

Postępy w dziedzinie obróbki kół zębatach.¹⁾

Podał Henryk Mierzejewski, inż. mech.

Dziedzina stosowania kół zębatach, będących jednym z podstawowych elementów maszynowych przy przenoszeniu energii mechanicznej i stanowiących prosty i dogodny sposób zmiany prędkości obrotowych i momentów sił przenoszonych, rozszerzyła się niezwykle w ostatnich czasach. Spotęgowana wytwórczość przemysłowa w zakresie maszyn i urządzeń roboczych wywołała prędko wzrost zapotrzebowania na koła zębata. Równolegle z popytem wzrastały i wymagania pod względem wytrzymałości i trwałości kół zębatach, oraz cichości biegu, skłaniając do pracy na polu teorii ząbienia i budząc pomysłowość i twórczość w dziedzinie budowy obrabiarek specjalnych. Wielki wpływ na technikę wyrobu kół zębatach wywarło stworzenie prędkobieżnych maszyn i silników, oraz specjalnie samojazdów. Okazało się przytem, że warunek cichego i równego biegu kół zębatach jest trudny do spełnienia, zwłaszcza przy większych prędkościach obrotowych i że zastąpienie kół lanych surowych przez obrabiane mechanicznie nie wyczerpuje w zupełności zagadnienia. Zmniejszenie zużycia kół zębatach i hałasliwości ich biegu zależy od bardzo wielu czynników natury teoretycznej i praktycznej, tak, że wykonanie dokładne i zgodne z podstawami naukowymi natrafia nader często na nieprzezwyciężone trudności. Pomimo to jednak gałęź techniki, obejmująca wykonanie kół zębatach, może się poszczycić poważnymi postępami, czego najwymowniejszym dowodem są przekładnie zębata, zmniejszające liczbę obrotów turbin parowych o wielkiej mocy. Równolegle z wymaganiami co do jakości wykonania kół zębatach zjawilo się, wobec coraz powszechniejszego ich stosowania, za-

gadnienie taniego i prędkiego wytwarzania tych elementów maszynowych, wywołując dążenie do stworzenia obrabiarek o dużej wydajności, zbliżonych mniej lub więcej do typu automatów. Wyniki osiągnięte na tem polu są bardzo poważne.

Praca niniejsza ma na celu zobrazowanie ogólnych postępów w dziedzinie obróbki kół zębatach. Pominęliśmy w niej rozmyślnie wobec rozmiarów zagadnienia rozważania teoretyczne nad działaniem i budową rozlicznych przekładni zębatach, jakkolwiek wiążą się one organicznie z obróbką. Na pierwszy plan wysunęliśmy technikę wykonywania kół zębatach. Tam, gdzie zagadnienie wymagało specjalnego traktowania naukowego i rozwiązania, wskazane zostały odpowiednie źródła, ułatwiające czytelnikowi przystąpienie do jądra rzeczy. Uwzględnienie natomiast matematycznego obliczania błędów popełnianych przy wyrobie narzędzi i przy obróbce na maszynach, rozszerzyłoby zbyt obszernie zakres pracy, która ma na celu zobrazowanie dokonanych postępów w dziedzinie obróbki i zapoznanie z materiałem faktycznym.

Zanim rozpoczniemy omawiać wyrób przekładni zębatach, stosowanych w praktyce, należy, chociażby w sposób elementarny i pobieżny, ustalić ich podział na podstawie wzajemnego położenia osi obrotu, rodzaju t. zw. powierzchni początkowych, będących powierzchniami osi chwilowych ruchu względnego kół, wreszcie kształtu samych zębów. Uwzględniając wszystkie powyższe cechy charakterystyczne, które omówimy poniżej, możemy znaczną większość istniejących przekładni zębatach podzielić na następujące klasy:

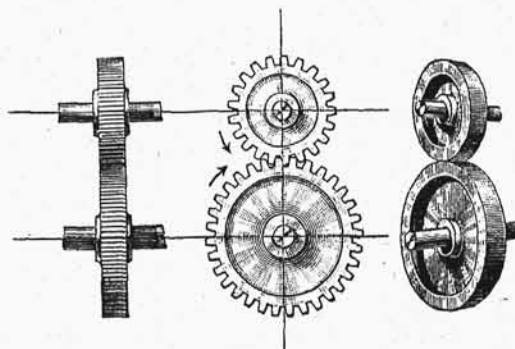
T a b l. I.

