

Rys. 67. Czujnik w maszynie Newall'a

Wadą czujnika poziomnicowego jest jego niestateczność. Uspokojenie się ruchu bulki powietrznej trwa dość długo, na czym cierpi szybkość pomiaru.

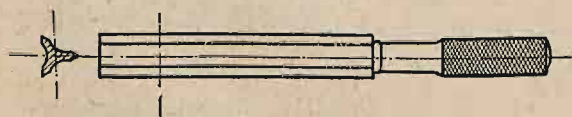
W wielu przyrządach specjalnych, rzadziej używanych, nie stanowi to jednak wady, i należy wyrazić życzenie, by konstruktorowie przyrządów brali niekiedy pod uwagę możliwość stosowania poziomnicy jako czujnika.

ROZDZIAŁ IV

SPECJALNE METODY MIERNICZE

23. SPRAWDZANIE PŁASZCZYZN. Opisane przez nas narzędzia miernicze nie wystarczają do uskutecznienia większości pomiarów, jakich wymaga technika warsztatowa. Aby osiągnąć cel pożądaną, należy budować specjalne przyrządy, kojarzące różne sposoby i mechanizmy. Z rozwojem techniki wypracowane zostały różne specjalne metody miernicze w zastosowaniu do poszczególnych zagadnień i posiadające właściwe obszary zastosowań. Prawie każdy kształt geometryczny, czy element maszynowy, wymaga odrębnych narzędzi i metod pomiarowych. Istnieją więc specjalne metody sprawdzania płaszczyzn, stożków, profilów, gwintów, kół zębatych, cylindrów silnikowych, wałów korbowych. Specjalną grupę metod pomiarowych stanowi sprawdzanie zasadniczych wzorców, o czym będzie mowa w następnych rozdziałach. Obecnie omówimy sprawdzanie płaszczyzn, stożków, gwintów i profilów.

Istnieje kilka metod sprawdzania płaszczyzn. Według jednej z nich przykładą się do sprawdzanej powierzchni cienki linjał z dość ostrą krawędzią i następnie bada się pod światło, czy pomiędzy płaszczyzną a linjałem nie ma szczelinki świetlnej. Wygodnie jest uskutecznić powyższe sprawdzenie nad małą szybą szklaną, oświetloną od spodu lampką elektryczną. O ile stwierdzenie nieprzystawalności linjału jest łatwe, o tyle wymierzenie szerokości tej szczelinki nastręcza poważne trudności. Niekiedy można to uskutecznić zapomocą cienkich blaszek stalowych,



Rys. 68. Krawędź narzędziarska

poczynając od 0,04 mm; poniżej tej wartości można się posługiwać cienką bibułką papierową, której grubość wynosi dość dokładnie 0,01 mm.

Do niewielkich powierzchni używa się w tym wypadku „krawędzi narzędziarskiej” Johanssona (rys. 68). Nadaje się ona nie tylko do sprawdzania niewielkich płaszczyzn,

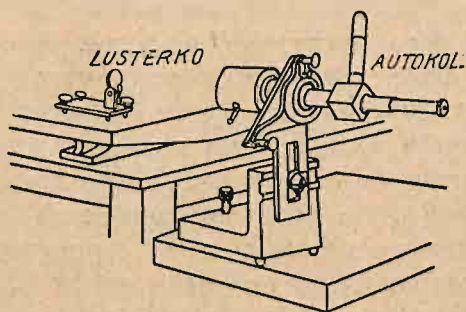
ale i do sprawdzania prostoliniowości krótkich wałków. Otrzymuje się przytem nadspodziewanie dużą dokładność dzięki trójkątnemu przekrojowi krawędzi, jej lekkości i poręczności. Zamiast linjału można niekiedy użyć cienkiego, kalibrowanego i mocno wyprężonego drutu stalowego. Odpowiednia oprawka posiada przytem kształt smyczka.

Posiadając gładką, równą płytę żeliwną, czyli t. zw. równię, można sprawdzać płaszczyzny zapomocą „docierania na farbę”. Metoda ta polega naprzód na delikatnem zaszmarowaniu powierzchni równi zapomocą gałganka, na którym znajduje się nieco t. zw. farby, czyli gęstej masy, otrzymywanej przez dodawanie do oliwy maszynowej sporej dozy niebieskiej farбки (ultramaryny). Równomiernie zaszmarowaną równię przesuwamy kilkakrotnie po badanej powierzchni tak, że wszystkie wypukłości badanej płyty zostaną zaszmarowane farbą, zbieraną z równi. Im więcej plam otrzymamy na jednostkę powierzchni badanej płyty, tem bardziej zbliża się ona do płaszczyzny. Za podstawę porównywania bierze się liczbę plam na kwadracie o boku równym $1'' = 25 \text{ mm}$. Powierzchnię uważa się za dotartą, gdy liczba odnośnych plamek wynosi od kilku do kilkunastu, stosownie do potrzeby. Przy bardzo gładkich powierzchniach i subtelnem zaszmarowaniu równi można otrzymać tak gęste plamki, że zlewają się one w jednostajną warstwę. Jest to kres stosowalności metody docierania. Wykańczanie docieranej powierzchni odbywa się w ten sposób, że wypukłości, widoczne dzięki ciemnym plamkom na powierzchni docieranej, zdejmuje się zapomocą skrobaka, czyli dłuta o kącie rzeźowym 90° . Pozornie wydaje się przytem, jak gdybyśmy zeskrobywali plamy na powierzchni.

Wszystkie opisywane metody nie dają miary błędu wykonania płaszczyzny. Aby osiągnąć większą dokładność użył Shaw do sprawdzania swej znanej maszyny mierniczej, wykonanej w r. 1912 dla angielskiego National Physical Laboratory, specjalnie zbudowanych linjałów trójpunktowych. Po obu końcach tych linjałów umieszczono po jednym guziku dotykowym z płaskim kowadełkiem, zaś w środku linjału wbudowano trzpień mikrometryczny, wskazujący zero, gdy płaszczyzna storcowa wrzecionka znajdowała się w płaszczyźnie kowadełek omawianych guzików. Wobec posiadania trzech takich linjałów, Shaw był pewien ich uregulowania. Zastąpmy mianowicie, dla ułatwienia rozumowania, trzy małe storcowe powierzchnie dotykowe trzema punktami. Jak sprawdzić, czy leżą one na prostej linii? Użyjmy naprzód do sprawdzenia trzech punktów drugiego identycznego linjału. Przystawalność drugiego linjału upoważnia nas do wniosku, że trzy jego punkty leżą na wspólnym okręgu koła, jednak jeden linjał może być wypukły, a drugi wklęsły. Dopiero przystawalność trzech punktów trzeciego linjału z pierwszym i drugim daje nam pewność, że punkty jakiegokolwiek linjału leżą na prostej.

Zapomocą linjału trójpunktowego można sprawdzać długie prowadnice, znacznie dłuższe od samego linjału, a mianowicie conajmniej półtora do dwóch razy, aby móc dotknąć się wszystkich punktów prowadnicy zapomocą chociażby jednego guzika dotykowego. Dokładność pomiaru zależy w dużym stopniu od tego, czy płaszczyzny kowadełek i wrzecionka nie są zwichrowane. O ile zależy na wielkiej dokładności, wadę posiada użycie w omawianej metodzie mikrometru, jako narzędzia zbyt mało dokładnego.

Do sprawdzania płaskich przewodnic można użyć lusterka, umieszczonego na odpowiedniej podstawie, i lunetki autokolimacyjnej (rys. 69). Podstawka spoczywa na nóżkach dotykowych, które można regulować na wysokość: przestawianiu podstawki po płaszczyźnie towarzyszą kątowne odchylenia lusterka, odpowiadające ściśle kątom wgłębień równi sprawdzanej. Lunetka autokolimacyjna jest tak zbudowana, że obraz optyczny,



Rys. 69. Badanie płaszczyzny

wywołany z boku, daje zapomocą obiektywu wiązkę, równoległą do osi optycznej lunetki. Ta wiązka jest odbita od lusterka w tym samym kierunku, jeśli lusterko jest do niej prostopadłe. W przyrządzie, budowanym przez wytwórnię paryską Barriquand et Marre według patentu Dèvé, lunetka jest nastawna we wszystkich kierunkach i przesunięcia kątowe mogą być mierzone, co daje możliwość wyznaczenia odpowiednich prze-

sunięć lusterka, a tem samem i kierunku elementów powierzchni obserwowanej. Można tym sposobem odczytać kąt, którego tangens jest równy 1:25.000. Mimochodem zaznaczymy, że oparte na tej samej zasadzie przyrządy służą do sprawdzania prostolinijności wnętrza luf armatnich.

Metoda powyższa posiada tę zaletę, że jest niezależna od posiadania jakiegokolwiek wzorcowego linjału lub równi. W przypadku, gdy posiadamy pewną, sprawdzoną równię, możemy dokonać porównania jej z inną, ustawiając ją równolegle do pierwszej i przesuwając po niej guzik dotykowy czujnika, prowadzonego po płaszczyźnie wzorcowej.

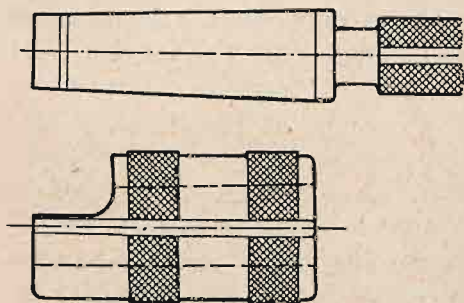
Znakomitą metodą sprawdzania płaszczyzn jest obserwowanie prążków interferencyjnych jednakowej grubości (Fizeau-Laurent) lub jednakowego pochylenia (Haidinger-Lummer). Odkładając opis tych metod do następnych rozdziałów, należy zaznaczyć, że dają one najpewniejsze wyniki i są bardzo dogodne z punktu widzenia praktycznego. Nadają się też one bardziej od innych do stosowania przemysłowego i rzeczywiście, wprowadzenie ich do praktyki rozszerzyło znacznie zastosowania t. zw.

równi optycznych, to jest płytek i płyt z wyjątkowo starannie odrobioną płaszczyzną. Wykonanie tych płyt nie nastęrcza specjalnych trudności. Mianowicie, po dotarciu trzech płyt zapomocą farby, można przejść do docierania wzajemnego płyt żeliwnych, zwilżonych nieco naftą lub terpentyną, bez użycia jakiegokolwiek proszku szlifierskiego. Istnieje przypuszczenie, że w graficie szarego żeliwa znajdują się drobne kryształki karborundum, które ścierają powierzchnię płyty. Płytom należy nadawać taki ruch, by w zetknięciu pozostawały coraz to inne elementy płyt docieranych. W tym celu jedną z płyt obraca się zapomocą mimośrodów i ponadto obraca się ją stale na czopie tak, że poszczególne elementy płyty opisują epicykloidy. Według tej metody wykonane zostały trzy płyty o średnicy 250 mm w laboratorium obróbki metali politechniki warszawskiej, które służą do docierania wzorców płytkowych, czyli t. zw. klocków mierniczych Johanson'a. Nierówności tych płyt pozostają przystem w granicach jednego mikrona. Nieco zużyte płyty można doprowadzić do pierwotnego stanu, stosując kilkogodzinne docieranie za pośrednictwem prostego przyrządu, ustawianego na zwykłej wiertarce.

