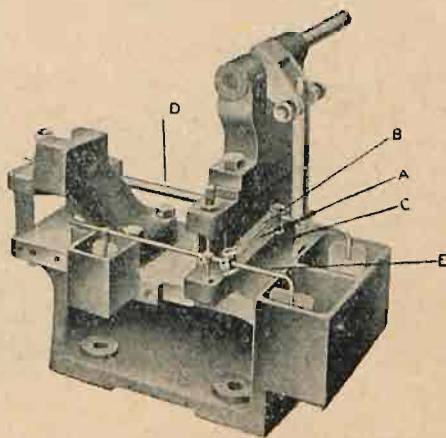
rej przymocowana jest oprawka z włosem. Łącznik $A-B$ jest nader lekki i nie daje żadnego martwego ruchu. Dźwignienka E jest osadzona w szpicach według osi pionowej i obraca się bez widocznego tarcia. Aby uniknąć wszelkich wahnięć, utrudniających pomiar, dźwignienki D i E zaopatrzone są w cieniutkie blaszki duraluminowe, zanurzone w oliwę.

Wrzeczono stanowi zwykły trzpień mikrometryczny, wbudowany w głowicę i zaopatrzony w dużej średnicy bębenek. Kompensacja błędu śruby

mikrometrycznej jest urzeczywistniona zapomocą pokręcania tarczki wskaźnikowej przez linjał prowadnikowy.

Komparator łączy w sobie konstrukcję aparatu do mierzenia skoku gwintu (rys. 88), aparatu do mierzenia średnicy flankowej (rys. 85), zwykłego komparatora z czujnikiem optycznym. Oczywiście, do pomiarów jest rzeczą niezbędną posiadać komplet klocków Johanson'a lub innych, nietylko do porównywania z mierzonemi kalibrami, ale i do ustawiania podtrzymek.

Komparator Wickman'a uwidacznia wartość praktyczną prowadnic kulkowych. Sanki główne wagi około 35 kg są pociągane przez nitkę z ciężarkiem, przerzuconym przez rolkę z siłą 40 gramów. Tym sposobem nacisk, wywierany przez śrubę mikrometryczną o średnicy tej samej, co w zwykłym mikrometrze, jest wystarczający do przesuwania ciężkich sanek, co jest wyzyskane przy większości pomiarów. Na tem właśnie polega prostota komparatora Wickmana¹⁾.



Rys. 143

42. MASZYNA MIERNICZA SHAW'A. Mówiąc o zasadniczych typach maszyn mierniczych i komparatorów, niepodobna nie wspomnieć o maszynie mierniczej, która, jakkolwiek nie zyskała szerszego rozpowszechnienia, to jednak zasługuje na uwagę ze względu na swe cenne właściwości konstrukcyjne i która posiada trwałą wartość historyczną, gdyż dała ona możność po raz pierwszy sprawdzić należycie klocki Johanson'a, które poprzednio przyczyniły wiele kłopotu pracownikom metrologicznym. Mowa tu mianowicie o maszynie mierniczej, jaką zbudował P. E. Shaw w r. 1909 w laboratorium w Teddington.

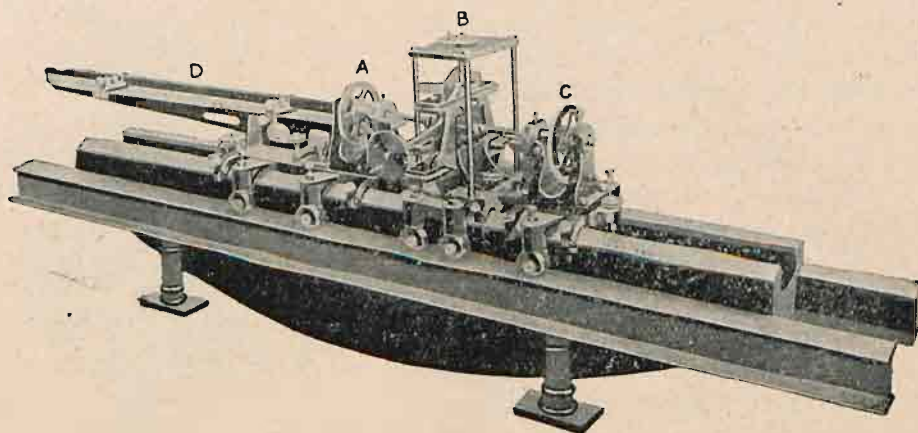
Zasadnicze nowości, wprowadzone do konstrukcji tej maszyny, polegały (rys. 144—145) na wzmocnieniu całej konstrukcji i osiągnięciu tym sposobem większej sztywności w porównaniu z konstrukcjami poprzedniami, ulepszeniu stolika roboczego do przedmiotów mierzonych, zastosowaniu specjalnych końcówek dotykowych z platynowo-irydowym przewracaczem prądu (czujnik elektryczny), przeniesieniu ciężaru suportów na boczne prowadnice, niezależne od kadłubu maszyny.

Podniętą do zbudowania tej maszyny były następujące wady komparatorów przemysłowych do wzorców końcówkowych: brak możności

¹⁾ Szczegółowy opis konstrukcji komparatora uniwersalnego Wickman'a znaleźć można w zeszycie czasopisma: Engineering Nr. 2855 z dnia 17 września 1920 r.