Z a z ę b i e n i e	Wzajemne położenie osi obrotu	Powierzchnie początkowe	Tworząca powierzchni zęba	Rodzaj kół według nazw, używanych w praktyce
Walcowe prostoliniowe (czołowe)	Równoległe	Walcowe	Prosta	Koła czołowe cylindryczne i eliptyczne
Walcowe krzywoliniowe (skrętne)			Krzywa (linia śrubowa)	Koła śrubowe i daszkowe
Stożkowe prostoliniowe	Przecinające się	Stożkowe	Prosta	Koła stożkowe
Stożkowe krzywoliniowe (skrętne)			Krzywa	Koła stożkowe, śrubowe, daszkowe
Hyperboloidalno-śrubowe	Krzyżujące się	Hyperboloidy jednowłokowe	Prosta	Koła skośne stożkowe. Koła hyperboloidalne Oliviera i Bealea.
Ślimakowe (śrubowe)	Krzyżujące się	Walce i powierzchnie obrotowe	Linia śrubowa	Koła śrubowe i ślimakowe. Przekładnie ślimakowe kuliste (globoidalne).

Pierwszą klasę stanowią przekładnie zębata, przenoszące ruch obrotowy pomiędzy osiami równoległymi. Najprostszym przykładem w tym razie jest przekładnia złożona ze zwykłych kół czołowych, których zęby są proste w kierunku swej długości (rys. 1). Powierzchniami początkowymi, odpowiadającymi gładkim kołom ciernym, przedstawionym obok na rysunku, są w kołach czołowych zwykle walce kołowe, o wiele rzadziej eliptyczne. Tworzącymi powierzchnie zębów są proste, równoległe do osi obrotu. Zęby we chwycie dotykają się według linii prostej.

Do tej samej klasy możemy zaliczyć przekładnie z ząbieniem walcowym krzywoliniowym, czyli skrętnym (rys. 2), które jednak wymaga pewnego omówienia. Powierzchnie początkowe tych kół są walcowe tak samo jak i poprzednie. Przekrój koła skrętnego w płaszczyźnie prostopadłej do osi nie różni się niczem od przekroju koła czołowego, jak o tem możemy się przekonać porównując rys. 1 i 2. Aby zrozumieć działanie tych kół, należy wyobrazić sobie, że koła

z ząbieniem krzywoliniowym składają się z wielkiej liczby nieskończenie cienkich tarcz, stanowiących elementarne koła czołowe z ząbieniem prostoliniowym, przy czem każ-

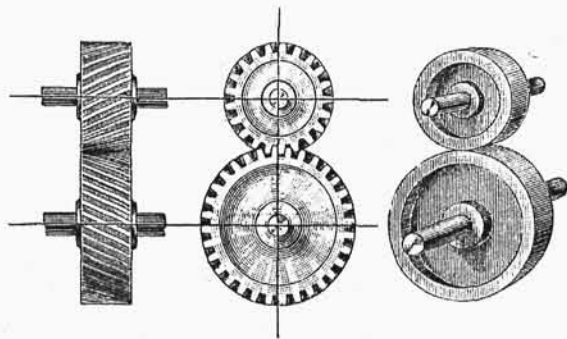


Rys. 1. Ząbienie walcowe, czołowe.

de dwie sąsiednie tarcze są przestawione względem siebie o bardzo mały kąt. Zasadę działania kół z ząbieniem krzywoliniowym możemy sobie uzmysłować zresztą jeszcze

¹⁾ Odczyt wygłoszony na posiedzeniu Koła Mechaników przy Stow. Techników w Warszawie w dniu 8 kwietnia 1914 r.

