

dwu mas  $A$  i  $B$  nie wpływa jakakolwiek trzecia masa  $C$ , czyli, że działanie na masę  $A$  przez inne masy układu jestto wypadkowa sił pochodzących od mas  $B$ ,  $C$ , ... a działających na  $A$ . Nie jest to żadna konieczność logiczna, wyobrazić sobie bowiem można, że działanie masy  $C$  na  $B$  odbywa się w ten sposób, że z powodu tego działania masa  $B$  na masę  $A$  już nie działa w tej mierze jak w przypadku, w którym  $C$  nie istnieje.

Przytoczyłem poprzednio doświadczenia, mojem zdaniem, jedyne, które rozstrzygać mogą o słuszności lub niesłuszności wniosków wypływających z Zasad Newtonowskich. Zwykle, w ogólnych wykładach pokazywane doświadczenia nie mogą dać pewności, że istotnie stanowią izolowane zjawiska przyrody. Nasze sale wykładowe nie są to przestrzenie w rodzaju pudełek, które chronią w niej znajdujące się masy od działania mas będących poza tą z wszechświata wyodrębnioną przestrzenią. Wyjątek stanowi tu wahadło Foucaulta, albowiem obrót płaszczyzny wahadłowej, o ile tylko istnieje możliwość swobodnego obrotu, jest niezależny od jakichkolwiek sił rzeczywistych.

Wynik naszych rozważań teoretycznych wymaga przy sprawdzeniu tylko pomiarów odległości, względnie kątów obrotu. Zaś nie zawiera pojęć, które tkwią w zasadach samych, a więc: przyspieszenia, masy i siły. A jeśli chodzi o sprawdzenie tych zasad, natenczas trzeba ostatnie wprost badać, wyniki bowiem mogą wypłynąć i z innych zasad. Przecież można sobie wyobrazić, że inne zasady dynamiki prowadzą do tych samych wyników, które pomiarami można stwierdzić. Lecz właśnie, jeśli chcemy wprost sprawdzać Zasady Newtonowskie, wtedy napotykamy na trudności nie do przebycia. Pomijam na razie pojęcie przyspieszenia, co do którego przyjmuję, że mamy środki mierzenia, to bodaj przecież wiemy, co jest siła, a co jest masa.

Siłę ciężkości, która zachodzi w doświadczeniach, o jakich poprzednio wspominałem, sprowadza się do atrakcji

ziemskiej, prawa ogólnego ciężenia. To jeszcze jest zrozumiałe, o ile zadowolimy się wyrazem matematycznym, jaki nadał prawu grawitacji Newton, ale niepodobna wierzyć w „actio in distans”. Takie pojęcie siły, jako wzajemnego działania mas na odległość, zawiera z pewnością resztki mistycyzmu, który mianowicie panował wszechwładnie pod koniec wieków średnich. Rozpowszechniona była wiara w „utajone właściwości”, w ową „quinta essentia, materia coelestis” i t. p., a obok tego, w celu objaśnienia zjawisk, przyjmowano istnienie tajemniczych demonów, mieszkających w ciałach, a czasem niepokojących ludzi, które łaskawie wykonywały to właśnie, czego wymagało objaśnienie zjawiska. Takie tłumaczenie jest z pewnością najpierwotniejsze, które wynika z pierwiastka mistycznego, drzemającego na dnie istoty ludzkiej. Jeśli człowiek, będący na niskim poziomie kultury, coś ukradnie, wtedy na swoje umiennienie powiada, że go dyabeł do tego czynu skusił. Takie tłumaczenie, przyjmowanie jakiegoś agens działającego poza człowiekiem i regulującego z zewnątrz jego czyny, jest bardzo pierwotne, choć może wygodne, i dopiero pewna kultura zrodzi w człowieku przekonanie, że wszystkie jego czyny; jego szczęście, jego cała dola i niedola, wypływają z jego własnej istoty wewnętrznej, i że za wszystko, co czyni, co działa, ponosi sam odpowiedzialność.

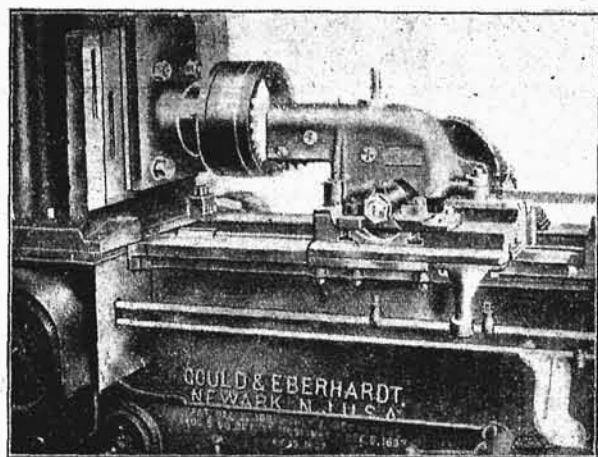
Tak też i tłumaczenie zjawisk odbywających się w świecie fizycznym, o którego istnieniu dowiadujemy się przez nasze zmysły, na podstawie siły z zewnątrz działającej jest bardzo pierwotne, ale, mimo wyteżeń myśli ludzkiej, dotychczas nauka nie osiągnęła tego stopnia rozwoju, aby wytłumaczyć wszystkie zjawiska z ich własnej istoty. Wymyślono niejedno, aby wyjaśnić przyczynę biegu ciał niebieskich, owo prawo grawitacji, któremu zjawiska, o jakich poprzednio wspominałem, podlegają, lecz dotychczas żadna próba wytłumaczenia się nie powiodła. Proste prawo Newtona pozostaje bez wytłumaczenia. (D. n.)

## Postępy w dziedzinie obróbki kół zębatych.

Podał Henryk Mierzejewski, inż. mech.

(Ciąg dalszy do str. 221 w № 21 i 22 r. b.)

*Obróbka kół ząbionych wewnętrznie i zębatek.* Kola z użębieniem wewnętrznym i zębatki są obrabiane zwykle według metod opisanych poprzednio. Kola z użębieniem wewnętrznym profiluje się zapomocą frezów kształtowych

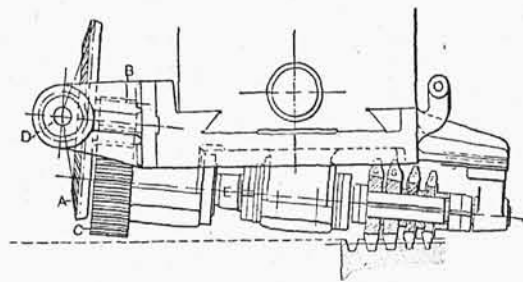


Rys. 44. Przrząd specjalny do obróbki kół z użębieniem wewnętrznym.