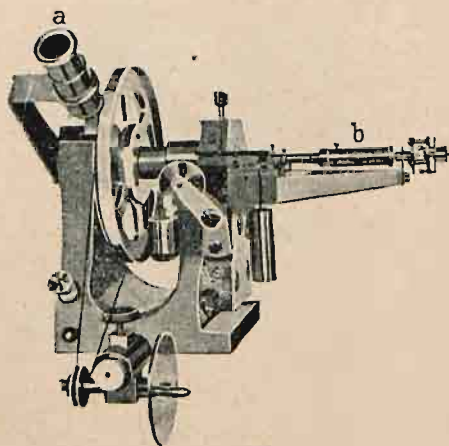
uregulowania mechanizmów i sprawdzenia błędów maszyny, jak również ustawienia wzorców ściśle w osi geometrycznej maszyny, wreszcie stosowanie zbyt dużych nacisków podczas mierzenia.

Nie wchodząc zbyt w szczegóły konstrukcji, zaznaczymy, że maszyna została zaopatrzona w dwie ruchome głowice mikrometryczne,



Rys. 144. Maszyna miernicza Shaw'a

dzięki czemu wzorzec, umieszczony pośrodku, nie był narażony wcale na ściskanie, powstające przy przesuwaniu go, wzdłuż łoża, jak w innych maszynach. Obie głowice i stolik opierają się lekko o prowadnice dzięki temu, że spoczywają częściowo na sprężynowych rolkach, biegnących po belkach bocznych. Kontakty platynowo irydowe *b* zostały specjalnie wystudjowane tak, że moment styku mógł być ściśle ustalony zapomocą słuchawki telefonicznej. Odczytywanie zapomocą mikroskopu *a* zabezpieczało ocenianie części podziałek na skali.



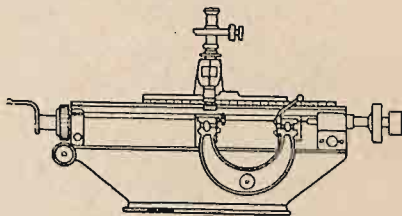
Rys. 145

Maszyna Shaw'a sprawdziła pokładane w niej nadzieje, dając możność sprawdzenia klocków Johanson'a z niepraktykowaną przedtem dokładnością, sięgającą części mikrona¹⁾. Przy jej wykonaniu zastosowano specjalne metody sprawdzania prowadnic łoża.

¹⁾ A Standard Measuring Machine. Proceedings of the Royal Society. Series A. Vol. 87 str. 385. 1912.

43. MASZYNA DO NASTAWIANIA SPRAWDZIANÓW RÓŻNICOWYCH. Z przytoczonych opisów widzimy, że poszczególne konstrukcje komparatorów i maszyn mierniczych bardzo od siebie odbiegają. Spodziewać się należy, że wiele konstrukcyj, dotychczas stosowanych, odpadnie z powodu zasadniczych wad wraz z rosnącym rozpowszechnieniem zdrowych zasad metrologii technicznej. Wiele konstrukcyj utrzyma się jednak i przystosuje do najrozmaitszych specjalnych potrzeb. W tym kierunku odbywa się obecnie ewolucja przyrządów metrologicznych.

Rys. 146 zapoznaje nas z jedną ze specjalnych maszyn mierniczych, a mianowicie do nastawiania sprawdzianów szczegółowych, konstrukcji Société G  nevoise. Jest ona wzorowana na uniwersalnej maszynie mierniczej tej  że wytwórni. Na   o   przesuwana się suport z wzorcem kreskowym. Nieruchomy mikroskop z okular  m mikrometrycznym daje możliwość odczytywania podziałki z dokładnością do dwóch mikronów. Sanki można przesuwac   szybko za pośrednictwem śruby i korbki z lewej strony łoża. Do precyzyjnego nastawiania sanek służy przekładnia ślimakowa i maśle ko    ko moletowane z tej samej strony.



Rys. 146

Z przodu maszyny znajduje się gładka powierzchni, do której zapomocą ma  łych suporcik  w przymocowuje się sprawdzian. Do zamocowania korzysta się przytem z cylindrycznej powierzchni samych wk  ladek. Wk  ladka z prawej strony sprawdziana jest przytem zaciśnięta w oprawce suporciku, za   wk  ladka z lewej strony spoczywa swobodnie w oprawce drugiego suporciku.

Nastawianie odbywa się zapomocą specjalnej dwuramiennej dźwigienki. Jedno z ramion tej dźwigienki jest zako  nczone kulka, znanej średnicy. Kulka dotyka się raz powierzchni dotykowej wk  ladki prawej, drugi raz lewej. Na drugim ramieniu dźwigienki jest umieszczony czujnik, który, o ile jest nastawiony na zero, wykazuje sta  le jednakowy nacisk kulki względem wk  ladki tak lewej, jak prawej.