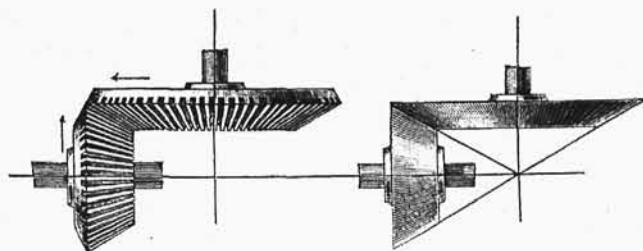
inaczej. Wyobrażamy sobie mianowicie, że skręcamy względem swych osi oba koła czołowe, będące we chwycie (rys. 1), nie naruszając w niczem przekrojów tych kół w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu. Ponieważ w każdym z takich przekrojów chwyt będzie istniał i nadal, więc zęby kół skręconych według podanego sposobu będą się dotykać wzdłuż ciągłej linii, nie będącej już jednak prostą, jak to było w kołach czołowych.



Rys. 2. Zazębienie walcowe, krzywoliniowe (skrętne).

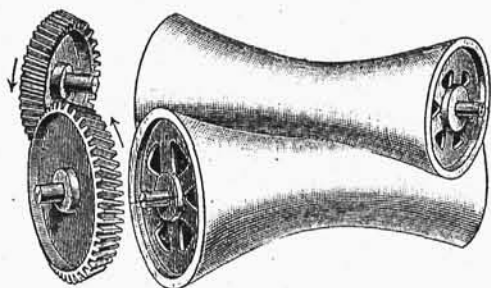
Prosta tworząca koła czołowego po dokonaniem skręceniu staje się krzywą, pozostającą jednakże na tej samej powierzchni walcowej. Łatwo pojąć, że krzywe powyższe mogą posiadać najróżnorodniejszy kształt, stosownie do rodzaju skręcenia. O ile skręcenie będzie jednostajne, linia prosta tworząca koła czołowego zamieni się na linię śrubową. W praktyce, ze względu na łatwość obróbki, stosuje się najczęściej koła śrubowe, rzadziej daszkowe.

Drugą klasę stanowią przekładnie zębate, przenoszące ruch obrotowy pomiędzy osiami przecinającymi. Ruch względny tych kół sprowadza się do toczenia się stożka ru-



Rys. 3. Zazębienie stożkowe prostoliniowe.

chomego po nieruchomym: powierzchniami początkowymi są więc w danym wypadku stożki o wspólnym wierzchołku (rys. 3). Zęby kół stożkowych we chwycie dotykają się wzdłuż linii prostych, będących tworzącymi powierzchni tych zębów i przechodzącymi przez wspólny wierzchołek stożków początkowych. Podobnie jak przy kołach walcowych, możemy wyobrazić sobie zazębienie stożkowe krzywoliniowe, polegające na skręceniu, w myśl określonej metody, zwykłego koła stożkowego tak, by tworzące powierzchnie zęba pozostały na tych samych powierzchniach stożkowych. Prawdopodobnie wykonać skrętne koło stożkowe jest rzeczą niemożliwą.



Rys. 4. Zazębienie hyperboloidalno-śrubowe.

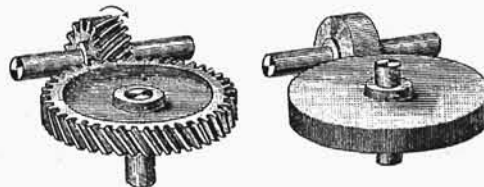
Bardzo ciekawą pod względem teoretycznym klasę przekładni zębatych stanowią koła hyperboloidalno-śrubowe, przenoszące ruch pomiędzy osiami, krzyżującymi się w przestrzeni. Powierzchnie początkowe tych kół są hyperboloidami jednopowłokowymi (rys. 4), a tworzącymi powierzchnie zębów są proste. Dawniej sądzono powszechnie, że powierzchnię zębów należy tworzyć, tocząc hyperboloidy po-

moenice po hyperboloidach początkowych: zasada powyższa była głoszona przez Willisa, Rankinea, Weisbacha, Reuleaux i innych. Amerykanie: Mac Cord, Grant, Beale, oraz niemiec Disteli wykazali, że zastosowanie hyperboloidu pomocniczego przy tworzeniu powierzchni zęba prowadzi do zazębienia wadliwego. Disteli wykazał prócz tego, że jest rzeczą możliwą użycie w tym celu powierzchni śrubowej¹⁾.

