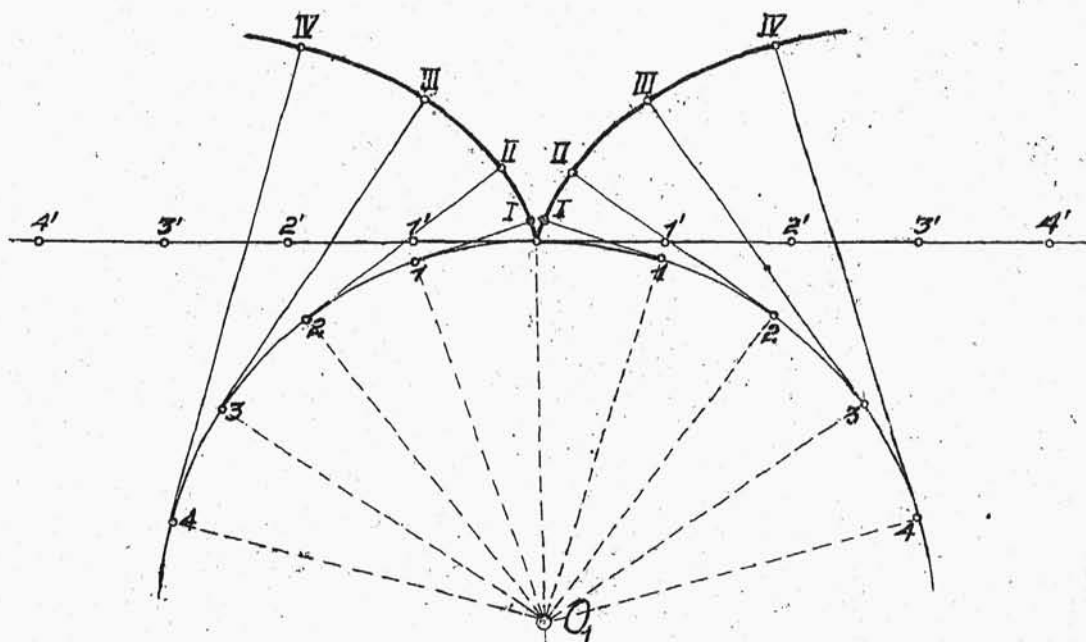


nia wewnętrznego jest to, że zęby koła większego / o zazębieniu wewnętrznym / są stosunkowo szerokie u podstawy; dlatego często zmniejsza się ich grubość, dając zęby mniejszego koła / z uzębieniem zewnętrznym / nieco grubsze. Co się tyczy liczby przyporu, to jest ona w wypadku zazębienia wewnętrznego większa, niż przy jednakowych warunkach zazębienia zewnętrznego, co, jak wiemy, wpływa dodatnio na łagodność ruchu kół. W zazębieniu wewnętrznym podstawy zębów pracują na większej długości, to też poślizg międzyzębny jest mniejszy, a co zatem idzie i zużycie się zębów jest mniejsze niż przy zazębieniu zewnętrznym.

§ 5. Profile ewolwentowe

Jak już było wspomniane poprzednio zazębienie ewolwentowe jest więcej rozpowszechnione niż cykloidalne ze względu na możliwość łatwiejszego uzyskania dokładnej obróbki zębów. Będziemy mieli na uwadze tylko ewolwenty kołowe t.j. powstające przy toczeniu się po kole rozwijanem innego koła o nieskończone wielkim promieniu czyli prostej. Jeżeli prostą A potoczymy po kole O_1 , to każdy punkt tej prostej zakreszli nam ewolwentę /rys.183/. Wyznamy na okręgu koła O_1 i na prostej, zaczynamc od punktu C , szereg punktów

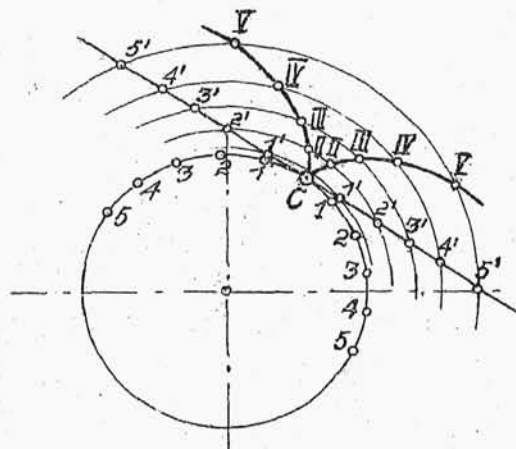
tak, aby łuki $C1, C2, C3, \dots$ i t.d. były odpowiednio



Rys. 183.

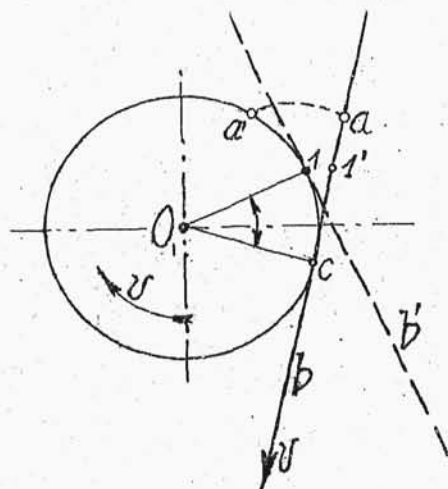
równe odcinkom $C1', C2', C3', \dots$ i t.d. Prowadząc następnie styczne do koła w punktach $1, 2, 3, \dots$ odmierzamy na nich kolejno od danych punktów odcinki $C1', C2', \dots$ i t.d., otrzymując punkty I, II, III, ... należące do ewolwenty, zakreślonej przez punkt C. Praktyczne wykreślanie ewolwenty odbywa się w sposób prostszy /rys. 184 /. Na kole rozwijanem odkładamy od punktu C łuki równe odcinkom prostej stycznej, mianowicie $C1=C1', C2=C2', C3=C3', \dots$ i t.d. Przez punkty na prostej $1, 2, 3, \dots$ kreślimy koła współśrodkowe z kołem rozwijanem, na których promieniami $C1', C2', C3', \dots$

zacinamy z odpowiednich punktów 1, 2, 3... punkty ewolwenty I, II, III, ... i t.d.