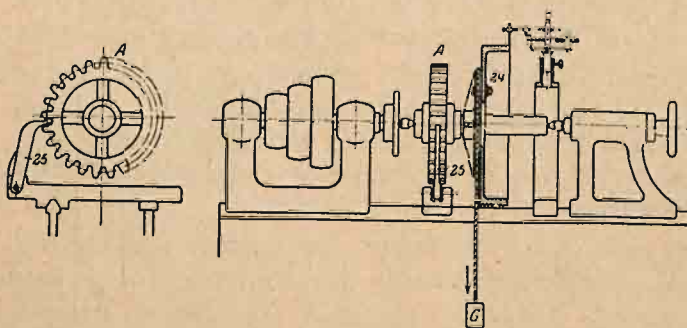
Mierzenie odbywa się tak, że suport przesuwany si   naprzód w prawo aż do chwili, gdy kulka dotknie si   wk  ladki prawej przy zerowym położeniu czujnika. Następnie przesuwany si   suport w lewo, aż kulka zajmie położenie względem wk  ladki lewej. Do przesuwu suportu dodaje się   rednic   kulki w celu otrzymania odległości między wk  ladkami.

Przy nastawianiu sprawdzianu wyznaczamy naprzód określone położenie kulki przy lewej wk  ladce i następnie przesuwamy cały pałąk

wraz z lewą wkładką za pośrednictwem dwóch współśrodkowych kółek moletowanych z prawej strony maszyny, korzystając z zamocowania wkładki prawej suporciku.

44. MIKROSKOP DO SPRAWDZANIA PODZIAŁEK KÓŁ ZĘBATYCH I TARCZ PODZIAŁOWYCH. Oddzielną grupę maszyn i przyrządów stanowią w praktyce metrologicznej maszyny do sprawdzania podziałek. Są to przeważnie komparatory, oparte na zastosowaniu mikroskopów z okulem mikrometrycznym. Służą one do sprawdzania miar geodezyjnych i etalonów kreskowych. Inną grupę stanowią maszyny podziałowe, na których wykonywa się podziałki i które z tego tytułu należałoby zaliczyć do obrabiarek. Nie byłoby to jednak rzeczą słuszną, gdyż wykonywane na nich roboty są zbyt specjalne i zbyt ściśle związane z techniką metrologiczną. Ponadto na maszynach podziałowych bardzo często możemy sprawdzić podziałkę tak, że dana maszyna stanowi, ściśle biorąc, komparator. To samo w ostatnich czasach tyczy się maszyn do wiercenia szablonów, które są zaopatrzone w urządzenia kompensacyjne do śrub pociągowych, w urządzenia do sprawdzania ich dokładności zapomocą etalonów kreskowych i t. p. Odgrywają one wielką rolę przy wykonywaniu przyrządów precyzyjnych i dlatego omówimy je przy końcu rozdziału.

Jedną z maszyn specjalnych, które służą wyłącznie do sprawdzania, a nie wykonywania podziałek, jest mikroskop Zeiss'a. Służy on do sprawdzania podziałek kół zębatach, tarcz podziałowych, frezarek i t. p. Ponieważ bezpośrednie sprawdzenie tych podziałek jest połączone z wielkimi trudnościami, przeto w metodzie Zeiss'a zastosowane zostało odwzorowanie tej podziałki na specjalnym bębnie, który następnie podlega sprawdzaniu zapomocą mi-



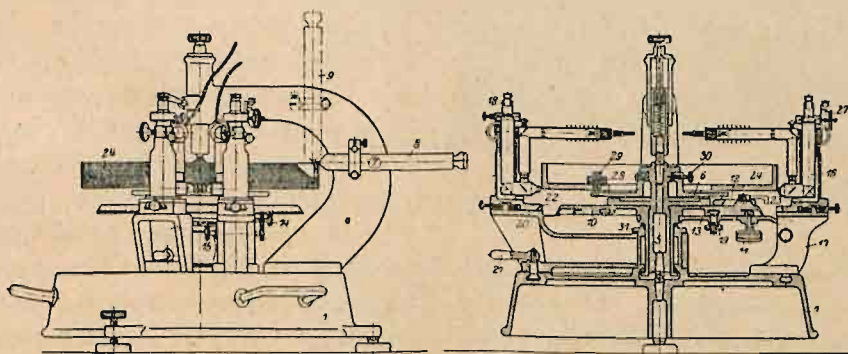
Rys. 147

skopu mikrometrycznego. Owe przeniesienie podziałki ze sprawdzanego przedmiotu na bęben odbywa się na prostym przyrządzie pomocniczym, którym może być zwykła tokarka warsztatowa (rys. 147). Mianowicie badane koło zębate A osadza się na wspólnym trzpieniu z bęb-
nem 24 i zapomocą niewielkiego suportu ryśnikowego nacina się podziałkę na bębnie. Rzecz prosta, że tym sposobem przenosi się na podziałki bębna wszelkie możliwe błędy podziału koła zębatego.

nowicie badane koło zębate A osadza się na wspólnym trzpieniu z bęb-
nem 24 i zapomocą niewielkiego suportu ryśnikowego nacina się podziałkę na bębnie. Rzecz prosta, że tym sposobem przenosi się na podziałki bębna wszelkie możliwe błędy podziału koła zębatego.