24. SPRAWDZANIE STOŻKÓW. Metoda, powszechnie stosowana w pracowniach mechanicznych, polega na zmierzeniu stożka zapomocą mikrometru przy górnym i dolnym narożniku tak, że określamy przez to Φ . — max. i min. Dodatkowo sprawdza się przytem kąt zapomocą kątomierza zwykłego lub optycznego. Kątomierz zwykły jest oparty na zastosowaniu nonjusa i pozwala zmierzyć kąt z dokładnością 2'', co odpowiada 0,06 mm na długości 100 mm. Kątomierz optyczny Zeissa posiada skalę, skrytą wewnątrz narzędzia, którą obserwuje się za pośrednictwem małej lupy. Unika się przytem popełniania błędów przy odczytywaniu wartości na nonjusu. Spore błędy daje i mikrometr, gdyż narożniki stożka od strony grubszej są zawsze nieco zaokrąglone, zaś od strony cieńszej mikrometrem trudno uchwycić miarę średnicy minimalnej. Tak więc przy wykonywaniu sprawdzianów do stożków Morse'a i przy mierzeniu samych stożków omawiane metody warsztatowe są zbyt mało dokładne, gdyż nie zapewniają należytego rodzaju pasowania.

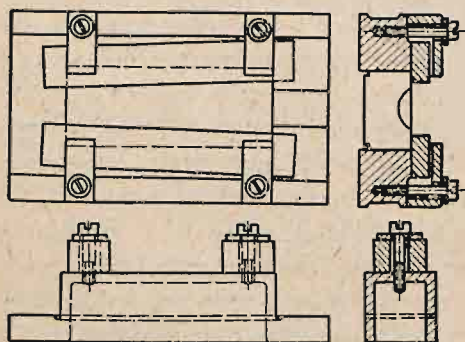
Lepsze wyniki daje sprawdzanie stożków zapomocą sprawdzianów sztywnych czyli kalibrów. Stożki wewnętrzne sprawdza się przytem zapomocą trzpienia kalibrowego, zaś zewnętrzne zapomocą pierścienia. Ze względu na stożkowatość powierzchni nie można zastosować tu zasady „wchodzi” lub „nie wchodzi”, gdyż trzpień stożkowy zawsze wchodzi w otwór stożkowy danych wymiarów. Natomiast można było zmodyfikować tę zasadę tak, że im większy mamy luz, tem głębiej trzpień wchodzi w otwór. W praktyce przemysłowej sprawdza się stożki zapomocą tulejki wzorcowej, sfrezowanej tak głęboko, że widać w niej trzpień sprawdzany,

co ułatwia obserwowanie styku. O głębokości wchodzenia sądzimy z położenia kreski na trzpieniu względem kreski na tulejce (rys. 70). Jedna z tych kresek odpowiada minimum, druga maximum tak, że wyznaczają one granice tolerancyjne sprawdzanego stożka, obejmujące ryczałtowe tolerancje poszczególnych elementów, jak średnic, kąta, owalizacji przekrojów, prostolinijności osi i t. p.



Rys. 70. Sprządziany do stożków

trudno byłoby poprzestać na omawianych poprzednio metodach i należy się odwołać do innych, bardziej bezpośrednich. Tak np. jeden z najważniejszych elementów stożka, a mianowicie kąt pochylenia, sprawdza się zapomocą przymiaru linjałowego (rys. 71). Składa on się z dwóch nastawnych linjałów i krążków kalibrowych. Znając odległość pomiędzy środkami krążków, możemy obliczyć kąt pomiędzy linjałami. Rozstawienie krążków sprawdza się zapomocą klocków Johanson'a. Linjały muszą być dotarte i sprawdzone optycznie na prostolinijność. Co się tyczy

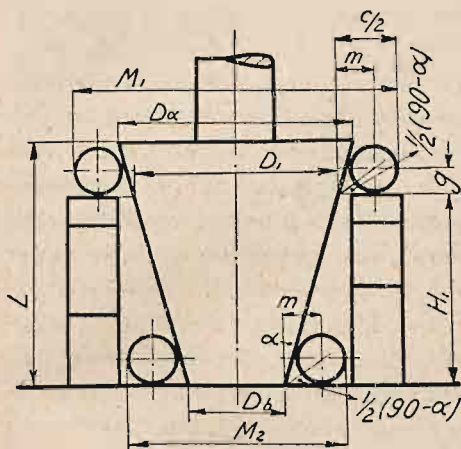


Rys. 71. Przymiar linjałowy

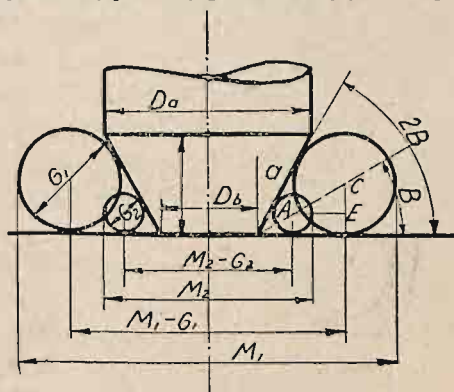
ustawiania przyrządów i samego mierzenia, to jest ono nader proste. Mianowicie krążki posiadają otwory wewnętrzne, nieco większe od średnicy śrubek zaciskowych tak, że po lekkim zaciśnięciu można krążki odsunąć lub zbliżyć stosownie do pomiaru zapomocą płytek. Rozstawienie krążków należy jeszcze raz sprawdzić po zaciśnięciu ostatecznym. Linjały dociska się mocno do krążków i przykręca się je następnie mocno do ramki przyrządu zapomocą łapek uchwytowych, poczem można już usunąć krążki, przykręcone do wewnętrznego rdzenia w ramce. Usunięcie rdzenia daje możliwość obserwowania pod światło przylegania trzpienia do linjałów. Również i czuciem można sprawdzić przyleganie trzpienia do linjałów.

Rys. 72 zapoznaje nas z typową metodą sprawdzania stożków, polegającą na użyciu pary małych, dokładnie oszlifowanych drucików o jed-

nakowej znanej średnicy oraz klocków mierniczych. Zapomocą mikrometru mierzymy odległość M_1 i M_2 . Proste obliczenie trygonometryczne umożliwia znalezienie największej i najmniejszej średnicy stożka, jak również kąta wierzchołkowego, przy znanej długości stożka. Przy mierzeniu krótkich stożków o dużej pochylności (rys. 73) poręczniej jest użyć



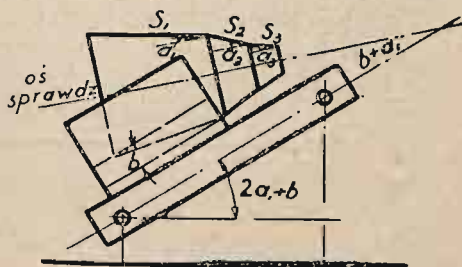
Rys. 72



Rys. 73

raz wałeczków o małej średnicy, a następnie o dużej. Zapomocą tej samej metody mierzy się stożki podwójne. Wzory trygonometryczne są wówczas bardzo złożone i wymagają kłopotliwych obliczeń¹⁾.

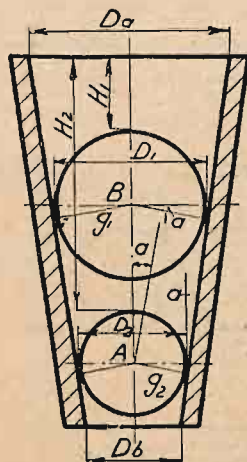
Przy podwójnych stożkach dużą trudność sprawia wyznaczanie kątów wierzchołkowych krótkich stożków. Przyjmując, że kąt α_1 jest wyznaczony, możemy kąt α_2 zmierzyć zapomocą przyrządu, bardzo cenionego obecnie w praktyce warsztatowej, a mianowicie skośnicy sinusowej (rys. 74). Sprawdzian umieszczamy w żłobku na stoliku skośnicy, którą doprowadzamy do takiego położenia, że tworząca S_1 staje się równoległą do równi, co łatwo sprawdzić zapomocą czujnika. Zapomocą wysokościomierza z nonjuszem lub płytek Johanson'a mierzymy odległości tulejek skośnicy od równi. Z otrzymanego trójkąta określamy kąt $2\alpha_1 + b$. Oś wzorca tworzy wówczas ze skośnicą



Rys. 74

¹⁾ Metody sprawdzania wzorców i sprawdzianów. Zeszyt I. Wyd. Zakładu Obróbki Metali Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1921. Nakładem Wojskowego Instytutu Naukowo-Wydawniczego. Praca powyższa dotyczy sprawdzania profilów i stożków, stosowanych głównie przy wyrobie amunicji karabinowej i armatniej, według metod waszyngtońskiego Bureau of Standards. Zawiera ona wszelkie potrzebne wzory.