(rys. 44) bądź obwiedniowe na dłutownicy Fellowa, jak o tem mówiliśmy poprzednio streszczając zalety tej metody. Frez ślimakowy jest w danym razie nie do użytku, próbowano go zastąpić frezem ślimakowym specjalnego kształtu, jednak metoda ta nie znalazła zastosowania przemysłowego.

Przy obróbce zębatek stosowane są zarówno metody profilowania kształtowego, jak i obwiedniowego. Najczęściej zębatki frezuje się zapomocą frezów kształtowych, przyczem możliwość zastosowania kilku narzędzi naraz podnosi wy-

dajność pracy. Według metody Reineckera stosuje się szereg noży (rys. 45), z których jedne frezują zgruba, następne zaś wykończają wręby zębatki. Walek napędowy  $D$  przenosi obrót za pośrednictwem przekładni stożkowej  $A$  i czołowej  $B$  i  $C$  na wrzeciono robocze  $E$ , na którym osadzone są dwa frezy do zdzierania  $G$  i dwa do wykończania  $F$ . Nachylenie osi wrzeciona roboczego daje możliwość stosowania



Rys. 45. Metoda Reineckera obróbki zębatek.

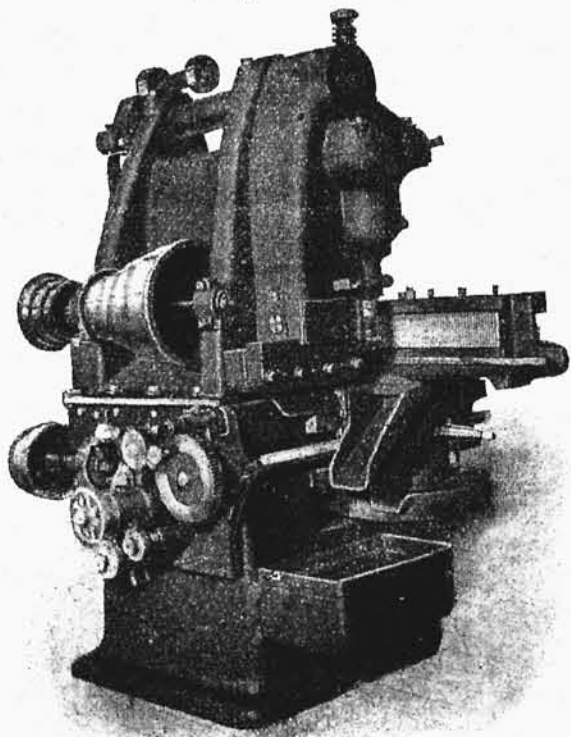
dużych średnic kół napędowych, co wpływa na równość biegu i umożliwia zdzieranie grubych wiórów.

Zwykle frezarki podłużne łatwo przystosować do obróbki zębatek. Specjalne uchwyty robocze dają możliwość narzyniania masowego różnych krótkich zębatek stosowanych w praktyce.

Z metod obwiedniowych w zastosowaniu do obróbki zębatek znana jest metoda Fellowa, która nie wymaga omawiania ze względu na swą prostotę i zupełną analogię do metody obróbki kół czołowych. Różnica polega na tem, że nie zębatka-narzędzie obrabia koło, lecz naodwrot koło zębate-narzędzie obrabia zębatkę. Rys. 46 przedstawia dodatkowe urządzenia przy dłutownicy Fellowa do obróbki zębatek.

**Obróbka kół eliptycznych.** Obróbka kół eliptycznych odbywa się zapomocą frezów kształtowych na specjalnych przyrządach podziałowych ustawianych na frezarkach uniwersalnych. Przyrządy podziałowe posiadają dość prymitywny mechanizm, naśladujący ruch ołówka przy wykreśleniu elipsy oraz zacisk umiejscawiający koło obrabiane w żądanym położeniu. Zainteresowany czytelnik znajdzie bliższe dane dotyczące tych przyrządów w dziełach Mac Cord: „Kinematics”; Grant: „A treatise on gear wheels”, Logue: „American Machinist Gear Book”.

**Obróbka walcowych kół śrubowych.** Omawiając różne rodzaje zazębienia, zwróciliśmy uwagę na zasadniczą różnicę, jaka istnieje pomiędzy przekładniami walcowymi krzywoliniowymi, czyli skrotnymi, a ślimakowo-śrubowymi. Mówiliśmy, że charakter krzywej zęba koła skrotnego może być bardzo różny. Ze względu na obróbkę skrotnego koła walcowe wykonywa się jako śrubowe. Prócz tego wykazaliśmy, że koła śrubowe mogą stanowić część składową najzupełniej różnych pod względem działania przekładni zębatych, jakkolwiek ich obróbka jest jednakowa.



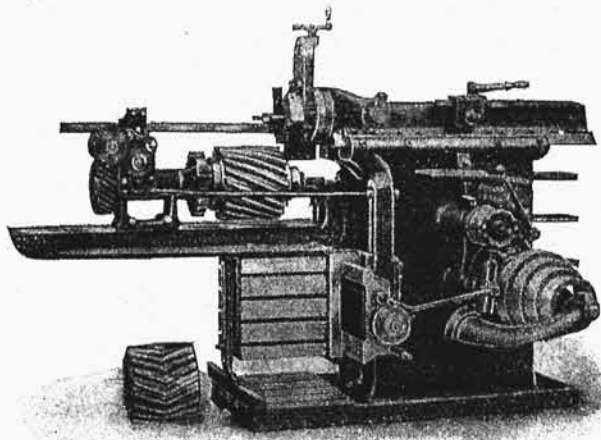
Rys. 46. Dłutownica Fellowa z urządzeniem do obróbki zębatek.