Z kół hyperboloidalno-śrubowych w praktyce przemysłowej znalazły zastosowanie jedynie koła skośne stożkowe, stanowiące ich wypadek szczególny, o których będzie mowa poniżej. Wynalezione przez Oliviera koła skośne t. zw. spiraloidalne, jakkolwiek prawidłowe pod względem zazębienia, nie weszły w użycie z powodu trudności wykonania i niedogodności praktycznych, polegających na przedkremieniu się powierzchni zębów. To samo można powiedzieć o kołach śrubowych z chwytem prostoliniowym, wykonanych przez Bealea, głównego kierownika Brown and Sharpe Mfg. Comp. w Providence (St. Zjedn.). Należy dodać, że koła Oliviera przenosiły ruch obrotowy w jednym tylko kierunku, gdy Bealeowi udało się wykonać przekładnię hyperboloidalną, działającą w obu kierunkach.

Bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle znalazła klasa przekładni śrubowo-ślimakowych. Nowsze piśmiennictwo techniczno-naukowe poświęca im wiele uwagi, traktując wyczerpująco geometryczne i mechaniczne własności tego zazębienia.

W przekładniach śrubowo-ślimakowych osi obrotu krzyżują się, a powierzchnie początkowe stykają się w jednym punkcie. Wynika z tego, że zęby we chwycie przylegają do siebie nie wzdłuż prostej, jak w poprzednich przekładniach, lecz w jednym punkcie; przez ciśnienie przyleganie rozszerza się na niewielką powierzchnię. Zwykle zazębienie kół śrubowych jest rozpatrywane w ten sposób, że przekrój jednego z kół uważa się za zębatkę, z którą pracuje drugie koło śrubowe. Jest to jednak przybliżony sposób badania, nadający się bardziej w stosunku do właściwych przekładni ślimakowych, składających się z koła śrubowego o bardzo małym pochyleniu linii śrubowej, czyli t. zw. ślimaka, i koła ślimakowego o dużym pochyleniu tej linii. Przekładnie ślimakowe dają duży stosunek przekładni; odwrotnie przekładnie śrubowe zmieniają prędkości obrotowe i momenty sił w węższym zakresie. Ścisłej granicy pomiędzy przekładniami śrubowymi a ślimakowymi wyznaczyć nie można; różnicę stanowi zwykle specjalny kształt powierzchni początkowej



Rys. 5. Zazębienie śrubowe.

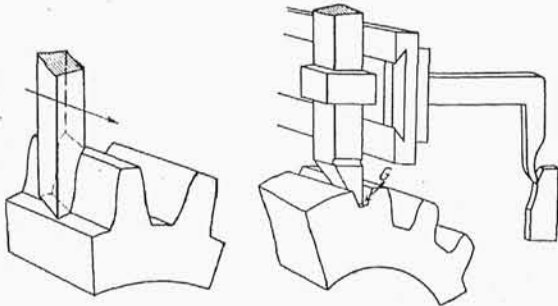
koła ślimakowego. Do cech, charakteryzujących przekładnie ślimakowe, należy zaliczyć również i to, że koło ślimakowe jest narzynane przez narzędzie, zbliżone swym kształtem najzupełniej do ślimaka, gdy w przekładniach śrubowych oba koła są obrabiane niezależnie.

Podane cztery główne klasy przekładni zębatych nie wyczerpują wszystkich rodzajów zazębienia stosowanych w praktyce. Tak powodzeniem cieszą się przekładnie ślimakowe kuliste, nazywane często od nazwisk wynalazców przekładniami Lorenza, Hindleya i in. Przekładnie czopowe, będące w powszechnym użyciu przed wynalezieniem nowoczesnych kół zębatych i wyparte z zastosowań przemysłowych, powracają do praktyki w zmienionej radykalnie postaci, jako nowoczesne przekładnie rolkowe. Charakter pokrewny z przekładniami zębatymi posiadają ulepszone znakomicie w ostatnich czasach łańcuchowe przekładnie zębate.