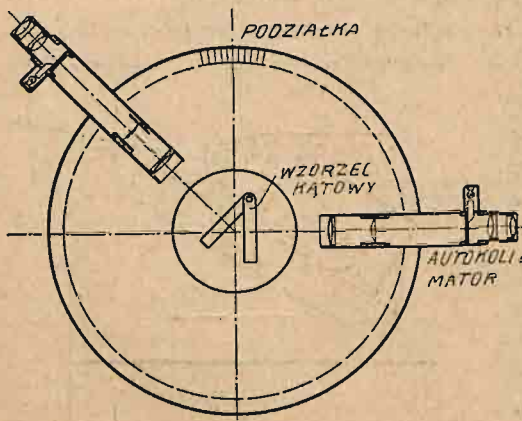
kąt $a_1 + b$. Następnie pokręcamy skośnicę sinusową, aż odcinek S_2 stanie się równoległym do równi, i mierzymy kąt c , jaki tworzy stolik skośnicy z równią. Kąt a_2 jest przytem dany przez wzór: $a_2 = c - (a_1 + b)$. Metoda powyższa jest bardzo dogodna, gdy mamy sprawdzić większą liczbę wzorców stożkowych.



Rys. 75

Stożki wewnętrzne można sprawdzać zapomocą przeciwsprawdzianu, czyli trzpienia stożkowego o tych samych wymiarach nominalnych. Można użyć w tym wypadku metody styku, polegającej na tem, że cienka kreska, przeciągnięta błękitem pruskim wzdłuż jednej z tworzących trzpienia, jest następnie rozłarta przez pokręcanie go w tulei sprawdzianowej. Powstaje przytem plama, z której rozkładu można sądzić o przyleganiu obu powierzchni. Rys. 75 zapoznaje nas z bezpośrednią metodą mierzenia tulei stożkowej zapomocą kulek odpowiedniej średnicy. Odległość kulek od górnej podstawy stożka wyznacza się zapomocą głębokomierza mikrometrycznego. Jeśli tulejka jest krótka,

można zmierzyć stożkowatość pośrednio z trzpienia, odlanego w tulejce ze stopu siarki z grafitem (10%), lub jeszcze lepiej z plastra paryskiego na zimno, przez co unika się błędu, wynikającego ze wzrostu temperatury tulei.



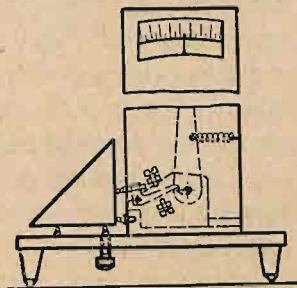
Rys. 76. Sprawdzanie kątów

Mierzenie kątów, np. w prowadnicach ostrokątnych (por. rys. 74), nie różni się zasadniczo od mierzenia stożków.

Wytwórnia Johanson'a wyrabia zespoły wzorców kątowych, które dają możliwość kombinowania poszczególnych wzorców tak, by otrzymać dowolne kąty wypadkowe. Taki zespół kątów zastępuje w dużej mierze kątomierze, dając znacznie dokładniejsze wartości kątowe.

Jeszcze lepsze wyniki daje nastawny wzorzec kątowy, używany w paryskiej wytwórni Société d'optique et de mécanique de haute précision (SOM). Stanowią go dwie płytki stalowe, połączone zapomocą zawias i dające się połączyć na stałe w każdym dowolnem położeniu zapomocą śruby zaciskowej. Płytki te, doskonale odpolerowane, stano-

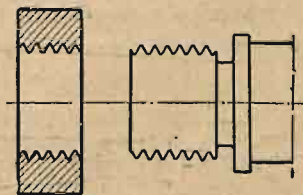
wią doskonałe lusterka. Wzorzec kątowy ustawia się na stoliku gonjometrycznym, przyczem prostopadle do każdej płytki skierowywa się lunetkę autokolimacyjną (rys. 76). Jedna z lunetek jest ruchoma, i na podziałce gonjometru można odczytać kąt, jaki tworzy oś optyczna jednej z lunetek z osią drugiej lunetki. Odnośne uregulowanie obu lunetek można osiągnąć przy ustawieniu ich naprzeciwko siebie i doprowadzeniu do tożsamości obu osi optycznych zapomocą śrubek, działających na oprawki lunetek, aż odpowiednie kreski w jednej lunetce zgodzą się z kreskami drugiej.



Rys. 77

Sprawdzenie kąta prostego, który odgrywa wielkie znaczenie w przyrządach mierniczych, może się odbywać zapomocą różnych metod, których zasady wyłożyliśmy. Jeden z najdokładniejszych sposobów jest oparty na zastosowaniu czujnika i zasadniczego wzorca, wykonanego i sprawdzonego według poprzedniej metody. Mianowicie sprawdzany przedmiot umieszcza się na stoliku, który stanowią kulki stalowe, odpowiednio rozmieszczone. W płaszczyźnie pionowej znajduje się dolna kulka (rys. 77), stanowiąca zderzaczek, i kulka dotykowa precyzyjnego czujnika. Uregulowanie przyrządu odbywa się przez położenie na stoliku zasadniczego wzorca i sprowadzeniu do zera wskazówki czujnika. Przyrząd omawiany stanowi właściwie komparator.

25. SPRAWDZANIE GWINTÓW. Do ryczałtowego sprawdzenia gwintu używa się różnicowych trzpieni śrubowych lub pierścieni (rys. 78) według zasady: „wkręca się” i „nie wkręca się”. Oba trzpień są zarazem przeciwsprawnymi dla pierścieni. Mówimy, że sprawdzian i przeciwsprawnian są identyczne, jeśli pasują do siebie zupełnie ciasno. Rzecz prosta, że w tych określeniach jest sporo dowolności, na którą godzimy się w przeświadczeniu trudności mierzenia dokładnego gwintów, ze względu na tyle różnorodnych czynników, jak średnice gwintu, skok, profil i t. p.



Rys. 78

Sprawdziany trzpieniowe do sprawdzania nakrętek mogą być wykonane znacznie dokładniej, niż gwintowane pierścienie, gdyż można je przeszlifować po zahartowaniu, a następnie dotrzeć na miarę zapomocą miedzianych czy żeliwnych docieraczy w kształcie rozciętej nakrętki. Sprawdziany pierścieniowe do śrub nie dadzą się oszlifować, i dlatego dociera się je bezpośrednio zapomocą gwintowanych docieraczy trzpieniowych oraz proszku szmerglowego. Docieracze te są

również rozcięte i posiadają otwór stożkowy lub cylindryczny, w który wpycha się w miarę potrzeby stożkowy kołeczek, rozpychający trzpień i zwiększający tym sposobem średnicę. Powyższe uwagi technologiczne dają miarę, na jak kruchych podstawach spoczywa dopasowywanie trzpienia gwintowego i pierścienia w porównaniu z wyrobem sprawdzianów cylindrycznych.

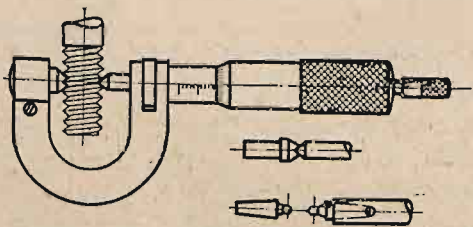
Sprawdzanie zapomocą omawianych trzpieni i pierścieni jest połączone z wielu niedogodnościami. Wobec dużej powierzchni styku „czucie” jest niepewne. Niewiadomo nigdy, jakiemu elementowi gwintu należy przypisać ewentualne niepowodzenie. Jednak sprawdziany śrubowe omawianej konstrukcji znalazły szerokie rozpowszechnienie, gdyż dają one gwarancję sprawdzenia ryczałtowego wszystkich elementów gwintu.

Sprawdzanie gwintów zapomocą trzpienia czy pierścienia różnicowego nie należy do rzeczy łatwych. Gwint badany należy wymyć benzyną i obejrzeć, gdyż najmniejszy zadziór lub kawałek wiórka może dać fałszywe wyniki i narazić sprawdzian na uszkodzenie. Narzędzia mierniczego nie należy przytem nigdy forsować, choćby z tego względu, że sprawdziany śrubowe są wyjątkowo kosztowne. Sprawdziany pierścieniowe ze względu na brak możliwości przeszlifowywania wykonywano dawniej z twardych gatunków stali, nie hartując ich następnie w celu uniknięcia zmian przy hartowaniu. Obecnie hartują je, uwzględniając poprawkę skoku wskutek skurczu stali, ustaloną na drodze empirycznej. W tym celu tokarka, na której nacina się dany skok, posiada urządzenie kompensacyjne, umożliwiające nacinanie gwintów o skoku nieco różniącym się od nominalnego.

Jak już mieliśmy sposobność o tem mówić w rozdziale o tolerancjach śrubowych, średnica flankowa jest najważniejszym elementem, wpływającym na zamienność śrub, o ile mamy do czynienia ze zwykłymi śrubami i nakrętkami o normalnej wysokości. Przy śrubach pociągowych mierniczym elementem jest skok śruby.

Na przyleganie właściwe zwojów śruby i nakrętki posiada wpływ prawidłowy profil śruby i nakrętki.

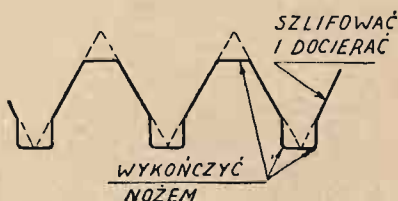
Do zmierzenia średnicy flankowej gwintu użyć można zwykłego mikrometru, zaopatrzonego w specjalne końcówki (rys. 79) w postaci ostrzy lub kulek. Osadzenie tych końcówek na kowadełku i wrzecionku mikrometra



Rys. 79

jest powodem rozlicznych niedogodności i błędów tak, że tej metody mierzenia nie można zalecać. Daleko lepsze wyniki daje użycie zwykłych sprawdzianów trzpieniowych lub pierścieniowych, tak jednak

zrózniczkowanych, że jedno z nich służy tylko do sprawdzania średnicy flankowej (rys. 80), zaś pozostałe do średnicy wierzchołkowej i rdzeniowej. Rzeczą jest oczywistą, że jeśli ograniczymy powierzchnię styku flankowego i poszerzymy dna gwintu, operacje szlifowania i docierania stają się o wiele prostsze i pewniejsze. Do sprawdzania wierzchołków służy zwykły gładki sprawdzian trzpieniowy lub pierścieniowy, zaś do sprawdzania średnicy rdzeniowej służy sprawdzian gwintowy, jednak profil gwintu jest zmodyfikowany tak, że flanki przedmiotu i narzędzia mierniczego nie dotykają się. W tym celu kąt wierzchołkowy gwintu sprawdzianu rdzeniowego jest ostrzejszy od zasadniczego.