Rys.184..

cia kątową, a prosta b styczna w punkcie C niech posuwa się we własnym kierunku z prędkością linjową



Rys.185.

le, zajmie położenie prostej b' , stycznej w punkcie 1, a następnie prosta razem z kołem obróci się dooko-

Jak wiadomo, normalną do ewolwenty kołowej w danym jej punkcie jest styczna poprowadzona przez ten punkt do koła rozwijanego. Przydadzą się dalej następujące rozważania. Niech koło O , /rys.185/ obraca się z pewną stałą szybkością

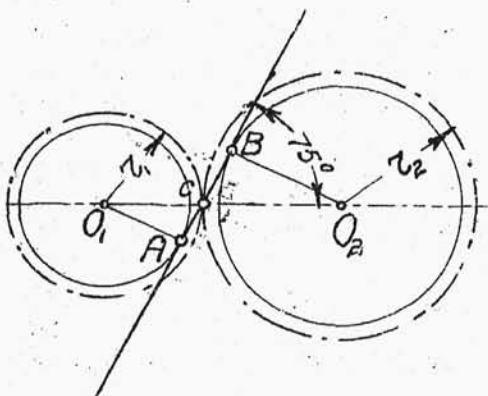
równą prędkości linjowej okręgu koła. Jeżeli łuk $C1 =$ odcinkowi $C1'$, to po pewnym czasie punkt 1 koła oraz $1'$ prostej pokryją się w punkcie C . Ruch ten może odbyć się inaczej. Mianowicie prosta b , tocząc

się po unieruchomionem ko-

ka środka O , na kąt odpowiadający łukowi CT . Widzimy, że ruch prostej rozkłada się na dwa ruchy, ruch względny, polegający na toczeniu się prostej po unieruchomionem kole w kierunku odwrotnym do ruchu założonego, oraz ruch unoszenia, powstały przez obrót koła wraz z prostą. Jeżeli więc koło obraca się i prosta styczna idzie we własnym kierunku z prędkością linjową okręgu koła, to ruch względny prostej sprowadza się do toczenia prostej po kole w kierunku przeciwnym. W tym ruchu względnym wszystkie punkty prostej na tarczy koła zakreślają ewolwentę. Weźmy na prostej punkt A . Gdy w ruchu bezwzględnym punkt A dojdzie do C , to w ruchu względnym punkt ten dojdzie do A' , opisując ewolwentę AA' . Oczywiście $CA = CA'$. Gdyby punkt A w ruchu bezwzględnym po przebyciu C powędrował dalej razem z prostą, to w ruchu względnym rozpocznie się wykreślanie drugiej gałęzi ewolwenty po przebyciu ostrza w A' .

Z a z ę b i e n i e e w o l w e n t o w e z e w-
n ę t r z n e. Wykreślamy prostą, t.zw. tworzącą, przez
punkt styczności C kół podziałowych często lecz nie
zawsze pod kątem 75° względem linii środków /rys.186/.
Następnie ze środków kół O_1 i O_2 spuszczaemy na nią pro-
stopadłe. Promieniami O_1A i O_2B wykreślamy koła, t.zw.

zasadnicze. Koła zasadnicze, które spełniają rolę kół



Rys.186.

rozwijanych, należą do tarcz kół podziałowych, mają więc te same prędkości kątowe.

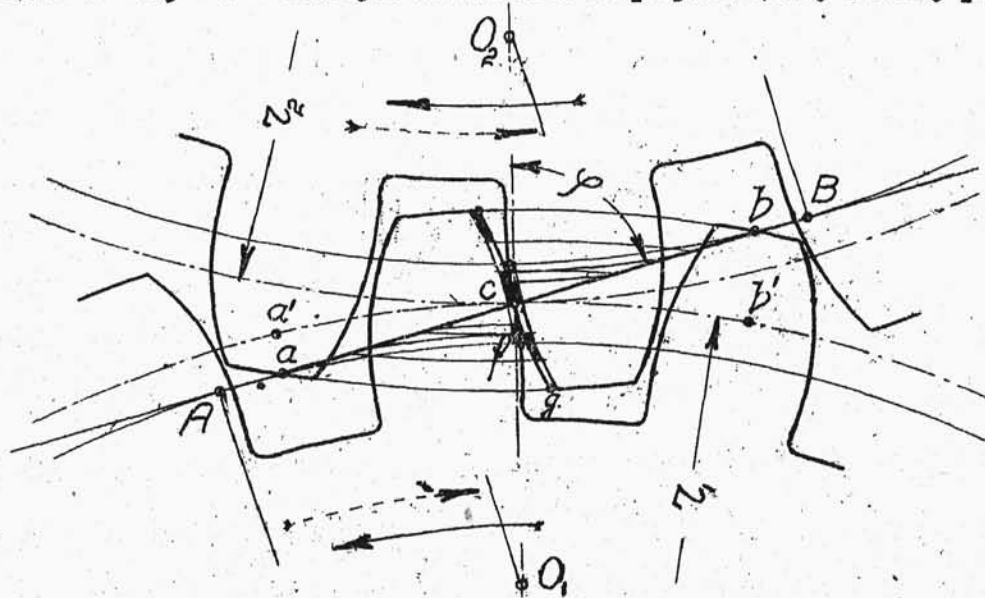
Ponieważ
$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{O_1 A}{O_2 B'}$$

zatem
$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{O_1 A}{O_2 B}$$

czyli

$$O_1 A \cdot \omega_1 = O_2 B \cdot \omega_2,$$

szybkości linjowo kół zasadniczych są więc sobie równe. Zakładamy, że koła podziałowe obracają się z równymi szybkościami linjowymi, zaś prosta tworząca porusza się we własnym kierunku z prędkością równą prędk-



Rys.187.

kości linjowej kół zasadniczych /rys.187 /. Zatem podobnie jak przy zazębieniu cykloidalnem zakładamy, że cel dla którego przygotowujemy zazębienie został osiągnięty.