Napozór wydaje się rzeczą zbyteczną stosowanie walcowych kół śrubowych, jako bardziej skomplikowanych od zwykłych kół czołowych. Przyczyna ich wyższości praktycznej w wielu zastosowaniach polega na jednostajności i cichości biegu kół śrubowych. Jak wspominaliśmy o tem poprzednio, przyczyna hałasliwości biegu kół czołowych polega na przyspieszeniach i opóźnieniach, prędko po sobie następujących, a wynikających z odchyleni od profilu teoretycznego i głównie z interferencji profili. W kołach śrubowych zęby w chwycie stykają się nie według prostej, jak przy czołowych, lecz według krzywej. Gdy jedno punkty stykających się zębów znajdują się na obwodzie podziałowym, to inne leżą na obwodach pniów i wierzchołków, oraz pośrednich. Podobny stan rzeczy wpływa na ujednolicenie biegu, bardzo pożądane przy napędach elektrycznych i turbinowych. Zęby wypadają przytem mocniejsze, umożliwiając stosowanie większych momentów skręcających, czyli silniejszego napędu.

Koła śrubowe posiadają natomiast poważną wadę w postaci bocznego parcia w kierunku osi. Aby je usunąć, stosuje się koła daszkowe, których zęby składają się z dwu gałęzi śrubowych, tworzących charakterystyczny daszek. Dawniej koła daszkowe używano bądź lane surowe, bądź składające się z dwóch oddzielnych kół śrubowych, połączonych mocno śrubami. W ostatnich czasach obok tych kół w użycie wchodzi koła daszkowe całkowicie obrabiane

z jednej sztuki, co zawdzięczać należy postępom metod obróbki.

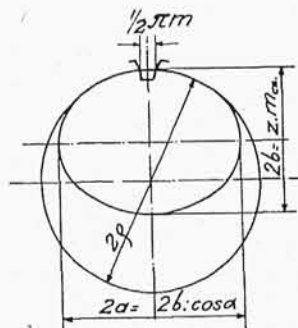
Śrubowe koła walcowe, przedstawiające najpospolitszy rodzaj kół o zębach krzywoliniowych, można narzynać zapomocą frezów kształtowych, ślimakowych i palcowych. Można obrabiać je na strugarce poprzecznej przy użyciu odpowiednich przyrządów dodatkowych (rys. 47), które nie cieszą się jednak powodzeniem wobec prędkiego zużycia krawędzi tnącej noża. Metoda noża kształtowego stosowana jest zato z powodzeniem przy obróbce ślimaków, czyli kół śru-



Rys. 47. Strugarka poprzeczna z przyrządem do obróbki kół śrubowych. Pokręcanie koła obrabianego odbywa się zapomocą drążka zębatego i przekładni.

bowych o bardzo małym pochyleniu gwintu; jednak i w tym zakresie jest ona wypierana przez frezowanie (frezarki typu tokarkowego). Użycie freza krążkowego posiada wadę podrywania pniów, wskutek czego otrzymuje się pewien błąd przy profilowaniu.

Przy profilowaniu kształtowem przyjęto jako zasadę używać normalnych doborów frezów, zmieniając średnice kół stosownie do pochylenia linii śrubowej. Aby to pojąć należycie, należy odwołać się do pojęcia t. zw. modułu czołowego i normalnego. Modułem czołowym, czyli t. zw. podziałką średnicową ( $t : \pi$ ) nazywamy moduł przekroju koła leżącego w płaszczyźnie prostopadłej do osi, lub na mocy określenia kół skrotnych, modułem elementarnych nieskończenie cienkich czołowych kół zębatych, których zespół składa się na koło skrotne. Moduł czołowy jest podstawą do obliczania średnicy podziałowej koła śrubowego, która równa się iloczynowi modułu czołowego przez liczbę zębów. Moduł



Rys. 48. Przekrój normalny koła śrubowego.

normalny odpowiada natomiast podziałce w płaszczyźnie prostopadłej do podziałowej linii śrubowej zęba. Wobec stosowania normalnych doborów frezów krążkowych, jakie znajdują się zwykle na składzie w narzędziarniach większych fabryk, szerokości narzynanych wrębów są z góry określone. Pomiedzy modułem czołowym a normalnym istnieje prosta zależność trygonometryczna

$$m_{cn} = m / \cos \alpha.$$

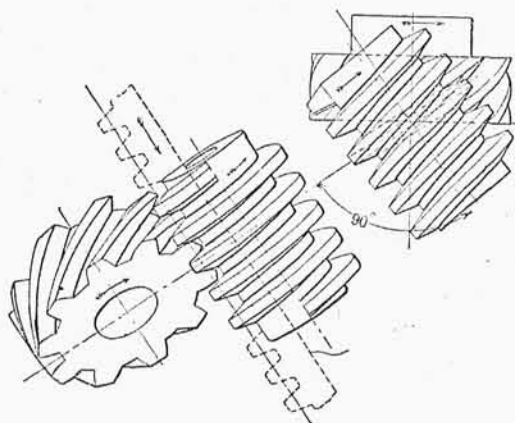
Tak więc, uwzględniając moduł czołowy, który jest wyrażony w liczbach ułamkowych, otrzymujemy również średnice ułamkowe, co nie jest zresztą wielką niedogodnością praktyczną.

Pozostaje jeszcze określić, jakiego freza z doboru 8- lub



15-frezowego należy użyć ze względu na profil. W tym celu zwróćmy uwagę, że płaszczyzna prostopadła do śrubowej linii danego zęba, przecina walcową powierzchnię podziałową według elipsy. Średnia linia śrubowa, leżąca na powierzchni podziałowej koła w pośrodku wręba, spotyka się z powyższą elipsą w jej wierzchołku, odpowiadającym małej osi. Przeprowadzając koło styczne do elipsy w jej płaszczyźnie w wymienionym punkcie, możemy uważać je za obwód podziałowy urojonego koła czołowego, posiadającego zęby o tym samym profilu, co i profil normalny koła śrubowego.