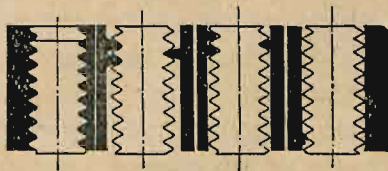


Rys. 80

W wyniku doniosłych prac angielskiej komisji standardyzacyjnej nad pasowaniami gwintów A. Wickman wprowadził do praktyki nowy typ sprawdziana śrubowego, przypominający żywo sprawdziany szczękowe Johanson'a. Sprawdziany Wickmana znamionują bez wątpienia przewrót w dziedzinie warsztatowego sprawdzania śrub.

Zauważmy, że w praktyce warsztatowej mamy do czynienia bądź ze sprawdzaniem gotowych śrub, bądź też gwintowników, służących do nacinania nakrętek. Zarówno śrubę, jak i gwintownik można sprawdzić zapomocą kalibru szczękowego. Tym sposobem w normalnej praktyce warsztatowej nie używamy trzpieni gwintowanych, jedynie sprawdziany szczękowe grzebykowe, zastępujące pierścienie gwintowane.

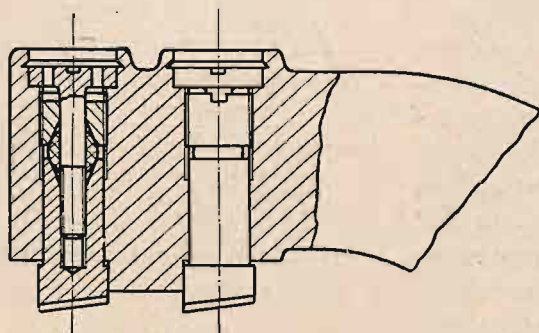
Rozważając pasowania śrub, sprowadziliśmy błędy skoku i kąta do tolerancji średnicy flankowej. Możemy więc, stosując sprawdzian ze szczękami w kształcie grzebyków, sprawdzić ryczałtowo błędy średnicy flankowej, skoku i kąta. Aby jednak błędy skoku czy kąta nie przekraczały dozwolonych granic, należy dodatkowo sprawdzić samą średnicę flankową (rys. 81). Grzebyk w danym wypadku jest niepełny i sprowadza się do dwóch ząbków z jednej i jednego ząbka z drugiej strony. Przy sprawdzaniu gwintowników należy niekiedy użyć dodatkowego sprawdzianu do wierzchołków i rdzenia, jak to widać z rys. 81.



Rys. 81

Rys. 82 zapoznaje nas z konstrukcją sprawdzianu Wickmana. Składa się nań oprawka z twardego żeliwa, szczęki, zwane przez konstruktora kowadełkami, ze stali hartowanej, wreszcie śrubki regulujące. Kowadełka są zabezpieczone od przekręcania się zapomocą oporników wykonanych w całości z oprawką.

Kowadełka są osadzone w dotartych precyzyjnie otworach. Regulowanie jest nader proste a zarazem precyzyjne. Mianowicie, wewnętrzny koniec kowadełka posiada nawiercenie pod kątem 60° , w którym spoczywa



Rys. 82. Regulowanie kowadełka

przewiercona na wylot hartowana kulka stalowa. Takie same nawiercenie posiada śruba, ustalająca położenie kowadełka. Śruba zaciskowa o mniejszej średnicy przechodzi na wylot przez śrubę ustalającą i kulkę stalową oraz wchodzi w gwintowany otwór kowadełka.

Przy nastawianiu kalibru wykręca się śrubę zaciskową i reguluje się śrubę ustalającą. Jednak ostateczna regulacja od-

bywa się za pośrednictwem śruby zaciskowej, która działa precyzyjnie wskutek pewnej sprężystości kulki stalowej, osadzonej w stożkowych otworach (por. rys. 51).

Aby zapobiec rozregulowywaniu kowadełek, śruby zaciskowe zalewa się ołowiem, wybijając odpowiedni monogram zapomocą specjalnej praski. Oprawkę zamocowywa się w odpowiedniej podstawie, co ułatwia dokonywanie pomiarów.

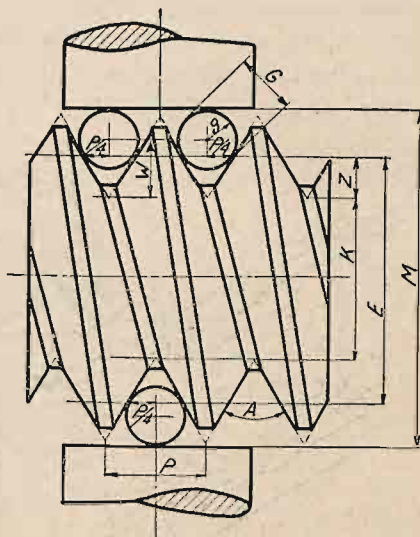
26. METODA TRÓJDRUCIKOWA SPRAWDZANIA ŚREDNICY FLANKOWEJ. Przy metodzie tej nader dokładnie wykonane wałeczki czyli druciki, dotarte do właściwej miary, są umieszczone w żłobkach gwintowych, przyczem dwa z nich są umieszczone z jednej, zaś trzeci z drugiej strony śruby (rys. 83). Jest rzeczą wskazaną ze względu na ułatwienia przy obliczaniu tak dobrać średnicę drucików, by dotyczyły one flanków pośrodku na średnicy podziałowej. Można wszakże użyć i drucików innej średnicy, byleby druciki dotykały się flanków i wystawały nieco ponad wierzchołki gwintów. Druciki, dotykające się dokładnie środka flanków, nazywamy drucikami optymalnymi¹⁾.

Głębokość, na jaką drucik określonej średnicy wchodzi w żłobek gwintu, zależy od skoku i kątu gwintu, a następnie i od pochylenia linii śrubowej, odpowiadającej punktowi zetknięcia się drucika z flankiem gwintu, względem płaszczyzny prostopadłej do osi śruby. Ponieważ zmiana pochylenia linii śrubowej, jak to wykazują szczegółowe obliczenia, posiada mały wpływ na średnicę drucika, dotykającego się flanku

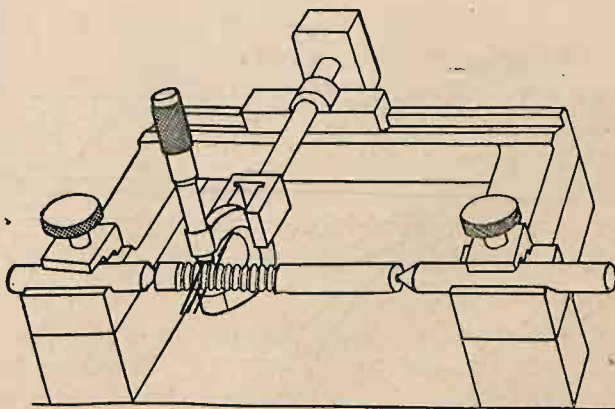
¹⁾ Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie komunikatu B. 523, wydanego przez wydział wzorców waszyngtońskiego Bureau of Standards w 1919 r.

pośrodku, i ponieważ jest rzeczą pożądaną stosować druciki tej samej grubości do mierzenia wszystkich gwintów o tym samym skoku i tym samym kącie wierzchołkowym, przeto drucik optymalny jest określony jako taki, który dotyka się środka flanku żłobka, naciętego na cylindrze w płaszczyźnie, prostopadłej do jego osi, i posiadającego profil i wymiary danego gwintu. Inaczej mówiąc, omawiany żłobek jest gwintem o pochyleniu zerem linii śrubowej.

Druciki, używane do mierzenia, są wykonywane zazwyczaj z dokładnością do $0,2 \mu$. Są one zahartowane na twardość szkła w ten sposób, że rozciągnięty mocną sprężyną drucik zostaje rozgrzany do określonej temperatury prądem elektrycznym i w chwili dojścia do niej prąd zostaje automatycznie przerwany, a sam drucik zanurzony natychmiast w ciecz chłodzącą. Po dotarciu do właściwej miary są one gotowe do użytku. Zawiesza się je zwykle na cienkich nitkach jedwabnych tak, że przy dociśnięciu ich do flanków gwintu za pomocą mikrometru ustawiają się one we właściwym położeniu. Mikrometr spoczywa w odpowiednim postumencie, zaś mierzoną śrubę trzyma się w ręku. Praktyka wykazała jednak, że należy stosować specjalne przyrządy, podtrzymujące tak mikrometr, jak śrubę i druciki. Jeden z takich przyrządów, który łatwo samemu wykonać, jest przedstawiony na rys. 84. Jest to t. zw. wyrównawczy mikrometr. Śruba jest zamocowana w kłach, zaś mikrometr jest przymocowany do dźwignienki, wyrównawzonej za pomocą odpowiedniego przeciwważarka. Całość może się wahać wokół osi pionowej tak, że



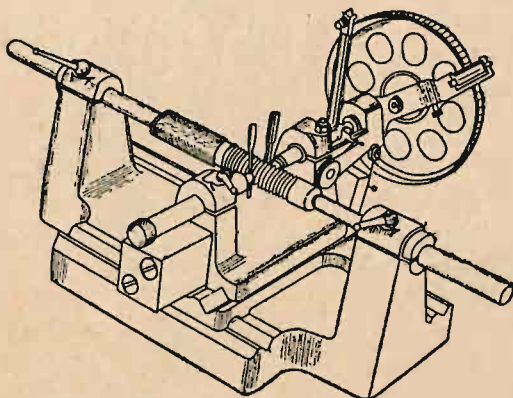
Rys. 83. Metoda trójdrukowa



Rys. 84. Mikrometr Bureau of Standards

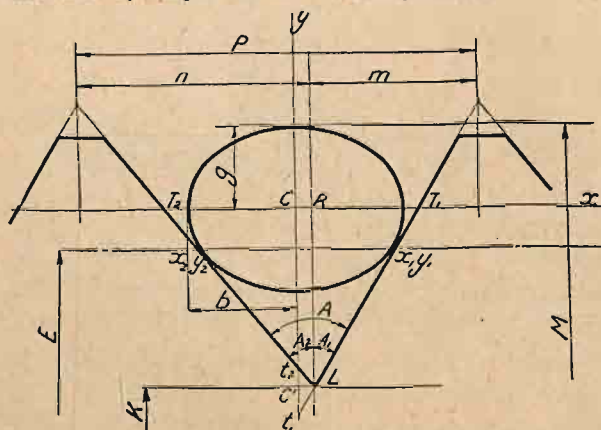
wrzecionko i kowadełko mikrometru może się przesuwac mniej więcej wzdłuż osi śruby. Dwa druciki spoczywają na kowadełku, zaś jeden pozostaje ponad śrubą. Właściwe czucie otrzymuje się, próbując przesuwac delikatnie druciki w żłobkach gwintu.