Założmy, że kierunek obrotu kół odpowiada strzałkom ciągłym. W takim razie w ruchu bezwzględny punkt C związany z prostą tworzącą będzie dążył do A . Na ruchomej tarczy koła O_1 , jak wiemy z poprzedniego, zostanie narysowana ewolwenta cf tak, jakgdyby koło zasadnicze zostało zatrzymane a prosta potoczona od A w prawo. Zupełnie jednocześnie zostanie na ruchomej tarczy koła O_2 narysowana ewolwenta cg . Gdy dodamy ruchy unoszenia obie ewolwenty będą się obracały w kierunku strzałek ciągłych, mając stale kreślący je punkt wspólny, w którym np. normalne będą się pokrywać, pozostając na tworzącej a więc i przechodząc stale przez punkt styczności kół podziałowych. Możemy więc przyjąć ewolwentę cg jako profil wierzchołka koła O_2 , ewolwentę cf - jako profil podstawy koła O_1 . Profile te przy pracy dadzą ruch ze stałym przekłożeniem, przy jakim powstały. Linją przyporu będzie lewa część tworzącej /od punktu C /. Analogicznie, odwracając ruch kół w/g. strzałek przerywanych, wykreślimy wierzchołek zęba koła O_1 i podstawę zęba koła O_2 .

Linję przyporu będzie prawa część tworzącej. Pozostaje odłożyć grubość zębów i przeprowadzić koła wierzchołków i podstaw.

Ponieważ koło podstaw jest zwykle mniejsze od zasadniczego, zaś ewolwenta nie może wejść wewnątrz swej ewoluty /koła rozwijanego/, przeto pomiędzy niemi tworzymy niepracujące już części profilów zębów jako radialne proste, łączące się z kołem podstaw małemi łuczkami. Odcinek przyporu ab , t.j. czynną część linii przyporu wyznaczają koła wierzchołkowe. Pracujące części podstaw i listki przyporu wyznaczamy w analogiczny sposób, jak w zazębieniu cykloidalnem. Długość \mathcal{L} łuku przyporu $a'c'b'$, t.j. łuku koła podziałowego między skrajnemi położeniami przyporu profilu zęba, w wypadku zazębienia ewolwentowego nie jest równa odcinkowi przyporu, lecz jest od niego większa w stosunku prędkości kół podziałowego i zasadniczego.

$$\mathcal{L} = a'b'c' = ab \cdot \frac{z_1}{O_1A} = ab \cdot \frac{z_2}{O_2B};$$

ponieważ $O_1A = z_1 \sin \varphi$ więc $\mathcal{L} = \frac{a \cdot b}{\sin \varphi}$;
zaś liczba przyporu:

$$l = \frac{\mathcal{L}}{t} = \frac{a \cdot b}{t \cdot \sin \varphi};$$

Dla danej podziałki wartość liczby przyporu zależy od długości łuku przyporu

$$\mathcal{N} = \frac{ab}{\sin \varphi} - \frac{ac}{\sin \varphi} + \frac{bc}{\sin \varphi};$$

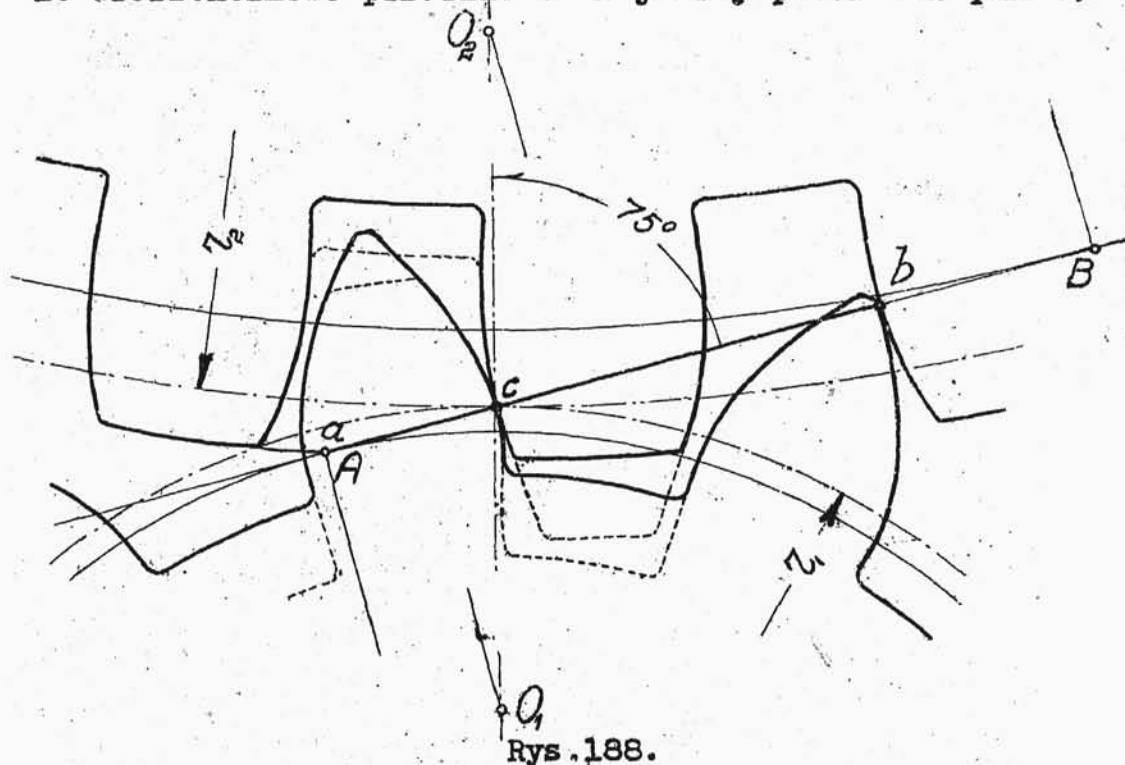
Zbadanie, jak się zachowuje cała funkcja \mathcal{N} ze zmianą kąta φ , wymaga bardzo długich przeróbek algebraicznych. Dla teorii zazębienia wystarczy ustalić, kiedy wzrastają każdy ze składników $\frac{ac}{\sin \varphi}$ i $\frac{bc}{\sin \varphi}$. Jest to już łatwiejsze. Odnośna analiza wskazuje, że dla wartości φ , stosowanych w zazębieniach ewolwentowych, łuk przyporu wzrasta ze wzrostem φ . Są to wzrosty niezbyt duże. Zwiększanie kąta φ ma zresztą tę nieprzyjemną stronę, że sprzyja powstawaniu zjawiska tak zwanego podcinania zębów ewolwentowych, które to zjawisko obecnie rozpatrzymy.