Sam przyrząd ¹⁾ (rys. 148) składa się z podstawy z ramieniem, stanowiącym górną podtrzymkę dla sprawdzanego bębna. Pomiedzy podstawą a podtrzymką znajduje się wrzeciono 5 z szyjkami stożkowymi i kulkami oporowymi po obu końcach. Do tarczy 6 przymocowywa się zapomocą śrubek 28 i 29 bęben 24. Aby omawiany bęben mógł służyć na większą liczbę pomiarów, jego obwód jest podzielony na 15 pasków. Z chwilą, gdy dana podziałka staje się zbyt cieniutką, można dany pasek cylindryczny zeszlifować w celu użycia go do następnego podziału. Należy zaznaczyć, że ryśnik daje nader cienkie kreseczki. Do ustawiania bębna względem wrzeciona służy czujnik 7, który zajmuje raz położenie 8, drugi raz 9.

Ustawienie podziałki bębna w polu widzenia mikroskopu odbywa się zgruba zapomocą kółka zębatego 11, będącego we chwycie z wieńcem



Rys. 148. Przyrząd Zeiss'a do sprawdzania podziałek kół zębatych

zębatym 10, zaś precyzyjnie zapomocą kółek moletowanych 14 i 15, działających za pośrednictwem długiej dźwigienki 13. Tarczka 10 posiada niezależne wrzeciono, w którym osadzone jest dopiero wrzeciono 5. Oba wrzeciona można sprząć zapomocą rygla 12.

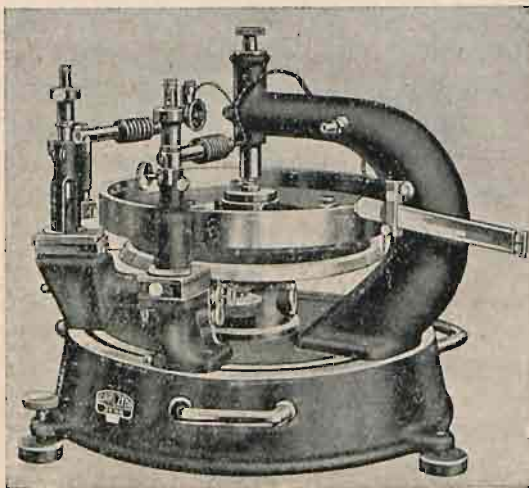
Pomiar kolejnych podziałek uskutecznia się zapomocą dwóch mikrometrów 16 i 18, z których jeden umieszczony jest na stojaczku 17, zaś drugi 18 obraca się wraz z wrzecionem. Stały mikroskop jest zaopatrzony w okular mikrometryczny 27 z obszarem pomiarowym 10'. Mikrometr okularowy posiada podziałkę mikronową, zaś średnica bębna jest tak dobrana, że odosny odstęp na bębnie wynosi 1''. Tak więc odczytujemy zapomocą mikroskopu błędy w sekundach, a nawet częściach sekundy. Aby ustawić mikroskopy na sam środek kresiek w polu widzenia, spostrzegamy stałe ryski wskaźnikowe. Pomiar polega na ścisłym uzgodnieniu ryski wskaźnikowej z kreską na bębnie 24 i na określonym ustawieniu

¹⁾ Posiada go laboratorium metrologii technicznej politechniki warszawskiej.

ruchomej skali okularowej mikroskopu nieruchomego. Mikroskop ruchomy tak się ustawia, by jego ryska zgodziła się z kolejną kreską bębna. Zaraz

potem nastawiamy w polu widzenia mikroskopu ruchomego następną kreskę bębna. W mikroskopie stałym mamy możliwość ocenienia odnośnego błędu zapomocą przesunięcia skali okularowej.

Tym sposobem nie mierzymy kąta badanej podziałki, lecz wyznaczamy odnośne błędy podziałki w sekundach dodatnich i ujemnych względem pierwszej podziałki bębna. Rzecz prosta, że można tym sposobem określić wartości średnie i odchylenia od niej jako błędy odnośne. Rys. 149



Rys. 149. Przyrząd do kół zębatych

zapoznaje nas z całością przy-

rzędu. Jak widzimy z opisu, przyrząd ten uwzględnia potrzeby przemysłowe.