W przemyśle stosowane są głównie czołowe koła walcowe i stożkowe, mniej ślimakowe i śrubowe. Obrabiarki do wyrobu powyższych kół są najliczniejsze i najróżnorod-

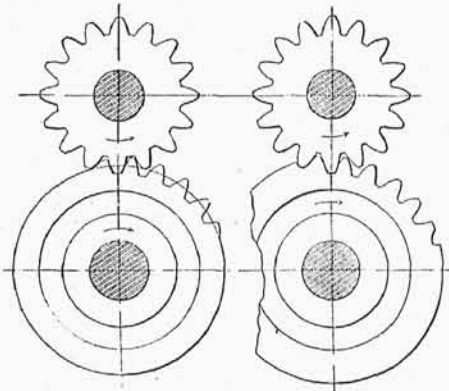
¹⁾ Disteli. Ueber instantane Schraubengeschwindigkeit und die Verzahnung der Hyperboloidraeder. *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, r. 1904. Również R. Crain. Schraubenraeder. *Werkstatt Technik*, 1907.

dniejsze. Wiele z nich daje możność obrabiania kilku rodzajów kół zębatach, np. walcowych, śrubowych i ślimakowych. Koła śrubowe daszkowe, eliptyczne i skośne stożkowe, stanowiące szczególną odmianę kół hyperboloidalnych, spotyka się o wiele rzadziej w zastosowaniach przemysłowych i do wyrobu ich służą najczęściej przyrządy ustawiane na innych obrabiarkach, niewyodrębnione w specjalne ma-



Rys. 6. Schemat profilowania kształtowego.
G — oznacza punkt profilujący.

szyny. Wyrób specjalnych przekładni skrzynnych i ślimakowych jest często strzeżony przez patenty. Dodać należy, że o ile obróbka typowych kół zębatach jest zbadana dość dobrze pod względem teoretycznym, o tyle w zakresie działania i wyrobu niektórych specjalnych przekładni pozostaje wiele rzeczy spornych, niewyjaśnionych lub zgoła wadli-



Rys. 7. Schemat profilowania chwytowego (obwiedniowego).

Odciskanie wrębów w krążku z masy plastycznej.

Dłutowanie zębów w krążku za pomocą koła zębatego — narzędzia (narzędzie posiada prócz ruchu obrotowego poprzeczny posuw roboczy).

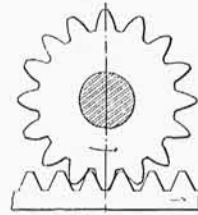
wych. Profile tych przekładni są wykończane często na drodze empirycznej, np. zapomocą docierania mechanicznego powierzchni.

Metody obrabiania typowych, najczęściej stosowanych kół zębatach, można podzielić na trzy grupy zasadnicze. Pierwsza z nich, metoda profilowania kształtowego, polega na tem, że narzędzie wycinające wręby na krążku nieobrobionym bądź posiada krawędzie tnące, odpowiadające zarysowi zęba, bądź też jest prowadzone przez specjalny szablon. Charakterystyczną cechą tej metody jest konieczność wykonania narzędzia lub szablonu w celu odwzorowania żądanej krzywej na kole obrabianem (rys. 6).

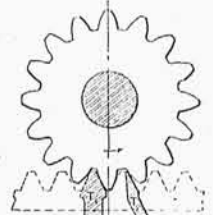
Druga metoda, profilowania chwytowego, polega na zasadzie wzajemnego chwytu pary kół zębatach¹⁾. Zespół tworzy w danym wypadku narzędzie i koło obrabiane. Najprostszym przykładem tej metody byłoby wytłaczanie zębów na krążku z masy plastycznej przez koło zębate, będące w danym razie narzędziem. Maszyna zmusza koło obrabiane i narzędzie do takiego ruchu, jaki istnieje przy wzajemnym chwycie pary kół zębatach (rys. 7). Metoda profilowania chwytowego przedstawia kilka odmian charakterystycznych i bardzo cennych w praktyce przemysłowej.

Metody powyższe nie są jedynymi i należy uważać je jedynie za najbardziej rozpowszechnione.