Prawidłową współpracę zębów odbywa się tak długo, dopóki ewolwenta pracuje z ewolwentą. Podstawa zęba jest kształtowana w/g. ewolwenty tylko do koła zasadniczego, z czego wynika, że na linii przyporu skrajnymi punktami są punkty A względnie B . Gdyby jeden z zębów był tak wysoki, że koło wierzchołków przecięłoby linię przyporu poza granicznym punktem A względnie B , to musimy sobie zdawać sprawę, że poza temi punktami tworząca przestałaby być linią

przyporu. Jeżeli w takim wypadku profilem podstawy wewnątrz koła zasadniczego jest radialna prosta, to zostaje ona żłobiona przez nadmiernie wysoki wierzchołek, o czym można się przekonać, wykreślając tor względny naroża.

Na tem polega podcinanie, występujące najpierw na podstawie koła mniejszego ze strony wierzchołka zęba koła większego. Jest ono wynikiem tego, że na tworzącej poza punktami A i B ewolwentowy wierzchołek zęba może prawidłowo pracować tylko z drugą gałęzią ewolwentowej podstawy, której w zazębieniu brak / patrz uwagi do rys.185/. Jednym ze sposobów uniknięcia podcinania jest zmniejszenie kąta φ , gdyż wtedy punkty graniczne prawidłowej współpracy A i B odsuwają się od siebie, przez co odcinek przyporu acb może wypaść całkowicie w granicach tych punktów. Zmiana kąta φ jest zupełnie łatwa przy kołach surowych odlewanych, gdy model zęba zostaje strugany dla danego wypadku. Łatwo również wówczas uniknąć podcinania przez zastosowanie zębów poprawionych. Przy kołach obrabianych ten sposób może być zastosowany, jednak nie przez zmianę kąta na profilu narzędzia, znormalizowanego na pewien stały kąt, lecz przez rozsunięcie odległości między osiami kół przy montażu. Niemcy i

Francja ustaliły kąt $\varphi = 70^\circ$. Ponieważ przy podcinaniu przeważnie tylko wierzchołek koła większego złości podstawę koła mniejszego, więc, aby zapobiec temu zjawisku, można obcinać o pewną wielkość wierzchołek koła większego, t.j. zastosować t.zw. korygowanie czyli poprawianie zębów. Jeżeli np. koło wierzchołkowe koła Q_2 /rys.188/ przecina linię przyporu poza punktem A , to obcinając wierzchołek koła Q_2 o taką wielkość, aby koło wierzchołkowe przeszło co najmniej przez ten punkt,

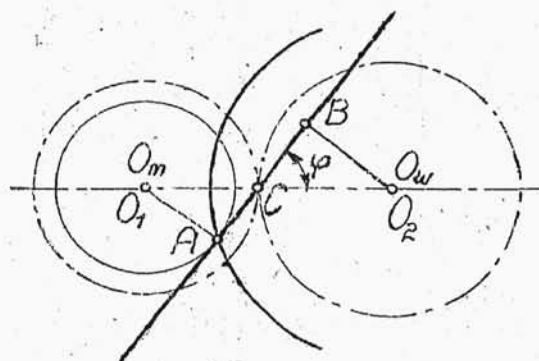


zapobiegamy podcinaniu zębów.

Ze względu na to, aby wysokość zęba nie uległa zmianie, należy u podstawy zębów koła większego wy-

rać materiał na głębokość równą obciętej części wierzchołka, zaś to pociąga za sobą wydłużenie wierzchołka koła mniejszego i dodanie materiału u jego podstawy. Na rys. 188 pokazany jest linią ciągłą zarys zębów już poprawionych, natomiast części zarysu, które należało zmienić zostały pokazane linią przerywaną. Innym sposobem zapobieganiu podcinaniu zębów jest stosowanie drobnej podziałki czyli zwiększanie liczby zębów, bo od podziałki zależą wymiary radialne zębów.

Dla każdego przekrożenia istnieje minimum zębów na kole mniejszem, przy którym dla danej wysokości wierzchołka zęba nie ma obawy podcinania zębów. W ce-



lu znalezienia tej najmniejszej ilości zębów, zbadamy graniczny wypadek przedstawiony na rys. 189, gdy koło wierzchołkowe koła większego O_w przechodzi przez punkt A . Dla trójkąta ACO_w możemy napisać równanie:

Rys. 189.

zemy napisać równanie:

$$(AO_w)^2 = (CO_w)^2 + (CA)^2 + 2 \cdot CO_w \cdot CA \cdot \cos \varphi;$$

Oznaczając przez r_w i Z_w promień i ilość zębów koła większego, przez r_m i Z_m - koła mniejszego, zaś h_p - wysokość wierzchołka zęba, mamy:

$$AO_{\omega} = z_m + h_2;$$

$$CO_{\omega} = z_{\omega}; CA = z_m \cdot \cos \varphi;$$

$$|z_{\omega} + h_2|^2 = z_{\omega}^2 + |z_m \cdot \cos \varphi|^2 + 2 \cdot z_{\omega} \cdot z_m \cdot \cos^2 \varphi;$$

$$z_{\omega}^2 + 2 \cdot z_{\omega} h_2 + h_2^2 - z_{\omega}^2 - z_m^2 \cos^2 \varphi - 2 \cdot z_{\omega} z_m \cos^2 \varphi = 0;$$

Dzieląc przez z_{ω} i zastępując $\frac{z_m}{z_{\omega}}$ przez $\frac{Z_m}{Z_{\omega}}$, otrzymujemy równanie kwadratowe względem niewiadomej $\frac{Z_m}{2 \cdot \pi}$; rozwiązując otrzymamy:

$$\frac{Z_m}{2 \cdot \pi} = \frac{h_2}{t} \cdot \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{Z_m}{Z_{\omega}} \left(\frac{Z_m}{Z_{\omega}} + 2 \right) \cdot \cos^2 \varphi}}{\left(\frac{Z_m}{Z_{\omega}} + 2 \right) \cdot \cos^2 \varphi}$$