Rys. 85. przedstawia mikrometr postumentowy do drucików, zbudowany przez teddingtońskie National Physical Laboratory. Charaktery-



Rys. 85. Mikrometr National Phys. Lab.

wą zaopatrywać te przyrządy w normalne trzpienie mikrometryczne, jakich dostarczają wytwórnice w rodzaju Brown-Sharpe lub Pratt-Whitney, pod wa-



Rys. 86

Przy sprawdzianach pierścieniowych nie można zastosować drucików i należy w tym wypadku użyć kulek. Odnosną metodę można nazwać trójkulkową. Jest ona bez porównania mniej poręczna i wymaga użycia zamiast mikrometru płytek Johanson'a.

styczną jego cechą są saneczki krzyżowe z prowadnicami wałeczko-kulkowymi. Prowadnice powyższe nie wykazują prawie żadnego tarcia w porównaniu ze zwykłymi, i dlatego mikrometr i druciki w zwojach gwintów układają się najzupełniej prawidłowo. Zapewnia to identyczny nacisk i ruguje błędy subiektywne pomiaru. Cenny ten przyrząd nie jest trudny do wykonania ze względu na zastosowanie prowadnic kulkowych. Praktyka w Teddington wykazała, że jest rzeczą najzupełniej możli-

wą zaopatrywać te przyrządy w normalne trzpienie mikrometryczne, jakich dostarczają wytwórnice w rodzaju Brown-Sharpe lub Pratt-Whitney, pod warunkiem sprawdzania ich po wbudowaniu w przyrząd. Można zaopatrzyć je w większe bębny podzielone, wykonywane zazwyczaj z duraluminu, z podziałką mikronową. Pewna liczba tych przyrządów, budowanych w Anglii, posiada elektryczne urządzenia kontaktowe, zapewniające identyczny nacisk. W laboratorium teddingtońskim stosowane są stałe przyrządy bez czujnika elektrycznego.

Wyprowadźmy obecnie wzór na średnicę flankową gwintu, wyznaczaną na podstawie pomiaru trójdrukowego. Przekrój drucika w płaszczyźnie, przechodzącej przez oś śruby, jest elipsą, i można przyjąć, że drucik dotyka się flanków gwintu w tej płaszczyźnie. Błąd wynikający z tego założenia jest znikomy ¹⁾. Oznaczmy $A = A_1 + A_2 =$ kąt międzyflankowy gwintu, $p =$ skok gwintu, $G = 2g =$ średnica (grubość) drucików, $M =$ pomiar zapomocą mikrometru, $\Phi.fl. =$ średnica flankowa, $H =$ głębokość ostrego gwintu, $s =$ kąt średniej linii śrubowej, $\text{tang } s = p/\pi \cdot \Phi.fl.$, $\Phi.rd. =$ średnica rdzeniowa. Z rys. 86 mamy:

$$\Phi.fl = K + H = M + H - 2g - 2RL$$

$$RL = RT_1 \cotg A_1 = (CT_1 - CR) \cotg A_1$$

Równania stycznych do elipsy LT_1 i LT_2 są odpowiednio:

$$y = x \cotg A_1 \pm \sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2}$$

$$y = x \cotg A_2 \pm \sqrt{b^2 \cotg^2 A_2 + g^2}$$

Przyrównując y do zera, otrzymamy $x = CT_1$ i $x = CT_2$

$$CT_1 = \frac{\sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2}}{\cotg A_1}$$

Przyrównując $x = 0$ otrzymamy podobnie $y = Ct_1$ i $y = Ct_2$

$$CT_1 = \sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2}$$

$$CT_2 = \sqrt{b^2 \cotg^2 A_2 + g^2}$$

$$C't_2 + t_1 C' = t_1 t_2 = C'L (\cotg A_1 + \cotg A_2)$$

$$CR = C'L = \frac{t_1 t_2}{\cotg A_1 + \cotg A_2} = \frac{\sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2} - \sqrt{b^2 \cotg^2 A_2 + g^2}}{\cotg A_1 + \cotg A_2}$$

Podstawiając otrzymane wartości CR i CT_1 we wzór wyznaczający RL otrzymamy:

$$RL = \sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2} - \cotg A_1 \frac{\sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2} - \sqrt{b^2 \cotg^2 A_2 + g^2}}{\cotg A_1 + \cotg A_2}$$

Ponieważ mamy $p = H (\text{tang } A_1 + \text{tang } A_2)$, przeto otrzymujemy po dokonaniu odpowiednich podstawień:

$$\begin{aligned} \Phi.fl = M + \frac{p}{\text{tang } A_1 + \text{tang } A_2} - 2g - 2\sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2} + \\ + 2\cotg A_1 \frac{\sqrt{b^2 \cotg^2 A_1 + g^2} - \sqrt{b^2 \cotg^2 A_2 + g^2}}{\cotg A_1 + \cotg A_2} \end{aligned}$$

¹⁾ H. H. Jeffcott. Notes on Screw Threads. Collected Researches. Vol. V. 1909, National Physical Laboratory. Teddington.

Po wprowadzeniu przekształceń $b = g \cdot \sec s = g \sqrt{1 + S^2}$ oraz

$$\operatorname{tang} A_1 + \operatorname{tang} A_2 = \frac{\sin (A_1 + A_2)}{\cos A_1 \cos A_2}$$

$$\operatorname{cotg} A_1 + \operatorname{cotg} A_2 = \frac{\sin (A_1 + A_2)}{\sin A_1 \sin A_2},$$

wzór, wyrażający średnicę flankową, przyjmie kształt:

$$\begin{aligned} \Phi.fl = M + \frac{p \cos A_1 \cos A_2}{\sin A} - G(1 + \sqrt{(1 + S^2) \operatorname{cotg}^2 A_1 + 1}) + \\ + G \frac{\cos A_1 \sin A_2}{\sin A} [\sqrt{(1 + S^2) \operatorname{cotg}^2 A_1 + 1} - \sqrt{(1 + S^2) \operatorname{cotg}^2 A_2 + 1}] \end{aligned}$$

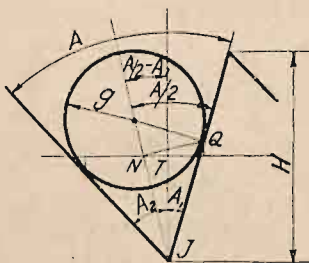
Jeśli gwint jest symetryczny $A_1 = A_2 = a$ i równanie uprości się znacznie

$$\Phi.fl = M + \frac{p}{2} \operatorname{cotg} a - G[1 + \sqrt{\operatorname{cosec}^2 a + S^2 \operatorname{cotg}^2 a}]$$

Jeszcze bardziej uprościmy wzór, gdy rozwiniemy wyrażenie pod znakiem pierwiastku w szereg i pominiemy wszystkie wyrazy poza drugim:

$$\Phi.fl = M + \frac{p}{2} \operatorname{cotg} a - G(1 + \operatorname{cosec} a + \frac{S^2}{2} \cos a \operatorname{cotg} a)$$

Powyższy wzór, ściślejszy od podawanych zazwyczaj w różnych podręcznikach, uważamy za zasadniczy. W zastosowaniach poprzestajemy zwykle na wzorze



Rys. 87

$$\Phi.fl = M + \frac{p \operatorname{cotg} a}{2} - G(1 + \operatorname{cosec} a)$$

ze względu na małe wartości wyrazu $\frac{1}{2} S^2 \cos a \operatorname{cotg} a$, jak to wynika z załączonej tabliczki.

Pozostaje nam obecnie wyprowadzić wzór, wyznaczający optymalną średnicę drucika. Zatrzymując znakowanie poprzednie, zwróćmy się do

rys. 87. Z trójkąta JTN otrzymujemy $JN = H : 2 \cos (\frac{1}{2} A - A_1)$, zaś z trójkąta JQN mamy $\operatorname{tang} \frac{1}{2} A = NQ : JN$. A więc mamy:

$$NQ = JN \operatorname{tang} \frac{A}{2} = \frac{H \operatorname{tang} \frac{A}{2}}{2 \cos (\frac{1}{2} A - A_1)}$$

Z trójkąta ONQ mamy $\sec \frac{1}{2} A = g : NQ$, skąd

$$G = 2g = \frac{H \operatorname{tang} \frac{A}{2} \sec \frac{A}{2}}{\cos (\frac{1}{2} A - A_1)} = H \operatorname{tang} \frac{1}{2} A \sec \frac{1}{2} A \sec (\frac{1}{2} A - A_1)$$

$$G = \frac{p \tan \frac{1}{2} A \sec \frac{1}{2} A \sec (\frac{1}{2} A - A_1)}{\tan A_1 + \tan A_2}$$

Jeśli gwint jest symetryczny, otrzymujemy $A_1 = A_2 = \frac{1}{2} A = a$, i wzór upraszcza się bardzo

$$G = \frac{p}{2} \sec a$$

Poniżej zamieszczona tabliczka zawiera dane, dotyczące średnicy drucików optymalnych i miary M pomiędzy kowadełkiem a wrzecionkiem przy pomiarze drójdrukowym.