Mała oś elipsy posiada długość równą średnicy koła śrubowego  $m_{az} = mz/\cos \alpha$ , wielka oś natomiast posiada długość  $mz/\cos^2 \alpha$ . Promień krzywizny w omawianym wierz-



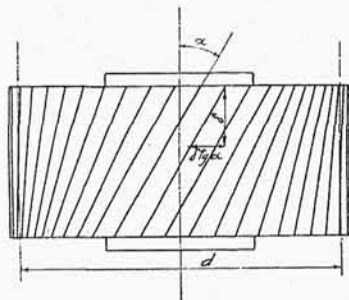
Rys. 49. Chwyt koła śrubowego i ślimaka.

chołku elipsy wynosi na podstawie znanego wzoru  $\rho = \frac{a^2}{b}$ , gdzie  $a$  oznacza połowę długości wielkiej, a  $b$  — małej osi elipsy:

$$\rho = \frac{m^2 z^2 \cdot 2 \cos \alpha}{4 \cos^4 \alpha \cdot mz} = \frac{mz}{2 \cos^3 \alpha}$$

Liczba zębów na kole urojonym wobec podziałki normalnej wynosiłaby  $z/\cos^3 \alpha$ , gdzie  $z$  oznacza liczbę zębów koła śrubowego. Ze wzoru ostatniego wynika, że przy frezowaniu kół śrubowych należy stosować frezy z profilami, odpowiadającymi większej liczbie zębów i to tem bardziej, im większe jest pochylenie linii śrubowej.

Przy obróbce kół śrubowych zapomocą freza ślimakowego przyjmuje się, że zwoje ślimaka są styczne do zębówki urojonej, będącej we chwycie z kołem śrubowym (rys. 49). Kołu obrabianemu i frezowi ślimakowemu nadaje się, takie



Rys. 50. Zależność dodatkowego obrotu koła śrubowego od posuwu freza ślimakowego.

ruchy obrotowe, jakie wypadłyby z prawidłowego chwytu koła śrubowego i zębówki. Kąt ustawienia freza względem koła obrabianego musi być, jak to sobie łatwo można przedstawić, sumą kątów pochylenia linii śrubowych koła i ślimaka.

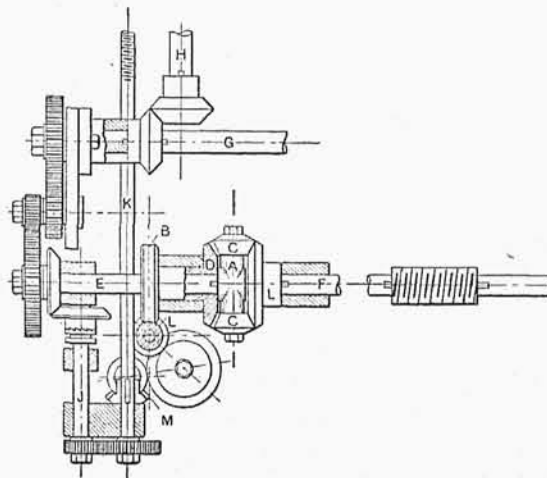
Przy obróbce koła narzynane otrzymuje, prócz obrotu zasadniczego, odpowiadającego chwytowi z obracającym się ślimakiem, bądź, co na jedno wychodzi, posuwaniu się zębówki urojonej, jeszcze dodatkowy obrót powolny, ze względu na pochylenie zębów koła. Rzeczywiście ślimak otrzymuje posuw w kierunku osi koła obrabianego: w miarę zagłębiania się ślimaka we wręby, należy obrót koła przyspieszać lub opóźniać, stosownie do rodzaju pochylenia linii śrubowej oraz wielkości posuwu.

Jeżeli  $\delta$  oznacza posuw freza ślimakowego, mierzony

w kierunku osi koła obrabianego, to jest rzeczą oczywistą, że owa względna prędkość dodatkowa wyniesie w stosunku do jednego zasadniczego obrotu koła obrabianego (rys. 50)

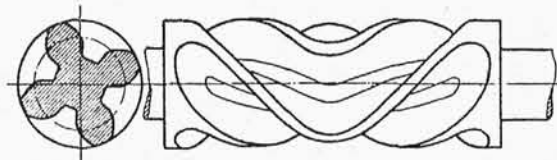
$$\delta \cdot \tan \alpha / \pi \cdot d.$$

Dodatkowy ten obrót jest bardzo powolny, wielkość jego jest uzależniona od posuwu. Urzeczywistnia się go zapomocą specjalnej przekładni ślimakowej, uzależnionej od mechanizmu posuwowego, co wprowadza pewne komplikacje w budowie obrabiarki. Schemat takiego urządzenia typowego przedstawia rys. 51.



Rys. 51. Schemat mechanizmu typowego w obrabiarkach do narzynania kół śrubowych zapomocą freza ślimakowego.

Obrabiarka otrzymuje główny napęd za pośrednictwem wałka  $H$ , który przenosi ruch zapomocą przekładni kół stożkowych na wałek  $G$ , pędzący mechanizm obrotowy freza ślimakowego. Drugie odgałęzienie głównego napędu, składające się z przekładni kół walcowych, przenosi ruch na wałek  $E$ , a następnie na wałek  $F$ , ze ślimakiem, obracającym stół z obrabianym przedmiotem. Od wałka  $E$  zapożyczony jest napęd mechanizmu posuwowego, składający się z przekładni kół stożkowych, sprzęgła włączająco-wyłączającego posuw, wałka  $J$ , przekładni zmianowej, zapomocą której zmienia się wielkość posuwów, wreszcie wałka  $K$ . Ponieważ, jak o tem mówiliśmy już poprzednio, dodatkowy obrót koła obrabianego musi być uzależniony od wielkości posuwów, przeto na wałku  $K$  osadzone jest koło stożkowe  $M$ , przenoszące ruch na koła zmianowe, które są potrzebne wobec rozmaitego pochylenia linii śrubowych koła, a następnie na przekładnię ślimakową  $L$ . Koło ślimakowe  $B$ , osadzone luźno na wałku  $E$ , obraca za pośrednictwem przekładni różnicowej  $D, C$  wałek  $F$ , niezależnie od ruchu obrotowego, przenoszonego przez oprawkę  $A$ , na której osadzone są koła stoż-



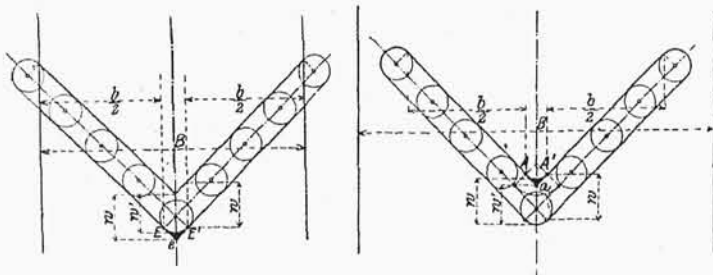
Rys. 52. Tryb daszkowy o czterech zębach, wykonany zapomocą freza pałkowego.

kowe  $C$ . Koła  $C$  nieruchome w chwili wyłączenia mechanizmu posuwowego, po jego włączeniu, zaczynają się obracać względem swych osi, przyspieszając, lub opóźniając obrót ślimaka, obracającego stół roboczy.