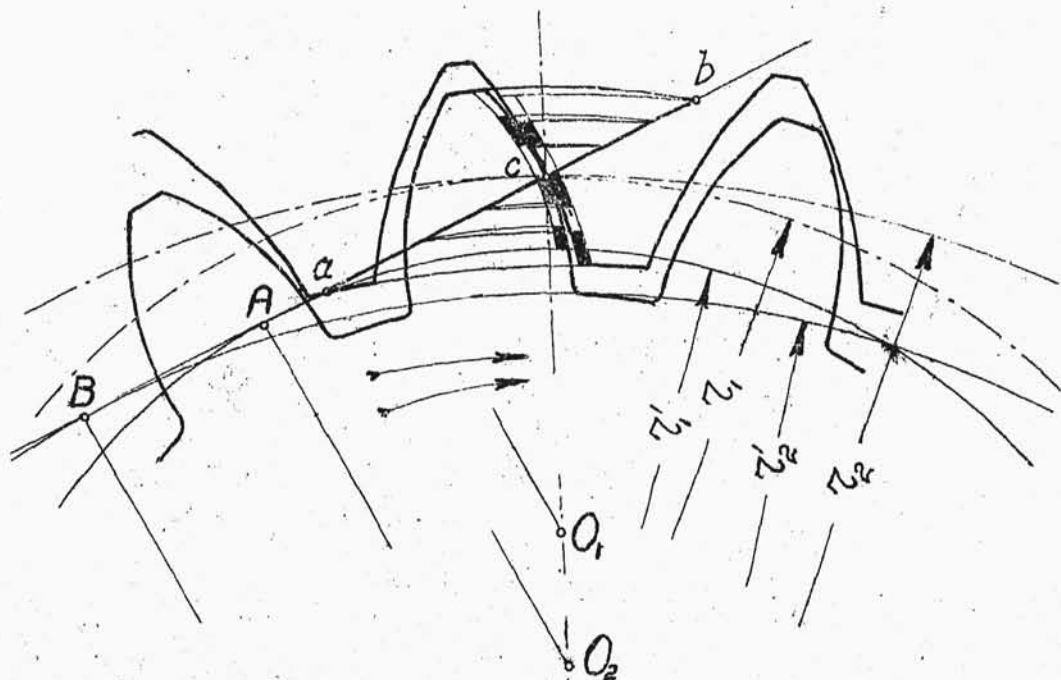
Z tego wzoru, mając ^{prze}łożenie, kąt φ i wysokość wierzchołka w częściach t , można znaleźć po skróceniu przez nieznane t najmniejszą liczbę zębów, przy której nie zachodzi podcinanie. Tablica XIX /str.269 / podaje te liczby zębów przy różnych kątach φ i wysokościach wierzchołków dla najczęściej spotykanych przełożeń $/\infty$ - oznacza przełożenie dla zazębienia z zębatką/.

$\frac{Z_{\omega}}{Z_m}$	1	1,5	2	3	4	5	6	8	∞
Z_m $\varphi=75^\circ; h_2=m$	21 22	22	25	26	27	28	28	29	30
Z_m $\varphi=70^\circ; h_2=m$	13	-	15	16	16	16	17	-	18

Tablica XIX.

Należy bardzo dobitnie podkreślić, że niema zupełnie potrzeby zachowywać przy każdym zadaniu napędu zębatego przytoczone najmniejsze liczby zębów. Trzeba mieć na uwadze istniejące sposoby uniknięcia podcinania inną drogą. Często warunki zadania nakazują właśnie konstruktorowi dobierać małą liczbę zębów ze względu na wymiary urządzenia. Chodzi tylko o to, by wybór liczby zębów był świadomy, by uwzględnić możliwość wykonania. W tym celu należy zdawać sobie sprawę ze sposobów obróbki i wiedzieć który z tych sposobów jest do naszego rozporządzenia, ewentualnie porozumiewać się z warsztatem.

Z a z ę b i e n i e w e w n ę t r z n e /rys. 190/. Obierając prostą tworzącą pod pewnym kątem i tocząc ją po wykreślonych kołach zasadniczych, otrzymamy ewolwenty, jako profile zębów. W zazębieniu wewnętrznym promień koła wierzchołków koła większego $/Q_2/$ nie może być mniejszy 1/ od promienia r_2' swego koła zasadniczego, gdyż profil wierzchołka musi zachować postać ewolwenty do końca i 2/ nie może być mniejszy od Q_2A dla uniknięcia podcinania, bowiem wierzchołek większego koła musiałby pracować z radialną prostą podstawy mniejszego koła.



Rys. 190.

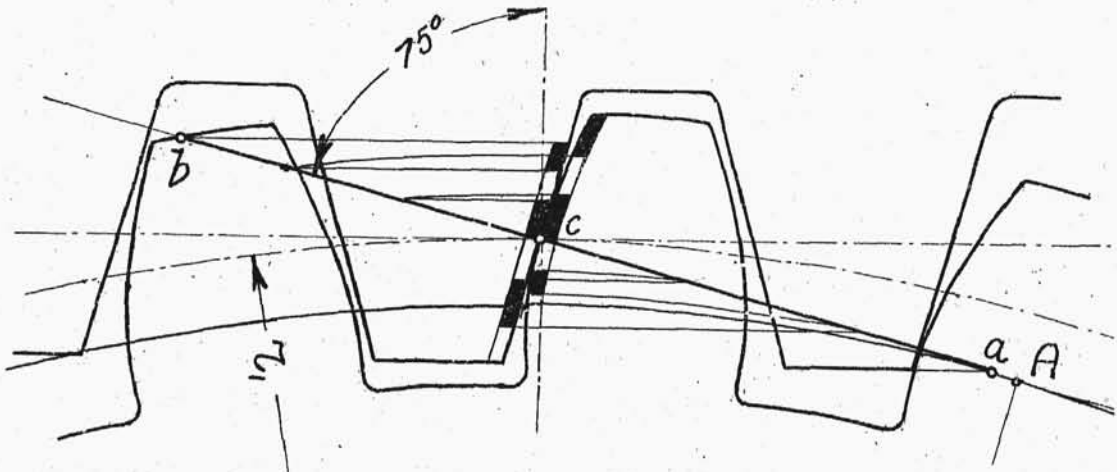
Zazębienie z zębatką / rys.191/.