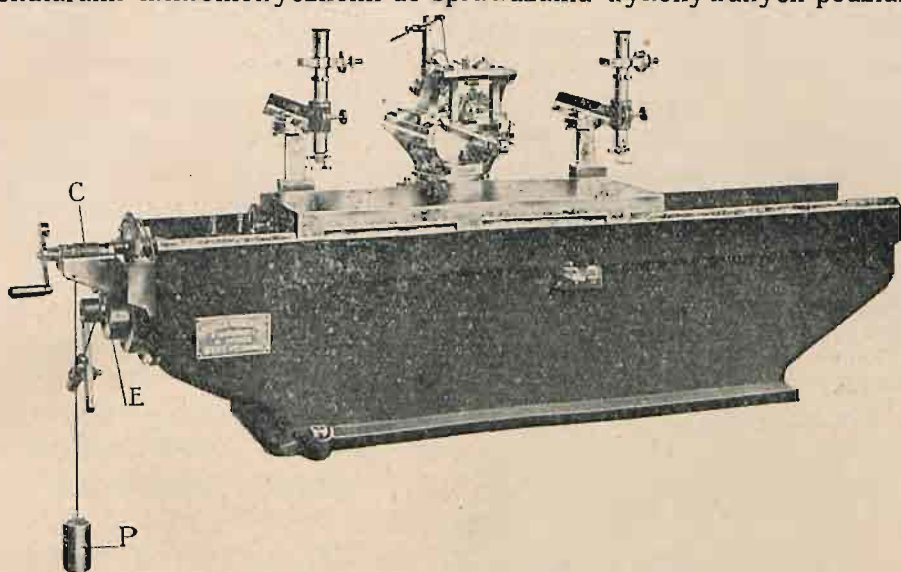
Do oświetlenia pola mikroskopowego służą niskowoltowe żarówki, umieszczone dość daleko od tubusów mikroskopowych w celu uniknięcia zmian temperatury. Promienie są przytem dwukrotnie odbite zapomocą szkiełek mikroskopowych.

45. MASZYNY PODZIAŁOWE. Używane w praktyce maszyny podziałowe można podzielić na dwie kategorie: maszyny warsztatowe, pozwalające wykonywać mniej dokładne podziałki i nieco grubsze kreski, lecz za to bardziej wydajne, i maszyny laboratoryjne, dające bez porównania większą dokładność i stanowiące do pewnego stopnia samodzielne komparatory kreskowe. Grubość kresek, wykonywanych przez maszyny typu przemysłowego wynosi około $0,1\text{ mm}$, typu laboratoryjnego około $0,05\text{ mm}$, a specjalnych maszyn zaopatrzonych w mikroskopy i przeznaczonych do bardzo subtelnych podziałek od 2 do $15\text{ }\mu$. Błędy podziałki, wykonywanej przez maszyny ostatniego typu, wynoszą mniej od $2\text{ }\mu$. W opisie uwzględnimy jedynie maszyny podziałowe wysokoprecyzyjne, pominiemy natomiast prostsze maszyny warsztatowe, zbliżające się pod względem konstrukcji raczej do obrabiarek.

Rys. 150 przedstawia maszynę podziałową w wykonaniu Société Gènevoise z przesuwem automatycznym. Na masywnym łożu spoczywają

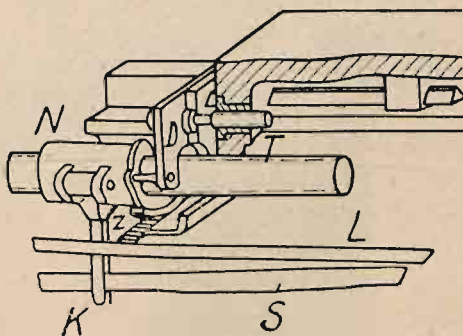
sanie, przesuwane za pośrednictwem śruby mikrometrycznej. Z boku są

umieszczony jest suport ryśnikowy i dwa mikroskopy obserwacyjne z okularami mikrometrycznymi do sprawdzania wykonywanych podziałek.



Rys. 150. Maszyna podziałowa Société Gènevoise

Nie podajemy opisu mechanizmu, ograniczającego skok ryśnika i intensywność skrawania. Podobnie nie wchodzimy w szczegóły mechanizmu napędowego, który zresztą nie przedstawia nic specjalnie nowego, stanowi go bowiem koło zapadkowe z precyzyjnie działającymi zderzakami, umieszczającymi sanki w określonym położeniu. Napęd może być ręczny za pomocą korbki z lewej strony łoża, lub też mechaniczny za pośrednictwem tarczki mimośrodowej *E*, działającej na sznurek, nawijany na bębenek *C*. Odwijanie sznurka odbywa się za pomocą ciężarku *P*.



Rys. 151

Istotnie charakterystyczne dla danej maszyny mechanizmy są przedstawione na rys. 151. Służą one do poprawiania błędów śruby pociągowej i do kompensowania temperatury w celu sprowadzenia miary do temperatury zasadniczej np. 0°C .

Błędy śruby pociągowej usuwa pokręcenie nakrętki pociągowej *N* za pośrednictwem kołka *K*, prowadzonego przez szablon *S* z cienkiej blachy stalowej. Mechanizm do kompensowania temperatury jest bardziej skomplikowany. Mianowicie, nakrętka pociągowa *N* jest połączona z sankami