Z podanego opisu łatwo pojąć, że znaczenie zasadnicze w całej obrabiarce posiada owa przekładnia różnicowa, dająca możliwość niezależnego włączania dwóch obrotów: głównego prędkiego i dodatkowego powolnego. Jest również rzeczą charakterystyczną, że mechanizm do obrotu dodatkowego jest ściśle uzależniony od mechanizmu posuwowego.

Koła śrubowe można obrabiać na frezarkach uniwersalnych, stosując odpowiednie przyrządy dodatkowe; dotyczy to zarówno metody profilowania kształtowego, jak i obwiedniowego. Obrabiarki specjalne nie różnią się zazwyczaj (pomijając konstrukcje nie typowe) od opisanych poprzednio frezarek do kół czołowych. Frezarki, posiadające

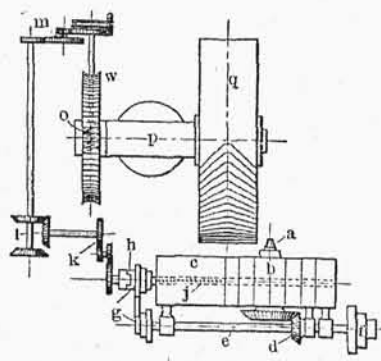
się frezem kształtowym, posiadają suport skrotny z wrzecionem, które można nastawiać pod kątem. Obrabiane koło otrzymuje obrót powolny, odpowiadający posuwowi (rys. 48). Oznaczając przez  $c$  prędkość posuwu, a przez  $v$  — prędkość obwodową obrabianego koła, otrzymamy następującą zależ-



Rys. 53 i 54. Obróbka właściwego daszka.

ność:  $c/v = \cotg \alpha$ . Jak widzimy z tego, koło nie jest nieruchome w chwili obróbki, jak koło czołowe, obrabiane zapomocą freza kształtowego.

Frezarki, posługujące się frezem ślimakowym, posiadają mechanizm z przekładnią różnicową, opisaną poprzednio. Typ ich zewnętrznie nie odbiega wiele od frezarki skombinowanej do profilowania kształtowego i obwiedniowego Gilde-meistra, przedstawionej na rys. 44.



Rys. 55. Schemat obrabiarki do kół daszkowych.

Prócz tych metod zasadniczych, na uwagę zasługuje obróbka zapomocą frezów palcowych. Jest ona dokładniejsza, gdyż profil wrębu narzniętego zapomocą tego freza odpowiada lepiej profilowi teoretycznemu, niż wrębu, obrobionego frezem kształtowym lub ślimakowym. Za to jest ona bez porównania zmuśnieszka i kosztowniejsza, wobec czego stosuje się ją wyłącznie do obróbki kół daszkowych.

Frez palcowy umożliwia obróbkę kół, budzących wprost podziw ze względu na swój kształt (rys. 52). Najtrudniejszą rzeczą jest wykonanie właściwego daszka ze względu na zwężenie wrębu: wewnątrz punktów styecznych  $EE$  szerokość wrębu  $w'$  jest nieco mniejsza od  $w$ . Należy przeto usunąć bądź spicz  $a$  (rys. 53), bądź zaokrąglenie  $e$  (rys. 54). Materiał zbyteczny można wydłutować lub usunąć zapomocą obróbki dodatkowej. Pozostawienie obrzeży wzmacniających koło daszkowe (rys. 54) nie przedstawia najmniejszych trudności.

Wady obróbki zapomocą frezów palcowych są natury praktycznej. Małe narzędzie tępi się prędko, co wpływa źle na jednostajność profilu. Przy ruchu nawrotnym mechanizmu obrabiarki, w celu otrzymania symetrycznego pochylenia linii śrubowych, z których składa się daszek, otrzymuje się wskutek nieuniknionego luzu pewne przestawienie podziałek.

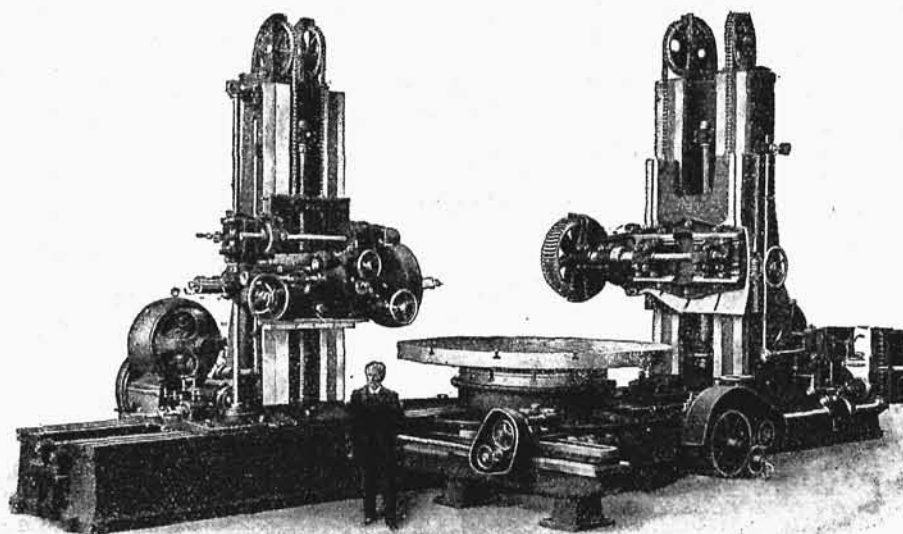
Schemat obrabiarki do freza palcowego przedstawia rys. 55. Wrzeciono z frezem palcowym  $a$  osadzone jest w san-kach  $b$ , przesuujących się wzdłuż łoża  $c$ . Wrzeciono jest

obracane za pośrednictwem przekładni kół stożkowych  $d$  i wałka z rowkiem na klin  $e$ , oraz stopniowego koła pasowego  $f$ . Mechanizm posuwowy otrzymuje napęd od wałka  $e$  za pośrednictwem stopniowych kół pasowych lub zębatych  $g$ , oraz sprzęgła  $h$ . Śruba pociągowa  $j$  przesuwa sanie  $b$ . Mechanizm obrotowy wrzeciona roboczego składa się z przekładni zmianowej  $k$ , przekładni nawrotnej  $l$ , kół zmianowych  $m$  do ręcznego przyrządu podziałowego, ślimaka  $o$ , koła ślimakowego  $w$ , osadzonego na wrzecionie roboczym  $p$ , na które zakłada się obrabiany przedmiot  $q$ .