GWINT WHITWORTH'A

| Śr. gwintu cal | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu cal | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu cal | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu cal | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu cal | Śr. drutu mm | Pomiar mm |
|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------|
| $\frac{1}{16}$ | 0,24 | 1,670 | $\frac{7}{32}$ | 0,6 | 5,763 | $\frac{1}{2}$ | 1,19 | 13,082 | $\frac{13}{16}$ | 1,43 | 21,100 | $\frac{13}{8}$ | 2,38 | 35,686 |
| $\frac{3}{32}$ | 0,3 | 2,483 | $\frac{1}{4}$ | 0,79 | 6,821 | $\frac{9}{16}$ | 1,19 | 14,630 | $\frac{7}{8}$ | 1,78 | 23,345 | $\frac{11}{2}$ | 2,38 | 38,860 |
| $\frac{1}{8}$ | 0,37 | 3,330 | $\frac{5}{16}$ | 0,79 | 8,182 | $\frac{5}{8}$ | 1,43 | 16,708 | 1 | 1,78 | 25,953 | $\frac{13}{8}$ | 3,17 | 43,183 |
| $\frac{5}{32}$ | 0,48 | 4,219 | $\frac{3}{8}$ | 0,98 | 10,089 | $\frac{11}{16}$ | 1,43 | 18,294 | $1\frac{1}{8}$ | 2,38 | 30,304 | $\frac{13}{4}$ | 3,17 | 46,357 |
| $\frac{3}{16}$ | 0,6 | 4,969 | $\frac{7}{16}$ | 1,19 | 11,978 | $\frac{3}{4}$ | 1,43 | 19,513 | $1\frac{1}{4}$ | 2,38 | 33,479 | $1\frac{7}{8}$ | 3,17 | 48,629 |
| | | | | | | | | | | | | 2 | 3,17 | 51,803 |

GWINT METRYCZNY

| Śr. gwintu mm | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu mm | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu mm | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu mm | Śr. drutu mm | Pomiar mm | Śr. gwintu mm | Śr. drutu mm | Pomiar mm |
|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|
| 1 | 0,18 | 1,162 | 3 | 0,3 | 3,143 | 7 | 0,6 | 7,286 | 16 | 1,43 | 17,261 | 33 | 2,38 | 34,838 |
| 1,2 | 0,18 | 1,362 | 3,5 | 0,48 | 4,032 | 8 | 0,79 | 8,477 | 18 | 1,43 | 18,503 | 36 | 2,38 | 37,080 |
| 1,4 | 0,24 | 1,666 | 4 | 0,48 | 4,380 | 9 | 0,79 | 9,477 | 20 | 1,43 | 20,503 | 39 | 2,38 | 40,080 |
| 1,7 | 0,24 | 1,891 | 4,5 | 0,48 | 4,805 | 10 | 0,98 | 10,669 | 22 | 1,43 | 22,503 | 42 | 3,17 | 44,693 |
| 2 | 0,24 | 2,115 | 5 | 0,6 | 5,589 | 11 | 0,98 | 11,669 | 24 | 1,78 | 24,796 | 45 | 3,17 | 47,693 |
| 2,3 | 0,24 | 2,414 | 5,5 | 0,6 | 5,937 | 12 | 0,98 | 12,290 | 27 | 1,78 | 27,796 | 48 | 3,17 | 49,935 |
| 2,6 | 0,3 | 2,819 | 6 | 0,6 | 6,286 | 14 | 1,43 | 15,261 | 30 | 2,38 | 31,838 | 52 | 3,17 | 53,935 |

| Kąt s | Tang s s | s^2 | $\frac{s^2}{2} \cos 30^\circ \operatorname{ctg} 30^\circ$ | $\frac{s^2}{2} \cos 27^\circ 30' \operatorname{ctg} 27^\circ 30'$ |
|------------|-----------------|---------|---|---|
| 0° 10' | 00291 | 0000085 | 000006 | 000007 |
| 20' | 00582 | 0000339 | 000025 | 000029 |
| 30' | 00873 | 0000762 | 000057 | 000065 |
| 40' | 01164 | 0001355 | 000102 | 000115 |
| 50' | 01455 | 0002117 | 000159 | 000180 |

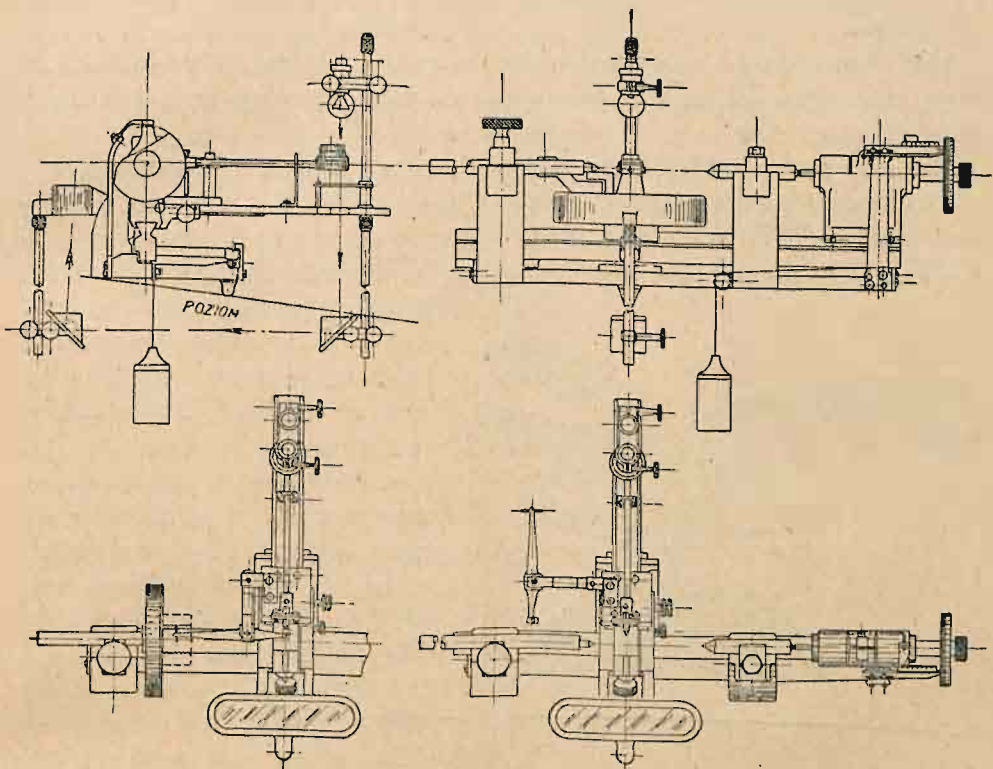
| Kąt S | Tang $s =$ S | S^2 | $\frac{S^2}{2} \cos 30^\circ \operatorname{ctg} 30^\circ$ | $\frac{S^2}{2} \cos 27^\circ 30' \operatorname{ctg} 27^\circ 30'$ |
|------------|-------------------|---------|---|---|
| 1° | 01746 | 0003049 | 000229 | 000259 |
| 10' | 02036 | 0004145 | 000311 | 000353 |
| 20' | 02328 | 0005420 | 000407 | 000461 |
| 30' | 02619 | 0006859 | 000514 | 000584 |
| 40' | 02910 | 0008468 | 000635 | 000721 |
| 50' | 03201 | 0010246 | 000768 | 000873 |
| 2° | 03492 | 0012194 | 000915 | 001039 |
| 10' | 03783 | 0014311 | 001073 | 001219 |
| 20' | 04075 | 0016606 | 001245 | 001415 |
| 30' | 04366 | 0019062 | 001430 | 001624 |
| 40' | 04658 | 0021697 | 001627 | 001849 |
| 50' | 04949 | 0024493 | 001837 | 002087 |
| 3° | 05241 | 0027468 | 002060 | 002340 |
| 10' | 05533 | 0030614 | 002296 | 002608 |
| 20' | 05824 | 0033919 | 002544 | 002890 |
| 30' | 06116 | 0037405 | 002805 | 003187 |
| 40' | 06408 | 0041062 | 003080 | 003498 |
| 50' | 06700 | 0044890 | 003367 | 003824 |
| 4° | 06993 | 0048902 | 003668 | 004166 |
| 10' | 07285 | 0053071 | 003980 | 004521 |
| 20' | 07578 | 0057426 | 004307 | 004893 |
| 30' | 07870 | 0061937 | 004645 | 005277 |
| 40' | 08163 | 0066635 | 004998 | 005677 |
| 50' | 08456 | 0071504 | 005363 | 006092 |

27. PRZYRZĄD DO SPRAWDZANIA SKOKU GWINTU. Ważnym elementem gwintu, wymagającym należytego sprawdzenia, jest skok gwintu. Poniżej podajemy opis przyrządu, służącego do tego celu, budowy warszyngtońskiego Bureau of Standards, który można wykonać na podstawie rysunków, dostarczanych przez wymienioną instytucję. Przyrząd powyższy składa się z trzech części: *a)* podstawy i kłków, w których zamocowywa się sprawdzian podczas mierzenia, *b)* saneczek, spoczywających na prowadnicach kulkowych, do których przymocowany jest mikrometr precyzyjny, określający przesuw i *c)* mechanizm czujnikowy. Wprowadzając pewną zmianę w konstrukcji podstawy, można przystosować przyrząd do mierzenia gwintów, nacinanych na stożkach.

Rys. 88 przedstawia widok z przodu i z boku omawianego przyrządu. Podstawa składa się z dość długiej prowadnicy, dwóch stojaczek do zamocowania ostrzy i podtrzymki bocznej. Saneczki posiadają kształt krzyża. Stanowi je prowadnica i podstawka do suporcika czujnikowego. Aby mikrometr umieszczony na saneczkach wywierał stale jednakowy

nacisk, saneczki są pociągane przez nitkę z ciężarkiem, przewieszonym przez rolkę. Przy wykonaniu przyrządu, specjalnej staranności wymagają prowadnice do kulek, którą to trudność możnaby ominąć, stosując prowadnice wałeczkowe.

Mechanizm czujnikowy składa się z dwóch odrębnych części. Jedną z nich jest zwykły pręcik, zakończony od strony śruby stylusem, wchodzącym w żłobek gwintu. Najważniejszą częścią jest natomiast czujnik optyczny, który służy do bardzo dokładnego ustalania pozycji stylusa.