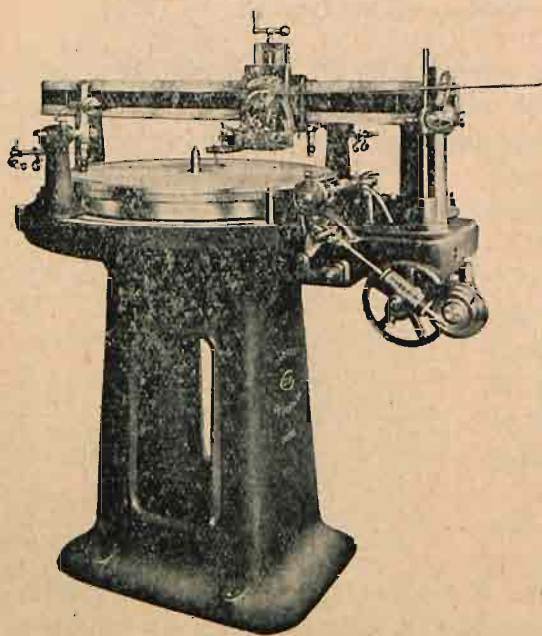
robocze R zapomocą trzpienia śrubowego T , który można pokręcać i tym sposobem zmieniać odległość pomiędzy nakrętką N a sankami. Do tego celu służy drążek D z sektorem zębatym, będącym we chwycie z zębatką Z , odpychaną znowu przez linjał L . Przy przesuwaniu się nakrętki linjał naciska na zębatkę, co wywołuje obrót trzpienia T . Na końcu linjału L umieszczona jest podziałka z nonjuszem, umożliwiającą nastawienie podziałki zasadniczej w zależności od temperatury zaobserwowanej.

Omawianej maszyny podziałowej można używać jako komparatora, ustawiając na sankach etalon i wzorec porównywany jeden za drugim i nastawiając nitki jednego z mikroskopów na podziałki etalonu, a kreskę drugiego na podziałki wzorca. Okular mikrometryczny umożliwia bezpośrednie odczytywanie błędów przy przesuwaniu sanek co podziałkę. Należy zaznaczyć przytem, że mikroskopy można zamocowywać w dowolnem położeniu względem sanek.

Dłuższe wzorce można porównywać, kładąc je w sankach obok siebie równolegle, tak jednak, by krańcowe kreski prawe etalonu i wzorca pozostawały w polu widzenia mikroskopów. Następnie przesuwa się sanki w prawo, aż lewa kreska etalonu znajdzie się pośrodku nitek mikroskopu. Drugi mikroskop daje możność odczytania błędu podziałki wzorca w po-

równaniu z etalonem. W celu dogodnego nastawiania mikroskopów, można je przesuwać wpoprzek względem ruchu sanek.

Podobnie jak maszyny podziałowe linjowe zbudowane są i maszyny do podziałek kątowych i bębnowych. Suport ryśnikowy umieszczony jest na beleczce (rys. 152) ponad obrotowym stolikiem roboczym. Ryśnik może nacinać kreski tak na płaszczyźnie w kierunku promieni, jak i na powierzchni walca podziałkowego, a nawet i pod kątem na powierzchni stożkowej. Do sprawdzania podziałek służą dwa mikroskopy, które można zamocowywać w różnych położeniach na obwodzie. Stolik roboczy obraca się zapomocą



Rys. 152. Maszyna podziałowa

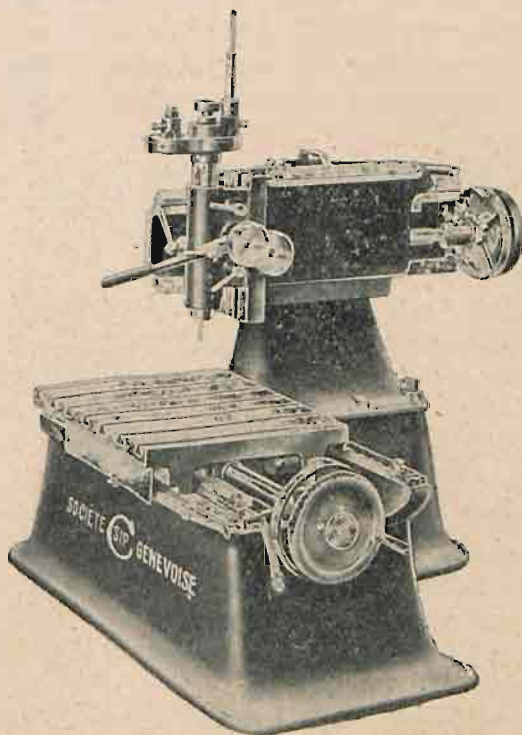
koła zębatego. Pierścień szablonowy ponad tem kołem zapewnia kompensowanie błędów przekładni zębatej, stanowiącej o dokładności podziałki kątowej.

Do t. zw. punktowania, czyli wyznaczania środków otworów w ściśle określonych odległościach, służą specjalne maszyny, posiadające wiele wspólnych cech z maszynami podziałowymi. Jedną z nich, mniejszą, w wykonaniu Société Gènevoise przedstawia rys. 153. Na łożu przesuwają się stolik roboczy za pośrednictwem śruby mikrometrycznej, zaopatrzonej w kompensację błędów, osiągniętą przez szablony z blachy stalowej z boku stolika oraz układu drążków.

Na poprzecznej górnej beleczce znajduje się suporcik wiertniczy z wrzecionem, pędzonym zapomocą giętkiego wału z przystawki, wyodrębnionej z maszyny. Tego rodzaju napęd ma na celu usunięcie wszelkich możliwych drgań. Przesuw suporciku wiertniczego jest kontrolowany również przez śrubę mikrometryczną z analogicznym urządzeniem do kompensowania błędów.