Zębatka, czyli listwa zębata stanowi granicę między kołami o zazębieniu wewnętrznym i zewnętrznym. Koła podziałowe i zasadnicze zębatki mają promienie nieskończenie wielkie, to też ewolwenta ograniczająca jej ząb przechodzi w linię prostą prostopadłą do tworzącej.

Do wykreślenia profilu zęba koła współpracującego z zębatką, toczymy obraną pod odpowiednim kątem tworzącą po kole zasadniczym tego koła. Prowadząc proste względem ^{nie}koła wierzchołków i podstaw dla zębatki i dla koła zębatego z nią pracującego, otrzyma-

my zakończone profile zębów. Odcinkiem przyporu będzie *abc*.

Już wyżej mówiliśmy o większym rozpowszechnieniu kół ewolwentowych w porównaniu z cykloidalnymi. Tu jeszcze należy podkreślić ważną cechę kół ewolwentowych, mianowicie, że nie są one wrażliwe na niewielką zmianę odległości środków kół, która nie narusza prawidłowości zazębienia. Ta własność kół ewolwentowych



Rys .191..

pochodzi stąd, że profile zębów zależą jedynie od wielkości kół zasadniczych i po rozsunięciu osi, a razem z nimi i kół zasadniczych, zmienia się tylko kąt pochylenia tworzącej, której przecięcie z linją środków wyznacza nowy punkt styczności nowych kół tocznych; stosunek promieni tych nowych kół tocznych pozostaje równy stosunkowi starych; przełożenie nie

zmienia się jako równe stosunkowi promieni niezmiennych kół zasadniczych.

Ta własność kół ewolwentowych jest obecnie wykorzystywana dla celów uniknięcia podcinania.

§ 6. Koła zespołowe.

W praktyce spotykane są często całe zespoły kół, jak np. koła zmianowe w obrabiarkach, które wszystkie mogą ze sobą prawidłowo pracować dowolnymi parami. Takie komplety noszą nazwę kół zespołowych. Aby koła zespołowe mogły ze sobą prawidłowo pracować dowolnymi parami muszą mieć wspólny moduł /podziałkę/ i wspólną linię przyporu, symetryczną względem punktu styczności kół podziałowych.

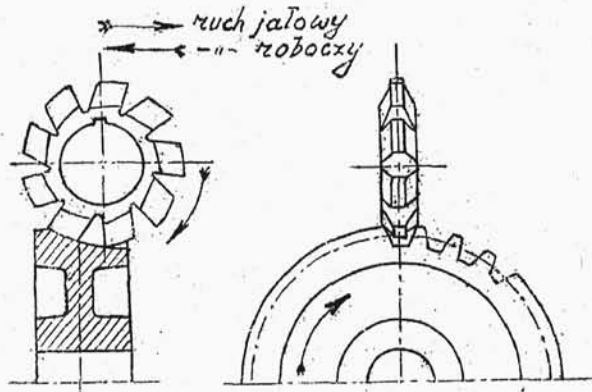
Ostatni warunek wymaga od kół cykloidalnych jednakowego promienia wszystkich kół odtaczanych, zaś dla ewolwentowych jednakowego dla wszystkich kół zespołu kąta pochylenia tworzącej / φ /.

Należy zauważyć, że prócz opisanych, powszechnie stosowanych zazębnień, istnieje szereg innych, stosowanych w specjalnych mechanizmach, których poznawać tu nie będziemy.

§ 7. Sposoby wykonania zębów

S u r o w e z ę b y l a n e. Przy małych szybkościach obwodowych kół podziałowych, nieprzekraczających 1,5 m/sek, przy bardzo starannem wykonaniu - 2 m/sek, stosowane są koła nieobrabiane. Lane uzębienie kół może być zaformowane przy pomocy modelu lub też maszynowo zapomocą odpowiednio wykonanych szablonów. W ostatnim wypadku zęby mają więcej jednostajny profil, jako formowane jednym szablonem; prócz tego maszyny do formowania mają specjalny aparat do podziału, który można ustawić na dowolną podziałkę i liczbę zębów, zaś najgorsze wady współpracy kół zębatych pochodzą od niedokładnej podziałki. W modelach każdy ząb jest strugany osobno i naklejany na wieńcu p/g. podziału modelarza. Sposób wykonania zębów lanych pozwala stosować dowolnie zęby cykloidalne i ewolwentowe, wybierać dowolnie kąt φ i dawać zęby korygowane. Dla wykonania modelu lub szablonu służą rysunki profili zębów, wykonane możliwie dokładnie oczywiście tylko w skali naturalnej. Jeżeli przy odlewaniu grubości zębów są wykonane z zapasem, to takie zęby można obrabiać na obrabiarkach.

O b r ó b k a f r e z e m k r ą ż k o w y m. Obróbka za pomocą freza krążkowego odbywa się na frezarkach uniwersalnych, zaopatrzonych w podzielnicę. Frez krążkowy /rys.192/ jest przygotowany za pomocą specjalnego profilowego noża. Podczas obróbki na maszynie



Rys.192.

frez ma dwa ruchy: jeden obrotowy, właściwy dla obróbki tem narzędziem i drugi postępowy wzdłuż zęba obrabianego koła dla otrzymania posuwu. Krawędzie tnące freza mają profil zęba. Prze suwając się wzdłuż zęba przy jednoczesnym ruchu obrotowym dookoła własnej osi, narzędzie frezuje wręb zęba.

Po obrobieniu jednego wrębu, cofamy frez i obracamy za pomocą podzielnicy koło o jedną podziałkę dla ponownej operacji.