Gdy frez palcowy dojdzie do środka koła, mechanizm zderzakowy przy saniach  $b$  zaczyna działać na przekładnię nawrotną  $l$ , dzięki czemu otrzymuje się odwrotny bieg wrzeciona  $p$ . Po obrobieniu drugiej gałęzi śrubowej specjalny mechanizm, nie przedstawiony na rys., podobnie jak i zderzakowy, cofa z powrotem sanie  $b$ . Przystawienie na następną podziałkę odbywa się zapomocą ręcznego przyrządu podziałowego  $m$ .

Obrabiarki do kół daszkowych są wykonywane przez kilka firm. Jedną z nich niezwyklej wielkości i nowoczesnej konstrukcji przedstawia rys. 56.

Drugą znaną metodą obróbki kół daszkowych jest profilowanie obwiedniowe zapomocą frezów ślimakowych przy przestawieniu o połowę podziałki dwóch gałęzi linii śrubowych, przez co unika się śpica przy właściwym daszku



Rys. 56. Obrabiarka do kół daszkowych Lorenza.

gdyż wręby mijają się wzajemnie (rys. 57). Metoda powyższa, nosząca miano metody Wuesta od nazwiska swego wy-



Rys. 57. Tryb 7-zębowy, wykonany według metody Wuesta.

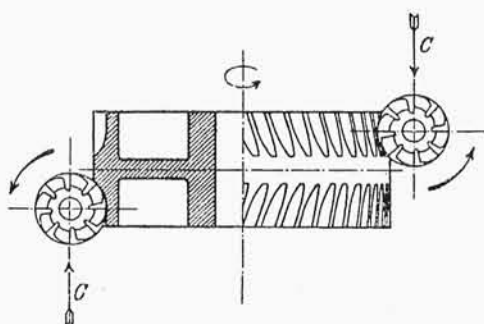
nalazcy, przedstawiona jest schematycznie na rys. 58, obrabiarka zaś sama na rys. 59.

#### Obróbka kół stożkowych.

Podobnie jak i przy kołach walcowych, należy wskutek pewnych założeń natury praktycznej odstąpić od stosowania profilu ściśle teoretycznego. Powierzchnie podziałowe są w danym wypadku stożkami o wspólnym wierzchołku, krzywe zaś profilowe znajdują się na powierzchni kuli,



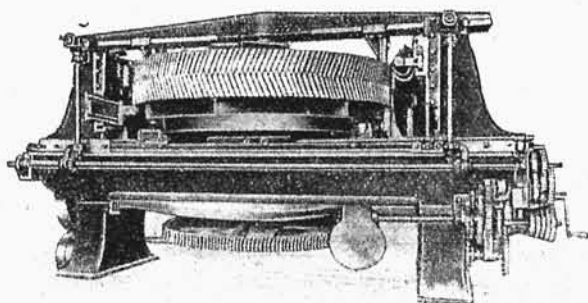
gdyż punkty opisujące je leżą na stałej odległości od wierzchołka. Wykreślanie i obliczanie ewolwenty kulistej jest rzeczą trudną, i dlatego w praktyce rozpowszechniła się przybliżona wykreślna metoda Tredgolda, polegająca na za-



Rys. 58. Schemat obróbki według metody Wuesta.

stąpieniu powierzchni kulistych przez rozwijalne na płaszczyźnie powierzchnie stożkowe (rys. 60).

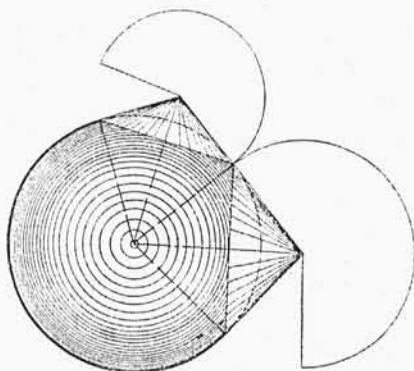
Profil ewolwentowy podobnie jak i przy kołach walcowych zwyciężył profile cykliczne. Ewolwenta kulista posiada swą krzywiznę przestrzenną, bardzo niewiele różniącą się od krzywizny powierzchni stożkowej, jeśli ostatnia jest styczna do kuli wzdłuż obwodu podziałowego koła. Jeżeli rozwinąć stożki styczne dwu kół stożkowych na płaszczy-



Rys. 59. Obrabiarka do kół daszkowych Wuesta.

źnie, to, jak to przedstawia rys. 61, otrzymuje się dwa wyinkni kołowe, zazębiające się wzajemnie jak dwa zwykłe koła czołowe (rys. 61). W praktyce jest rzeczą dostateczną określić profil zewnętrzny i wewnętrzny i na tej podstawie wyznaczyć przybliżony profil freza. Przybliżenie Tredgolda ma zastosowanie i przy struganiu kół stożkowych.

Dość często różni autorowie poprzestają na usprawnieniu naukowem przybliżenia Tredgolda, pomijając

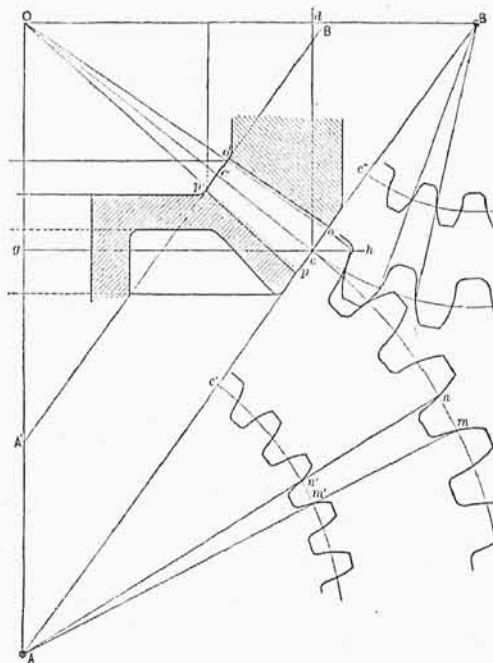


Rys. 60. Zastąpienie powierzchni kulistych przez stożkowe (przybliżenie Tredgolda).

obliczenie błędu, popełnionego przez zastąpienie ewolwenty kulistej przez płaską. Wobec tego, że przy obróbce są popełniane nowe błędy, należy być ostrożnym co do pomijania pierwszego, tem bardziej, że, jak to wykazał w cennej swej pracy o obróbce kół zębatych cytowany już przez nas Karol Barth, błąd ten wynosi np. przy kole stożkowem o 35 zębach,  $m = 8$ , około  $0,3 \text{ mm}$ .