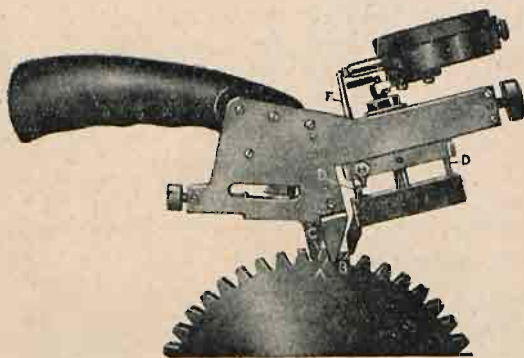
Rys. 88. Przyrząd Bureau of Standards do mierzenia skoku gwintów

Składa on się z małej soczewki na końcu dźwigienki, pozostającej pod stałym obciążeniem płaskiej sprężynki. Mała żarówka z prostym włóknem rzuca światło z góry na soczewkę, przyczem kreski, nacięte na szkłe samej lampki, wyznaczają wąski pęk promieni. Po dwukrotnym odbiciu się w szklanych przyzmacikach, wiązka promieni pada od spodu na matowe szkło, zaopatrzone w kreski, ustalające świetlny punkt. Dźwigienkę przybliży się lub oddala zapomocą małej precyzyjnej zębatki, aż punkt świetlny na matowym szkłe zajmie właściwe położenie. Czujnik optyczny służy do tego, by ustalić ściśle położenie saneczek, a tem samem i mikro-

metru względem nitki gwintu. Przez zastosowanie odpowiedniej przekładni czujnikowej można zmierzyć i gwinty wewnętrzne. Pierścień gwintowany zamocowywa się wówczas w specjalnym uchwycie, zastępującym ostrze.

28. SPRAWDZANIE KÓŁ ZĘBATYCH. Przyrządy do sprawdzania kół zębatach zaczęto stosować w praktyce dopiero od niedawna, pomimo wielkiego znaczenia, jakie posiada dla wielu działów techniki precyzyjna obróbka tych kół. Przyrządy te można podzielić na kilka grup. Jedne z nich, jak odontometry lub aparaty projekcyjne, o których będzie mowa w następnym rozdziale, służą do sprawdzenia profilu poszczególnych zębów. Inna grupa przyrządów ma na celu sprawdzenie podziałki każdego zęba. Jeszcze inna grupa polega na tym, że służy do sprawdzenia prawidłowości chwytu pary kół skojarzonych.

Odontometr Pratt-Whitney'a ma na celu sprawdzenie profilu zębów kół czołowych ewolwentowych, a pośrednio i podziałki w stosunku do zęba sąsiedniego. Odontometr jest budowany w trzech wielkościach, zależnie od wielkości modułu kół sprawdzanych. Przy modułach od 1 do 2,5 mechanizm czujnikowy jest nieruchomy i manipuluje się samym kółkiem, leżącym na odpowiednim stoliku. Przy średniej wielkości modułu od 2,5 do 8 odontometr otrzymuje kształt, przedstawiony na rys. 89. Odontometr do dużych modułów nie różni się od omawianej konstrukcji, posiadając jedynie odmienną rękę.



Rys. 89. Odontometr Pratt-Whitney'a

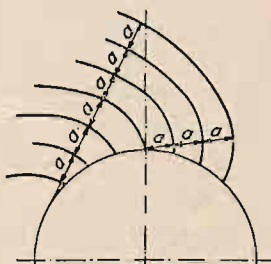
Zasada działania odontometru jest niezwykle prosta.

Mianowicie, mamy tu do czy-

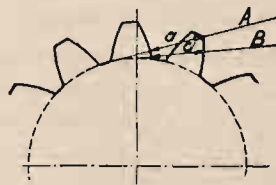
nienia z kilkoma zębami zębalki ewolwentowej, którą kojarzymy z zębami sprawdzanymi. Zęby powyższe, a raczej flanki tych zębów, są płaszczyznami dotykowymi. *A* jest flankiem stałym, równoległy do niej flank *B* jest ruchomy, zaś *C* jest flankiem opornikowym. Co prawda, *C* jest nastawne względem *B*, jednak o ile przechodzimy od jednego modułu do drugiego. Przy tym samym module możemy flank *C* uważać za stały. Flank dotykowy *B* jest prowadzony przez dwie giętkie sprężynki blaszkowe *D*, które tworzą oś obrotu bez luzu. Konstrukcja powyższa spotyka się bardzo często w nowszych przyrządach angielskich i amerykańskich i posiada wiele zalet. Zapomocą dźwigni dwuramiennej *F* przenosimy przesunięcia flanku *B* na tarczkę podziałową czujnika zegar-

kowego, którego wskazówka pokręca się o jedną podziałkę, gdy przesunięcie wynosi $5\ \mu$.

Rys. 90 wyjaśnia nam bliżej zasadę działania odontometru. Poszczególne ewolwenty, odwinęte z tego samego okręgu koła zasadniczego, są do siebie równoległe, i odcinki a , odmierzone



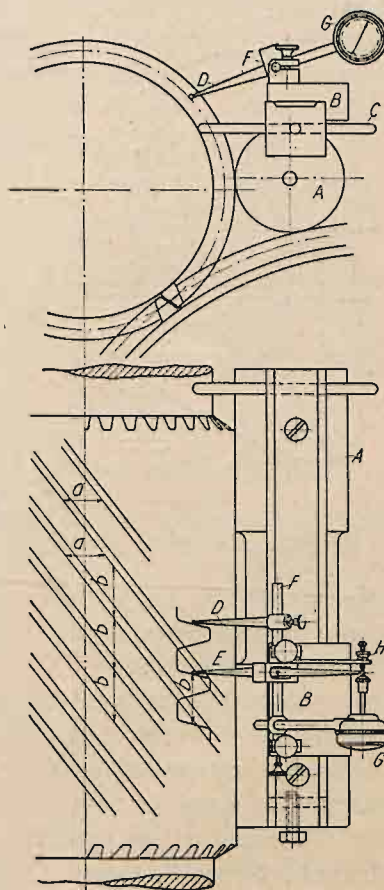
Rys. 90



Rys. 91

na tej samej stycznej do koła, są sobie równe. Zakres pomiarowy odontometru nie obejmuje bezpośrednio całego flanku zęba, lecz tylko jego część, jak to wyjaśnia rys. 91. Przechodząc od zęba do zęba, możemy jednak zbadać pośrednio całe flanki wszystkich zębów. Jeśli zęby są gładkie, to „bujając” lekko zębatkę odontometru na zębach sprawdzanych, możemy subtelnie zmierzyć niedokładności poszczególnych zębów i nawet z odchyłań zaobserwowanych na czujniku obliczyć długość okręgu podziałowego koła.

Do mierzenia skoku gwintu używa się najrozmaitszych przyrządów, których konstrukcje trudno tu podać. Jeden z najprostszych zasługuje na specjalną wzmiankę. Jest to sprawdzian czujnikowy do podziałek zębów wielkich przekładni turbinowych, jaki obmyślił i wprowadził do praktyki W. van West, inżynier amsterdamski. Nadaje się on do mierzenia podziałki osiowej kół śrubowych (rys. 92). Składa się on z wałka stalowego A ze żłobkiem, w którym spoczywa na stałe prowadnica prostokątna, po której przesuwa się aparacik czujnikowy. Wałek A jest namagnesowany tak, że jego położenie względem kół zębatych nie ulega zmianie. Położenie wałka A ustala się za pomocą pręcika C , opierającego się o gładką część wału. Na saneczkach czujnikowych, przesuwających się wzdłuż prowadnicy,

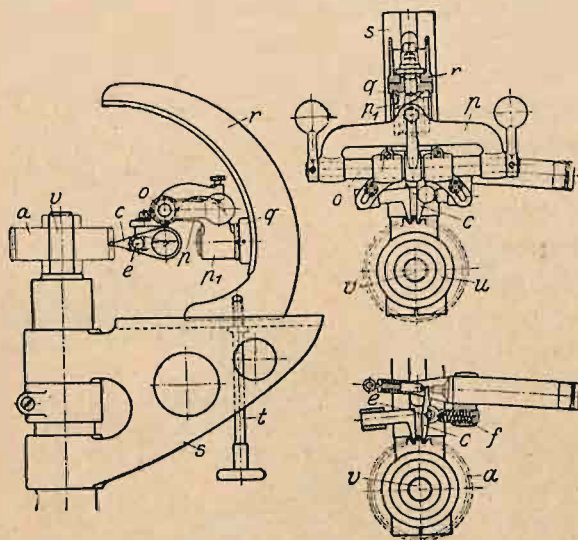


Rys. 92. Metoda van West'a

umieszczone są dwa stylusy, z których jeden D jest zaciskany na pręcie F , gdy drugi E waha się około osi pionowej i drugim swym końcem na-

ciska na guzik czujnika zegarkowego *G*. Śrubka regulująca *H* umożliwia sprowadzenie wskazówki czujnika do zera. Oba stylusy można obracać względem pręcika *F*, który można zacisnąć w łożyskach saneczkowych. Jeśli saneczki przesuwają w kierunku osi badanego koła zębatego, stylus *D* oprze się o jeden, zaś stylus *E* o następny ząb, przyczem ostatni odchyli wskazówkę czujnika. Omawiany przyrząd jest więc komparatorem dla poszczególnych podziałek. W dobrze działających przekładniach turbinowych, jakie się stosuje na okrętach, błąd podziałki według van West'a nie powinien przekraczać 30 μ .

Według pokrewnej zasady budowane są przyrządy do sprawdzania podziałek kół zębatych wytwórni Fortuna-Werke w Gannslatt. Rys. 93



Rys. 93. Przyrząd do sprawdzania kół zębatych

poznaje nas z takim uniwersalnym przyrządem do sprawdzania podziałek kół czołowych, ślimakowych i stożkowych. Stylusy nieruchomy i ruchomy *c*, działające na guziczek mimimetru Hirth'a, są umieszczone na suporcikach, wahających się względem wałka *o*. Stylus *c* opiera się o krawędź *e* i jest dociskany zapomocą sprężynki *f*. Same suporciki można ustawiać pod kątem. Są one zrównoważone zapomocą przeciwważarków, przymocowanych do wałka *o*. Koło badane *a* osadza się na trzpieniu *v*. Pomiar odbywa

się w sposób analogiczny, jak w przyrządzie van West'a, z tą różnicą, że wprowadzanie stylusów odbywa się z góry przez obrót suporcików względem wałka *o*.