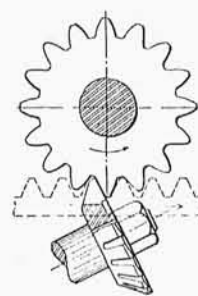
Istnieją jeszcze inne sposoby profilowania krzywych zęba, polegające na urzeczywistnianiu takich ruchów, że wynikiem ich jest otrzymanie



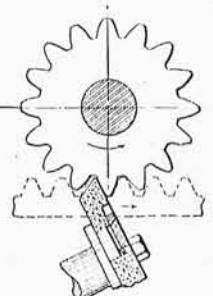
Rys. 8. Schemat metody profilowania chwytowego (obwiedniowego).



Rys. 9. Dłutowanie (struganie).



Rys. 10. Frezowanie.



Rys. 11. Szlifowanie.

Rys. 8—11. Sposoby obróbki kół zębatach według metody profilowania chwytowego (obwiedniowego).

wana również przy wyrobie narzędzi do obróbki kół zębatach.

Co się tyczy technologicznych metod wykonania, to przy obróbce kół zębatach jest stosowane dłutowanie (struganie), frezowanie i szlifowanie. Rys. 9—11 przedstawiają różne sposoby obróbki w zastosowaniu do metody profilowania chwytowego: dla łatwiejszego zrozumienia podany został również na rys. 7 schemat tej metody, polegający na odciskaniu wrębów w kole plastycznym przez zębatkę. Rys. 9 przedstawia dwie odmiany narzędzia: T_1 i T_2 , które posiadają poprzeczny ruch roboczy, a których krawędzie tnące odpowiadają profilowi urojonej zębatki, a mianowicie: nóż T_1 umożliwia obróbkę obu profili naraz, przedniego i tylnego, gdy nóż T_2 obrabia jeden tylko profil. W analogiczny sposób jak nóż strugarski działa frez i tarczka szlifierska. Ostatnia metoda jest stosowana najczęściej przy wykończaniu kół obrobionych po ich zahartowaniu i ma na celu usunięcie niedokładności, wywołanych przez procesy termiczne.

(C. d. n.)

¹⁾ Niemcy na określenie tej metody znaleźli wyrażenie: Wälzverfahren, anglicy: moulding-generating method. Na język polski trudno je dobrze przetłumaczyć. Możemy, uwzględniając związek pomiędzy zasadniczą treścią tej metody, a prawami kinematyki, nazwać ją metodą profilowania obwiedniowego, gdyż przy ruchu względnym profil koła obrabianego jest obwiednią kolejnych położań profili koła — narzędzia. Przyp. Aut.

Z TOWARZYSTW TECHNICZNYCH.

Stowarzyszenie Techników w Warszawie. Sprawozdanie z posiedzenia technicznego w d. 7 stycznia r. b. Na propozycję przewodniczącego inż. Alfonsa Kühna zebrani uczcili pamięć ś. p. Romana Rejewskiego. Protokółu nie odczytano z powodu nie wyjścia w świat *Przeglądu Technicznego*. W skrzynce zapytań nie znalaziono. Ze spraw bieżących przewodniczący odczytał list ks. Alfonsa Trepkowskiego, prefekta szkoły im. Staszica, w sprawie wzięcia udziału b. uczniów w jubileuszu dyr. Witolda Wróblewskiego. Następnie p. Ign. Bendetson zakomunikował wiadomość o przystąpieniu Stowarzyszenia Techników do Kooperatywy Stowarzyszeń Warszawskich. Z kolei zabrakł głosu prelegenta inż. Ludwika Knauff, wygłaszając odczyt na temat:

„Utrzymanie powierzchni ulic miejskich w czystości, sposoby oczyszczania i niszczenia śmieci i odpadków (padliny)“.

Odczyt ten, jak wszystkie z tej seryi, zostanie pomieszczony w *Przeglądzie Technicznym*, wobec czego nie podajemy jego streszczenia. Przewodniczący przypomina o odłożeniu dyskusji z poprzedniego odczytu inż. Sznuka i otwiera dyskusję najpierw na temat ostatniego odczytu. W dyskusji zabierali głos pp.: W. Budziński, Biberstein, Z. Sznuke, J. Chrzanowski, Meyer i Pinkus.

Dyskusję nad referatem p. Sznuka, wobec spóźnionej pory, odłożono. Wniosków członków nie zgłoszono.

Wł. Wr.