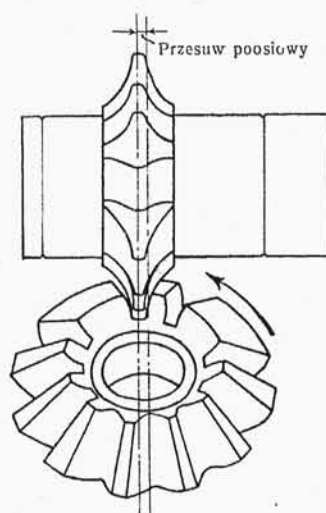
Frezowanie kształtowe jako metoda obróbki jest tak

dogodne, że nie dziwnego, iż używają go przy obróbce kół stożkowych. Można nawet powiedzieć, że metody tej nadużywają naogół. Z powodu stałego zważania się wrębu od  $mn$  do  $m'n'$  (rys. 61), kształt profilu zmienia się bez przerwy i frezować można jedynie zęby krótkie, biorąc pod uwagę przybliżenia dozwolone. Można użyć w tym celu frezy odpowiadające profilowi najmniejszemu i największemu, po-



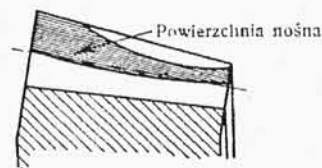
Rys. 61. Zewnętrzne i wewnętrzne profile kół stożkowych we chwycie.

prowadzić obróbkę kolejno z obu stron, a następnie poprawić profile pośrednie zapomocą pilnika. Większem powodzeniem cieszy się metoda całkowitego wykończenia koła na obrabiarce. Frez ustawia się tak, by jego płaszczyzna środkowa przechodziła przez oś koła, w tem położeniu wyrzyna się wręb zgruba, a następnie przesuwają się frez poosiowo, a koło obraca się na pewien kąt tak, że ząb otrzymuje prawidłowy profil na zewnętrznym obwodzie podziałowym, a przybliżony na wewnętrznym (rys. 62).



Rys. 62. Frezowanie koła stożkowego.

Oba boki wrębu należy oczywiście obrabiać oddzielnie, przedstawiając koło i narzędzie. Uszykowanie roboty następcza wiele trudności: wadą omawianej metody jest uzależnienie wyników od zręczności i dobrej woli robotnika. Zwykle frezy krążkowe nie nadają się do frezowania kół



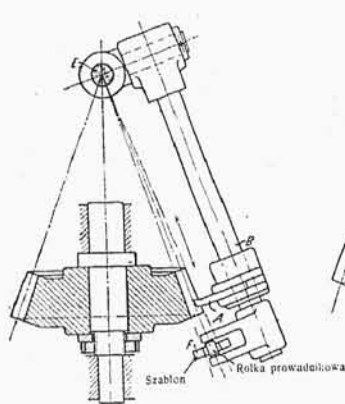
Rys. 63. Powierzchnia nośna kół stożkowych frezowanych zapomocą metody kształtowej.

stożkowych, gdyż wyrzynają za szerokie wręby, wobec czego należy stosować frezy o mniejszej grubości zęba.

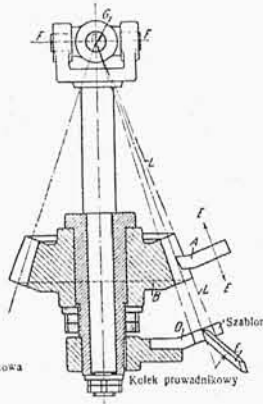
Teoretyczne badanie biegu tak wykonanych kół stożkowych jest rzeczą trudną i nie prowadzi do celu. Można badać je na drodze doświadczalnej, co uczynili Jones i Goddard, wskazując sposoby najdoskonalszego przybliżenia i równocześnie wykazując, że frezowane według tej metody koła stożkowe odpowiadają źle warunkowi prawidłowego zazębiania. Tak np. powierzchnia przylegania obejmuje zaledwie część powierzchni zęba (rys. 63), co wpływa źle na trwałość; nie też dziwnego, że przy prędkościach wynoszących

zaledwie 2 m/sek. tak wykonane koła stożkowe zaczynają hałasować.

O wiele lepsze wyniki daje metoda strugania kół stożkowych według szablonu. Strugarki działające według tej zasady dzielą się na dwie grupy. Do pierwszej należą te, w których przedmiot obrabiany jest nieruchomy, a narzędzie posiada obok ruchu tam i z powrotem jeszcze i posuw kierowany w przestrzeni zapomocą szablonu; do drugiej należą obrabiarki, w których narzędzie otrzymuje jedynie ruch roboczy, gdy natomiast przedmiot obrabiany porusza się krzywoliniennie w zależności od kierującego szablonu. Te



Rys. 64. Schemat strugarki do kół stożkowych Gleasona.



Rys. 65. Schemat strugarki do kół stożkowych Oerlikona.

dwa rozwiązania konstrukcyjne są przedstawione na rys. 64 i 65. Na pierwszym z nich nóż strugarski *A* przesuwa się wzdłuż prowadnika *B* równolegle do tworzącej zęba. Prowadnik *B* jest zaopatrzony w rolkę *C*, prowadzoną przez szablon *F*, który utrzymuje tym sposobem prowadnik *B* w odpowiednim położeniu względem obrabianego koła. Punkt styczności rolki *C* z szablonem *F*, krawędź tnąca i wierzchołek stożka podziałowego leżą stale na jednej prostej. Prowadnik *B* może się obracać poziomo i pionowo względem czopa *E*. Przy drugim rozwiązaniu (rys. 65) stosowanym w strugarkach Oerlikona, nóż strugarski *A* może się poruszać jedynie w kierunku *EE*, natomiast obrabiane koło opisuje krzywą zęba, prowadzone przez kołek *F* i szablon *D*. Koło obrabiane może się obracać na czopach *GG* i *FF*. Ciężar lub sprężyna dociska szablon połączony na stałe z wrzecionem roboczym do kolka prowadnikowego.