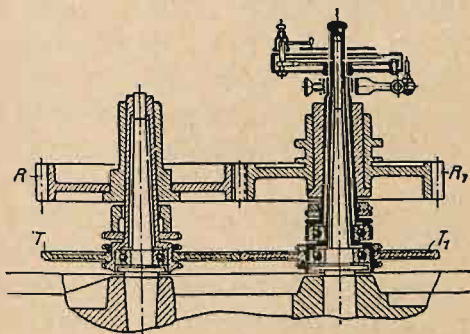
Nowością w tym przyrządzie jest możliwość dokonywania pomiarów z kołami stożkowymi i śrubowymi. W tym celu cały suport *p* daje się pokręcać zapomocą piasty *p₁* na skrócie *q*. Ponadto skręt *q* może być zamocowywany w dowolnym punkcie prowadnicy łukowej *r*.

Trzecią grupę przyrządów stanowią sprawdziany działania kół zębatych. Sprawdzianami funkcyjnymi nazywamy takie przyrządy miernicze, które wykazują mniej lub więcej sprawne funkcjonowanie pewnej części mechanizmu poza bezpośrednim sprawdzeniem jej wymiarów. Można by powiedzieć, że jeśli jakąś naprawioną część osadzimy zpowrotem w maszynie, to staje się ona naturalnym sprawdzianem działania dla tej

części. W praktyce zdarzają się niekiedy części o tak złożonych kształtach i powierzchniach, że niepodobna ich wymierzyć zapomocą indywidualnego sprawdzenia każdego wymiaru. Ostateczne wypróbowanie odbywa się wówczas na przyrządach, sprawdzających ich działanie, które posiadają wobec tego wielką doniosłość dla wytwarzania zamiennego. W niektórych razach jest rzeczą możliwą zaniechać wszelkich pomiarów kalibrowych i przejść bezpośrednio do sprawdzania działania. Odpowiednie przyrządy powinny ściśle odtwarzać działanie samej maszyny. Zdarza się niekiedy, że stanowią one dosłowną kopję danego mechanizmu.

Sprawdzenie wymiarów koła zębatego jest zagadnieniem wyjątkowo trudnem i złożonem, o ile zamierzamy sprawdzić każdy element koła. Natomiast o ile próba ma się ograniczyć do sprawdzenia działania przekładni, zagadnienie upraszcza się bardzo. Od przekładni zębatej żąda się, by przenosiła ona ruch w sposób jednostajny, co jest rzeczą możliwą do osiągnięcia, jeśli jest ona dokładnie wykonana. Jeżeli koła nie są należycie wykonane, otrzymujemy wskazówkę z pomiarów indywidualnych, gdzie należy szukać błędów fabrykacyjnych. Próba działania jest poławicznem załatwieniem sprawy, gdyż ujawnia ona braki, ale nie wskazuje przyczyn. Niemniej jednak w wielu razach jest ona bardzo pożyteczna.

Przy kołach zębatych mamy wyjątkowo wiele poważnych czynników, wpływających na bieg przekładni: profil zęba, podziałki zębów, współśrodkowość zębów z otworem, symetryczność zębów względem promieni, luz międzyzębny. Każdy z czterech pierwszych czynników wpływa na bieg przekładni. Co się tyczy luzu, to nie wpływa on na jednostajność biegu, i ponadto można go wyznaczyć doświadczalnie, osadzając koła we właściwej odległości środków i mierząc martwy ruch na obwodzie zapomocą czujnika.

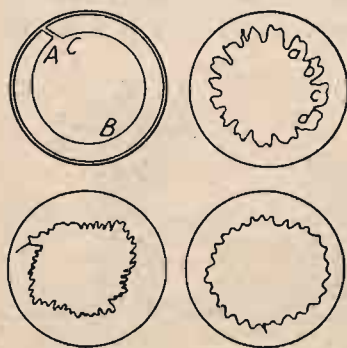


Rys. 94. Sprawdzanie przekładni

Rys. 94 przedstawia przyrząd do sprawdzania działania przekładni zębatej, zapomocą którego można zdjąć wykres niejednostajności biegu przekładni (rys. 95). Zasada działania przyrządu jest nader prosta. Koła zakłada się na dwa wrzeciona, które można rozstawić precyzyjnie według danej odległości między środkami. Pod każdym kołem znajduje się gładka tarcza o średnicy podziałowej koła. Jedno z kół zębatach i należąca doń tarcza są zaklinowane na wspólnej tulei. Natomiast drugie koło zębate jest osadzone na tulejce, niezależnej względem odpowiedniej tarczy. Do tulejki koła zębatego jest przymocowana dźwignienka, działająca na

wskaźnik czujnikowy z piórkiem samopiszącym. Tarczka jest połączona na stałe ze stolikiem do zamocowania arkusika papieru. Jeśli zaczniemy obracać koła zębate, to tem samem zaczynają się obracać dociśnięte do siebie tarcze. Wszelkie odchylenia kątowe koła zębatego względem krążka podziałowego rejestruje czujnik. Jeśli koła są dokładnie wykonane, i tarcze nie ślizgają się, na wykresie otrzymamy prawidłowy krąg. W przeciwnym razie otrzymamy linię falistą. Wykryć błędy, wynikające z wadliwego ustawienia przedmiotu, jest niezmiernie łatwo.

Rys. 95 przedstawia wykres przekładni dobrze wykonanej. Otrzymujemy mianowicie gładką linię spiralną, co przypisać należy umyślnemu powiększeniu jednej z tarcz w celu wykazania prawidłowości działania mechanizmu. Odległość pomiędzy punktami przy styku wyznacza ściśle odcinek, odpowiadający ruchowi względnemu kół.



Rys. 95

stawia wykres kół dobrze wyfrezowanych, lecz poddanych cementowaniu. Wszystkie zęby *a-b-c-d* dają chwilową niejednostajność biegu. Trzeci rysunek przedstawia wykres koła cementowanego z czterema żłobkami do wpustów. Wskutek zwichrowania, wywołanego przez te żłobki, na wykresie widzimy cztery wyraźne naroża poza odchyleniami, odpowiadającymi zwykłym zębom. Ostatni wykres przedstawia koła cementowane i szlifowane zapomocą metody, nie dającej prawidłowej ewolwenty. Nierówności są wyraźne, jednak z wykresu widzimy, że chwyt

jest miękki i flanki zębów są gładkie. Zwykle zęby po hartowaniu bez szlifowania nie posiadają tak miękkiego chwytu. Z wykresu powyższego wnioskujemy, że obrót nie jest ściśle okresowy.

Według pokrewnej zasady działają przyrządy do kół stożkowych i innych. W niektórych przyrządach do sprawdzania profilu tarcze podziałowe połączone są ze sobą cienką odwijającą się wstążką stalową, zapewniającą obrót bez ślizgania. W innych jeszcze tarcze podziałowe toczą się po prowadnicach namagnesowanych.

W wytwórniach samochodowych przyrządy do sprawdzania kół zębatach są powszechnie dziś stosowane. To samo tyczy się i wytwórni obrabiarkowych i innych.

W zakończeniu niniejszego rozdziału nie możemy pominąć sprawdzania złożonych profilów, co posiada szczególne znaczenie dla techniki wyrobu broni i amunicji¹⁾. Odpowiednie przyrządy są często niezmiernie

¹⁾ Metody sprawdzania wzorców i sprawdzianów. Wyd. Dptm. Uzbroj. M. S. Wojsk. 1921. Buckingham: The Principles of the Interchangeable Manufacturing, New-York 1922.

złożone. Toteż dziś istnieje tendencja uproszczenia przyrządów, opartych na wszelkiego rodzaju mechanizmach precyzyjnych, odtwarzających dane profile. Nieocenione usługi pod tym względem daje metoda czujnikowa. Polega ona na tem, że pewien punkt przyrządu przesuwają ręcznie po wzorcu, zaś sprzężony z nim guzik czujnika po sprawdzanym przedmiocie, np. po płaskim szablonie, umieszczonym nad zasadniczym wzorcem.

ROZDZIAŁ V

WIADOMOŚCI Z OPTYKI GEOMETRYCZNEJ

29. METODY OPTYCZNE SPRAWDZANIA PROFILÓW. Jakkolwiek pomiary według metod optyki geometrycznej były znane i stosowane oddawna w laboratoriach fizycznych i innych, to jednak wprowadzenie ich do techniki jest sprawą lat ostatnich. Zalety metod optycznych zostały szybko ocenione w praktyce. W wielu razach dają one możliwość ominięcia wyrobu kosztownych i szybko zużywających się wzorców profilowych. Pomiary trwają krótko i są bezpośrednie. Zwłaszcza sprawdzanie profilów wszelkiego rodzaju, jak kół zębatych, zębów frezów profilowych, gwintów, części kształtowych przy wyrobie broni i amunicji, nadaje się znakomicie do stosowania metod optycznych.

W przyrządach metrologicznych znajdują zastosowanie prawie wszystkie typowe narzędzia optyczne w rodzaju lupy, mikroskopu, obiektywów projekcyjnych, lunetek obserwacyjnych. Ze względu na specjalne cele, którym służą one w zagadnieniach metrologicznych, wprowadzono do nich zmiany, a raczej przystosowano je do tych celów. Najwięcej zastosowań znajduje przytem mikroskop i krótkoogniskowe obiektywy fotograficzne. Temi narzędziami będziemy się też najwięcej zajmowali. Należy zaznaczyć, że profile nie płaskie, jak np. śruby, nie zawsze dadzą się sprawdzać zapomocą metod optycznych, i z tego stanu rzeczy należy sobie zdawać sprawę. Obrazy optyczne przedmiotów mierzonych i porównywanych muszą być możliwie wierne, czyli proporcjonalnie odwzorowane, pozatem znacznie powiększone, jasne i wyraźne. Wymagania, stawiane dokładności wykonania profilów gwintów, czy kół zębatych, są wysokie, i musimy stosować powiększenia, wynoszące 50 i więcej razy. Niekiedy jest to rzeczą niemożliwą do osiągnięcia. Przy wyborze układu optycznego należy postępować ostrożnie i uwzględniać jedynie te układy, w których usunięto w dostatecznym stopniu różne błędy, o których będzie mowa poniżej.

W narzędziach optycznych mamy do czynienia, można powiedzieć, wyłącznie z układami, posiadającymi oś symetrii, czyli z układami wycentrowanymi. Tworzą je powierzchnie obrotowe, posiadające wspólną oś.