Uzupełnieniem maszyny są wzorce kreskowe, które ustawia się na stole, oraz mikroskop, którego tubus posiada średnicę, odpowiadającą otworowi na wrzeciono wiertnicze. Po wyjęciu wrzeciona i założeniu tubusa można porównać wzajemnie śruby mikrometryczne i wzorce zasadnicze. Na podstawie otrzymanych wyników można z łatwością poprawić szablony i skompensować na nowo błędy śrub mikrometrycznych w łożu i beleczce.

Istnieją maszyny tego typu i większych rozmiarów, oddające nieocenione usługi przy wyrobie precyzyjnych skrzynek wiertniczych i mocowań wszelkiego typu ze względu na szybkość i dokładność roboty. Otwory wywiercone można następnie powiększyć na innych obrabiarkach, uzgadniając osie otworów z osią obrotu wrzeciona zapomocą czujnika. Maszyny tego typu wykazują szybki i nieustanny postęp, wyrażający się w coraz to nowych przyrządach pomocniczych i zastosowaniach.



Rys. 153. Maszyna do punktowania

46. KONSTRUKCJA PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH. Potrzeba nowych narzędzi mierniczych i przyrządów metrologicznych jest nie-

ustanna. Coraz to nowe zagadnienia techniki wysuwają konieczność obmyślenia przyrządów, które stanowią bądź kojarzenie elementów dawniej znanych, bądź też opartych na zasadach nowych. Każde narzędzie, czy przyrząd, przechodzi przytem pewną naturalną ewolucję, poczynając od pomysłu pierwiastkowego przez stadium doświadczenia praktycznego. Poszczególne fazy rozwoju ważniejszych narzędzi są przytem zależne od całego szeregu czynników, charakteryzujących postęp techniczny w danym okresie. Ulepszeń dokonywa się przytem zarówno w warsztacie, jak i w laboratorium naukowym, i zdarza się często, że narzędzia i przyrządy, którymi posługuje się dziś uczony w swej pracy ściśle naukowej, stają się jutro narzędziami do użytku przemysłowego.

Projektowanie przyrządów o charakterze naukowym polega na wyzyskaniu praktycznem dorobku z różnych dziedzin fizyki i wymaga zastosowania sztuki inżyniera-konstruktora. Działanie przyrządu polega na zastosowaniu odpowiednich praw fizyki, wybór materiałów wymaga często znajomości chemii fizycznej w najogólniejszym znaczeniu tego słowa (np. z dziedziny metalografii), obliczenie wymiarów wymaga znajomości wytrzymałości materiałów łącznie z teorią sprężystości obok wyrobienia konstrukcyjnego. Sztuka konstruktora, umiającego pogodzić częstokroć sprzeczne założenia, jest niepowszednim czynnikiem twórczym w wielu wypadkach. Wypróbowanie przyrządu nasuwa często konieczność przeprowadzenia dodatkowych badań nad zjawiskami fizycznymi, zachodzącymi w przyrządzie. Później, przystosowanie przyrządu do codziennego użytku lub przejście do wytwarzania przemysłowego wysuwa czynniki łatwego i taniego wyrobu.

Zasady budowy przyrządów naukowych wszelkiego rodzaju sformułował w swoim czasie Maxwell¹⁾ w następujący sposób:

„Istnieje pewna ilość reguł, obowiązujących konstrukcję wszelkich przyrządów, które powinny zwrócić naszą uwagę, gdy przystępujemy do projektowania nowego przyrządu. Zasadą pierwszą musi być przystosowanie konstrukcji narzędzia do właściwego użytku; w szczególności jest rzeczą ważną, by te części, które mają pozostać nieruchome, nie mogły się przesuwac, zaś te, którym nadajemy ruch, nie przylegały zbyt mocno do właściwych osadzeń, wreszcie, aby części, podlegające obserwacji, nie były zamaskowane lub umieszczone w półmroku. Części, które powinny zachować kształt ściśle określony, nie powinny się odkształcać widocznie przez zwichrowanie, wyciąganie lub zużycie“.

¹⁾ Prof. Alan F. C. Pollard, dziekan wydziału inżynierji optycznej w Imperial College of Science and Technology (uniwersytet londyński): Cantor's Lecture on „The Mechanical Design of Scientific Instruments“ Londyn 1922. Cytat, zaczerpnięty z: Handbook to the Special Loan Collection of Scientific Apparatus (Maxwell) 1876.

Tych kilka słów Maxwella, pozornie prostych, wyraża w rzeczywistości pięć zasad konstrukcyjnych, którym nieraz bardzo trudno zadośćuczynić równocześnie przy obmyślaniu przyrządu naukowego; Maxwell ujmuje te zasady w sposób następujący:

„Każdy element przyrządu spełnia pewną funkcję, która polega na ruchu lub na spoczynku i która określa jego kształt w sposób najzupełniej ściśły. Każdy element podlega działaniu własnego ciężaru i innym siłom. Jest rzeczą ważną, by nie przejmował on nacisków zbyt znacznych, któreby osłabiały jego wytrzymałość, lub, co by było bez porównania gorsze z punktu widzenia naukowego, zmieniały jego kształt i wywoływały, wskutek nieprzewidywanego oddziaływania, zakłócenia i pomyłki podczas dokonywania pomiarów.