Frez krążkowy z natury swej pracy może obrabiać zęby tylko o zarysie krzywych wypukłych, dlatego też

zwykłe zęby cykloidalne nie mogą być tym sposobem wykonane ze względu na krawędzie podstaw. Teoretycznie frez krążkowy może służyć tylko dla jednego koła o danym module, kącie φ i promieniu koła zasadniczego. Ze względów gospodarczych, mając na uwadze, że niewielkie odchylenia w liczbie zębów w pewnych granicach mało wpływają na zmianę profilu zęba, stosują jeden frez dla kilku sąsiednich liczb zębów, dopuszczając pewną niedokładność. W praktyce wystarcza komplet 8 ÷ 14 frezów dla każdego modułu i danego kąta φ . Dla przykładu podajemy podział kompletu, składającego się z 8 frezów.

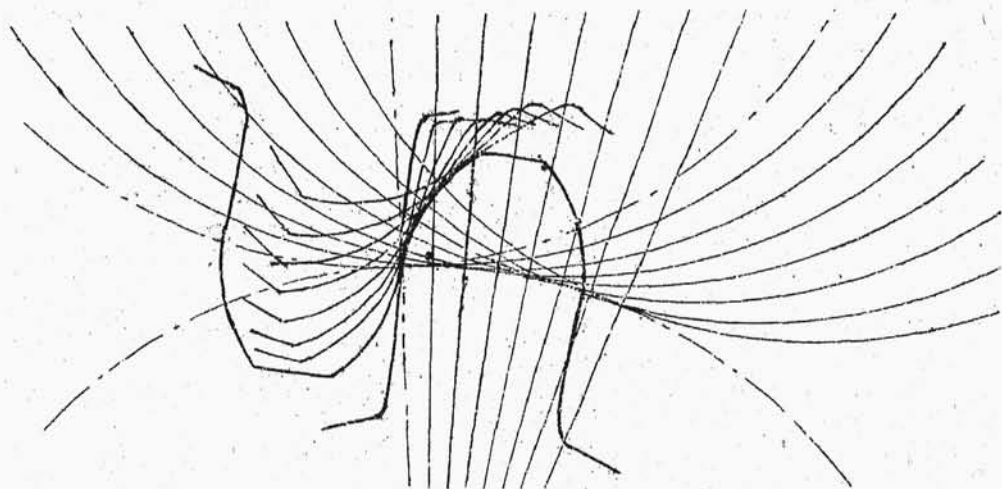
NN.	1	2	3	4	5	6	7	8
Liczba zębów	12-13	14-16	17-20	21-25	26-34	35-54	55-134	135-∞

Komplety o większej liczbie frezów mają podział drobniejszy.

Targowe frezy mają normalne wymiary zębów. Drobne podcinania mogą być usunięte przez małe rozsunięcie osi kół lub przez spiżowywanie naroży zębów. Sam fakt wykonania freza przy pomocy profilowanego noża, który musi być przygotowany p/g. rysunku i szablonu, kryje w sobie możliwości wielu błędów i niedokładności.

O b r ó b k a m e t o d ą o b w i e d n i o w ą.

Obróbka zębów, przeznaczonych do większych prędkości obrotowych i wogóle obróbka masowa odbywa się dzisiaj przeważnie na podstawie metody obwiedniowej. Wiemy, że podczas obrotu dwóch kół z równymi prędkościami linjowemi położenie jednego koła względem drugiego można otrzymać, zatrzymując jedno z nich i przetaczając po nim drugie na okręgu koła tocznego. Wykonywając ten ruch, przekonamy się, że profil zęba ruchomego koła będzie zajmował szereg położzeń stycznych do nieruchomego profilu drugiego koła /rys.193/. W tym wypadku



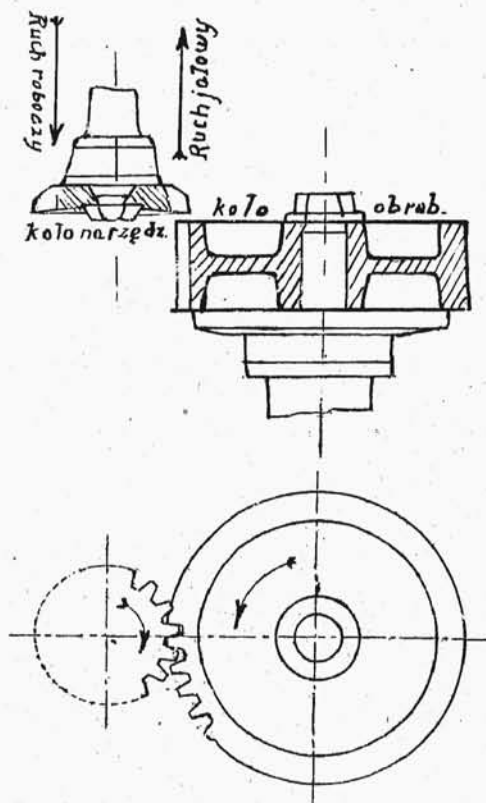
Rys.193.

nieruchomy profil jest obwiednią profilu ruchomego.

Własności obwiedni w stosunku do ruchomej krzywej czynią zadość wymaganiom prawidłowego zazębienia.

Fakty te możemy wyzyskać do obróbki uzębień, zaopatru-

jąc narzędzie w zastrzone krawędzie jako profile zęba jednego koła i nadając zarówno narzędziu jak i obrabemu kołu takie ruchy, by



Rys. 194.

zespół naśladował prawidłową współpracę dwóch kół i by zachodziła obróbka.

Przy dokładnych odpowiednich maszynach metoda ta daje łatwiej niż inna dobre rezultaty. Rys. 194-ty przedstawia obróbkę uzębienia metodą obwiedniową p/g. sposobu Fellow. Narzędziem jest 24 zębne koło o zastrzonych zębach, które może wykony-

wać ruch pionowy dźwignący w górę i w dół, prócz tego ruch obrotowy i ruch prostopadły do osi. Obok na osi równoległej umieszcza się koło, którego wieniec ma być uzębiony. Narzędzie, podniesione ruchem jałowym w górę ponad koło obrabiane, zostaje względem niego tak ustawione, by przy ruchu roboczym w dół zdjąć wiór oznaczonej grubości. Z początku operacji przed każdym ruchem roboczym następuje zbliżenie osi obu kół do-

póki ich koła podziałowe nie ustawią się stycznie. Odtąd za każdym wzniesieniem narzędzia w górę to ostatnie i obrabiane koło wykonywają małe obroty w stosunku przełożenia, jakie istnieje między liczbą obrotów narzędzia i koła. W ten sam sposób koła podziałowe toczą się w ruchu względnym po sobie i cały wieniec koła zostanie obrobiony po wykonaniu pełnego obrotu dookoła swej osi.