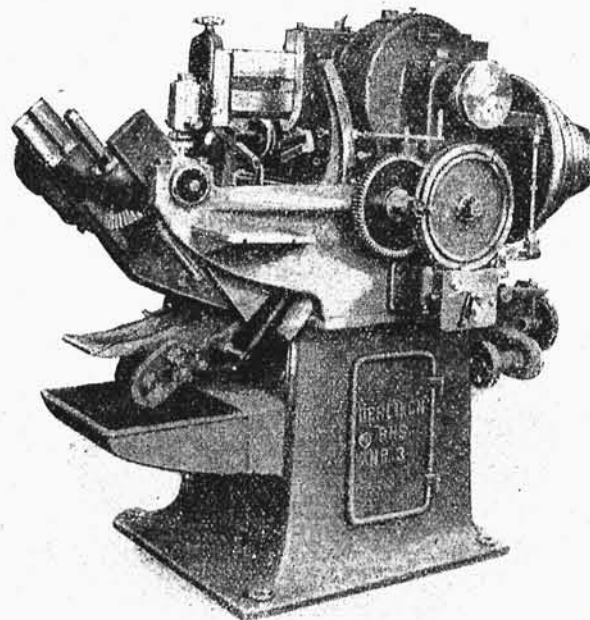
Z podanego opisu wnosimy, że narzędzie w strugarce Oerlikona odbywa ruch taki jak w zwykłej strugarce poprzecznej (shaping). Posiłkując się odpowiednim przyrządem podziałkowym, można nawet obrabiać koła stożkowe na strugarce poprzecznej, co jest rzeczą ogólnie znaną. Z podobnego przyrządu dodatkowego powstała drogą ewolucji specjalna strugarka do kół stożkowych Oerlikona (rys. 66), o czym świadczy jej budowa ogólna.

Suwak nożowy odbywa ruch tam i z powrotem, mechanizm dający ten ruch nie różni się niczem od tego, jaki jest stosowany w strugarkach poprzecznych. Koło obrabiane zakłada się na wrzeciono robocze, osadzone w ramie, zawieszoną na dwóch czopach, przechodzących przez wystające ku przodowi konsoli kadłuba obrabiarki. Do ramy przymocowane są dwa sektory zębate, widoczne na rys. 66, poruszane zapomocą dwóch trybików, osadzonych na wspólnym wałku i otrzymujących napęd za pośrednictwem koła zębatego i zapadkowego. Rama otrzymuje ruch wahadłowy, odpowiadający stopniowemu zagłębianiu się noża we wręb. Do wrzeciona roboczego przymocowany jest na stałe szablon, dociskany zapomocą sprężyny do wystającej części kadłuba: na rysunku szablonu tego nie widać, jednak na podstawie podanego poprzednio schematu łatwo pojąć jego działanie.

Ponieważ zarówno stożek, na którym ma się narzynać zęby, jak i szablon, są wykonane na podstawie rysunków, sporządzonych w biurze rysunkowym z możliwą praktycz-

ną dokładnością, przeto uszykowanie roboty polega przede wszystkim na dostosowaniu wzajemnego położenia stożka i szablonu. Najpierw ustawia się nóż strugarski tak, by przechodził on przez płaszczyznę symetrii całej maszyny, w której leży oś wrzeciona roboczego. W tym celu podkłada się odpowiedni przymiar do kadłuba obrabiarki, a następnie krawędź tnącą ustawia się według rysy na przymiarze. Nie jest to sposób dość pewny: zależy on w znacznym stopniu od dobrej woli robotnika. Następnie zakłada się obtoczony gładki stożek, a ramę podnosi się, aż krawędź tnąca noża strugarskiego będzie styczna do tworzącej zewnętrznej stożka. Potem zakłada się szablon, ustalając jego pozycję zapomocą kołków centrujących. Całość operacji jest taka sama, jak przy frezowaniu kół czołowych zapomocą freza kształtowego.

Profile kół stożkowych zmieniają się stosownie do kąta stożka podziałowego i liczby zębów. Przy dokładnej obróbce należy posiadać wielką liczbę szablonów, co wymaga poważnego nakładu kapitału. Można by ograniczyć się do przybliżeń, jak przy frezach kształtowych; ponieważ jednak błędy pochodzące z zastępowania ewolwenty kulistej przez płaską sumują się z nowymi błędami, wynikającymi z niedość dokładnego wykonania szablonów, ustawienia na obrabiarce i przyjętych przybliżeń, przeto należy być o wiele oględniejszym, niż przy kołach walcowych. W praktyce największą odpowiedzialność spoczywa na robotniku, co przeczy poniekąd zapatrywaniom na organizację pracy warsztatowej. Robotnicy odwołują się do metody empirycz-



Rys. 66. Strugarka Oerlikona do kół stożkowych.

nej, przymierzając koła pracujące ze sobą, sprawdzając je na specjalnych przyrządach do próbowania, i poprawiając następnie sami szablon.

Jakie znaczenie przemysłowe posiada dokładne i tanie wykonanie szablonów, świadczy fakt istnienia specjalnej obrabiarki Gleasona, mającej to wyłącznie na celu. W obrabiarce powyższej urzeczywistnia się frezowanie ewolwenty kulistej zapomocą szeregu złożonych ruchów i mechanizmów. Wskazuje to, jakich środków należy używać, by otrzymać dokładne profile, i jakie koszty są połączone z metodą strugania kół stożkowych według szablonów. Nic też dziwnego, że cały szereg konstruktorów pierwszorzędnych zajął się wynalezieniem metod obróbki i stworzeniem obrabiarek, posiłkujących się prostymi tanimi narzędziami do obróbki kół stożkowych. Pierwszy krok w tym kierunku uczynił w r. 1885 Hugo Bilgram, budując strugarkę, działającą według metody profilowania obwiedniowego.

(C. d. n.)