„Musimy więc zastanowić się głęboko nad metodami, umożliwiającymi wyswobodzenie ze wszystkich sił zbyt znacznych części składowych przyrządu, zapewnić określone położenie częściom nieruchomym, zaś częściom ruchomym ruch miękki, bez zatrzymywania się i bez gry.

„Do tego celu można dojść jedynie, nie zapominając nigdy o zasadzie tak dobrze znanej w cynematyce: Każde ciało sztywne posiada sześć stopni swobody.

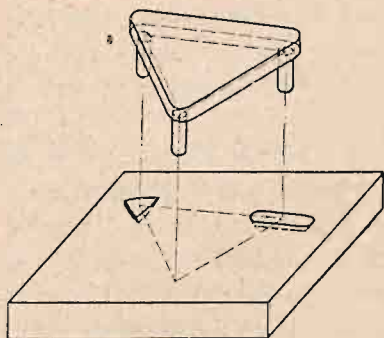
„Ciało sztywne jest ciałem posiadającym kształt niezmienny; elementy składowe przyrządów są stałe, ale nie sztywne; podlegają one odkształceniom pod działaniem sił; odkształcenia powyższe nie są w ogólności pożyteczne, z wyjątkiem pewnych specjalnych wypadków, np. przy zastosowaniu sprężyn.

„Jeśli więc jakiegokolwiek ciało podlega więcej, niż sześciu ograniczeniom swobody ruchu, działają w niem siły wewnętrzne i powstają wydłużenia i skręcania, które, w ogólności biorąc, można wykryć jedynie zapomocą subtelnych pomiarów mikrometrycznych.

„W niektórych przyrządach, podlegających mniej lub więcej brutalnym manipulacjom, jest rzeczą niezbędną zapewnić ściśłą dokładność położenia niektórych części, nie obawiając się narazić ich na pewne naprężenia. Naodwrot, w przyrządach precyzyjnych jest rzeczą ważną, aby podtrzymki i osadzenia każdego elementu były drobniawo zbadane, tak pod względem ich ogólnej liczby, jak i swego położenia“.

Prof. Pollard w cytowanej przez nas pracy o budowie przyrządów naukowych wyjaśnia na całym szeregu przykładów, że istotnie dobrze zaprojektowane przyrządy, stanowiące chlubę nauki, zawsze stanowią zastosowanie ogólnych zasad mechaniki.

Typowym przykładem wygłoszonej tu zasady mechanicznej jest dany przez Lorda Kelwina sposób ustalania położenia przyrządów pre-



Rys. 154

cyzyjnych, by można było z powrotem ustawić je na dawnym miejscu. Z tem rozwiązaniem zapoznaje nas rys. 154. Mianowicie trzy nóżki przedmiotu trafiają w układ złożony z trójsściennego wgłębienia — żłobka — płaszczyzny. Kelvin zastosował ten układ w swym elektrometrze kwadransowym. Znacznie później znalazł ten układ zastosowanie w interferometrze Michelson'a (rys. 176).

Niektóre omówione przez nas przyrządy, jak komparator Wickman'a, czujniki Sears'a i t. p., stanowią również piękne przykłady zastosowania ogólnych zasad, wyłożonych powyżej.

ROZDZIAŁ VII

METODY INTERFERENCYJNE

47. WZORCE KRESKOWE I KOŃCÓWKOWE. Metrologja, jako gałąź fizyki, zajmującej się miarami wogóle, a miarami długości w szczególności, znajdowała się zawsze pod przemożnym wpływem geodezji. Można powiedzieć, że wyrosła ona z jej potrzeb. Postępy metrologji były w ciągu dwóch wieków dyktowane przez rozwój geodezji i samo powstanie metra, tak ściśle związane z pomiarami kuli ziemskiej, jest klasycznym dowodem tej zależności.

Nic też dziwnego w tych warunkach, że etalon międzynarodowy metra wyraził się w kształcie wzorca kreskowego. Jeśli pominąć niektóre specjalne prace¹⁾, cały wysiłek w ciągu wieku XIX, zmierzający ku ugruntowaniu systemu metrycznego, był w dziedzinie laboratoryjno-doświadczalnej skierowany na udoskonalenie wzorca kreskowego, oraz samych metod pomiarowych. Jedyną metodą współczesną, mającą na celu określenie położenia kresek, stanowiących zasadnicze elementy wzorca, jest nastawianie na te kreski nitek mikroskopu, zaopatrzonego w okular mikrometryczny. Dokładność pomiarowa, jak również i dokładność wykonania etalonu kreskowego, była i jest funkcją powiększenia, jakie może dać współczesny mikroskop w najlepszych warunkach oświetlenia, odpolerowania wzorca i subtelności wykonania kresek.

Prace Międzynarodowego Biura Miar i Wag w Breteuil pod Paryżem zdążyły w tym właśnie kierunku. O ile w pierwszych latach istnienia

¹⁾ Bessel, przy przeprowadzaniu doświadczeń nad długością wahadła w Królewcu w 1823 r. posilkował się specjalnym etalonem końcówkowym, wykonanym za jego wskazówkami.