Podobnie obrabiamy i drugie koło danej pary kół zębatych. Ponieważ narzędzie i oba koła tworzą komplet zespołowy, więc i dana para kół po zmontowaniu będzie prawidłowo pracowała. Widzimy, że jedno koło - narzędzie może dokładnie obrobić dowolną ilość kół o dowolnej liczbie zębów dla jednego modułu, co nie było możliwe przy zastosowaniu freza krążkowego.

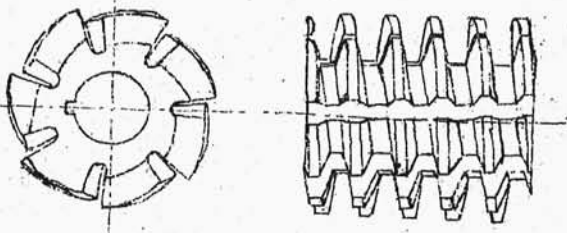
Zagadnienie podcinania zostaje tu też w pewnym stopniu uwzględnione zależnie od liczby zębów i przełożeń pomiędzy narzędziem i kołami, jak również pomiędzy samymi kołami danej pary, dzięki temu, że ostre zęby narzędzia bądź ścinają naroża zbyt wysokich wierzchołków, bądź usuwają zawadzaające części podstawy.

Jeżeli 24 zębne koło narzędzie Fellow zastąpimy narzędziem- zębatką, to samo narzędzie może być dokładnie wykonane, bo zęby tworzą się z płaszczyzn a nie

powierzchni krzywych. Taką drutownicę z narzędziem - zębatką zastosował Maag. W maszynie jego narzędzie nie ma ruchu obrotowego, jednak zębatka powinna by mieć ruch postępowy. Unika się go, zmuszając obrabiane koło do przetaczania się co pewien czas wzdłuż zębatki, gdy jej długość zostanie wyczerpana.

Idea zastosowania zębatki do metody obwiedniowej obróbki zębów znalazła jeszcze wcześniej miejsce w t.zw. frezie ślimakowym.

O b r ó b k a f r e z e m ś l i m a k o w y m .
Obróbka frezem ślimakowym odbywa się na specjalnych obrabiarkach - automatach zwanych frezarkami obwiedniemi. Frez ślimakowy przedstawia śrubę o gwincie trapezowym czyli ślimak z wyciętami w kierunku prostopadłym do zwojów gwinta rowkami, dzięki którym posiada szereg krawędzi tnących /rys.195/. Frez ślima-



Rys.195.

kowy można rozpatrywać jako powstały z zębatki o ile nadamy jej ruch obrotowy do koła osi, równoległy

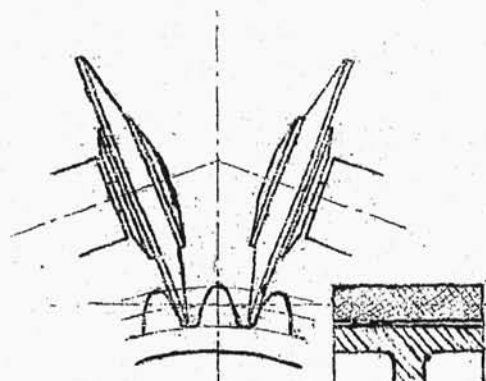
do linii podziałowej i postępowy w kierunku osi. Przy nacinaniu zębów na kołach ośkowych z zębami prostymi

frez należy tak ustawić aby zwoje pracujące freza szły w kierunku równoległym do osi obrabianego koła, t.j. ustawiamy go pochyło do płaszczyzny koła pod kątem pochylenia średniej linii śrubowej gwintu ślimaka. Obróbka odbywa się ruchem ciągłym, frez otrzymuje ruch obrotowy i postępowy wzdłuż zęba koła obrabianego, zaś koło obrabiane ma tylko ruch obrotowy dookoła swej osi, przyczem ruchy koła i freza są od siebie niezależne, a mianowicie, gdy frez zrobi pełny obrót, koło obrabiane powinno obrócić się o kąt odpowiadający jednej podziałce. Zapomocą freza ślimakowego można oczywiście obrabiać koła o różnej liczbie zębów, aby tylko był zachowany ten sam moduł. Wysokość wierzchołka zęba freza jest równa wysokości podstawy obrabianego koła.

Przy obróbce zębów o anormalnych wysokościach podstawy i wierzchołka frezem ślimakowym o zębach normalnych można stosować przysunięcia lub odsunięcia linii podziałkowej freza w stosunku do koła. Dzięki temu przy obróbce frezem ślimakowym można stosować te poprawki, jakie pierwszy wprowadził fabrykant szwajcarski Maag, projektując t.zw. zazębienia indywidualne o normalnych wymiarach zęba i różnym kącie φ pomimo stosowania normalnego narzędzia o stałych wymiarach /patrz.

"Kalendarz samochodowy"/.

S z l i f i e r k a M a a g ' a. Koła obrabiane opisanymi sposobami mogą pracować przy szybkościach obwodowych nieprzekraczających mniej więcej 15 m/sek. zależnie od wartości maszyn i dokładności wykonania. Dla szybkości obwodowych większych od 15 m/sek. zęby kół muszą być hartowane i szlifowane, to też szwajcarska fabryka Maag'a w Zurychu zastosowała specjalne szlifierki, których wirujące tarcze szlifierskie, usta-



Rys.196.

wione pod odpowiednimi kątami, tworzą ząb zębatki /rys.196/. Wstępną obróbkę kół przed szlifowaniem Maag wykonywa na wspomnianych już dłutownicach. Według Maag'a koła obrabiane na jego maszynach

mogą pracować bez hałasu przy szybkościach 60 m/sek.

KONIEC