

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
Instytut Technologii Mechanicznej

Maszyny technologiczne
laboratorium

Walcowe koła zębate

wiadomości podstawowe

Opracował: dr inż. Krzysztof Netter
www.netter.strefa.pl

Poznań 2012

KN – ver. 3.10.2012

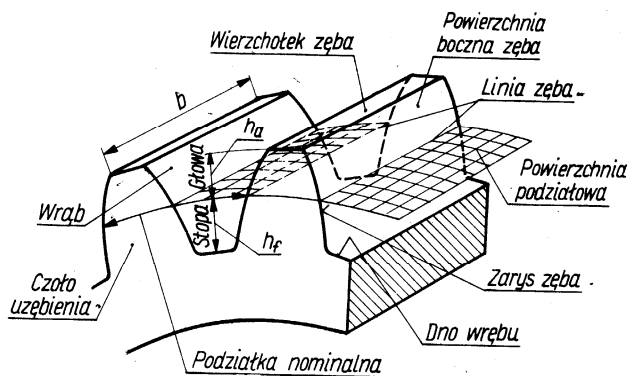
1. Wiadomości wstępne

1.1. Uwagi ogólne

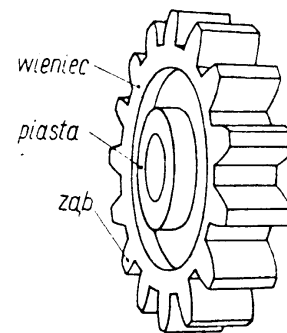
Koło zębate jest to część mechanizmu lub maszyny służąca do przenoszenia ruchu obrotowego lub posuwowego bez poślizgu za pomocą zębów rozmieszczonych na obwodach dwóch kół lub koła i listwy zębatej zwanej zębatką.

Para lub większa liczba zazębiających się ze sobą kół zębatych tworzy przekładnię zębatą.

Koło zębate (rys. 1 i 2) składa się z: wienca, zębów i części łączącej wieniec z wałem lub piastą.



Rys. 1. Podstawowe wielkości koła zębatego



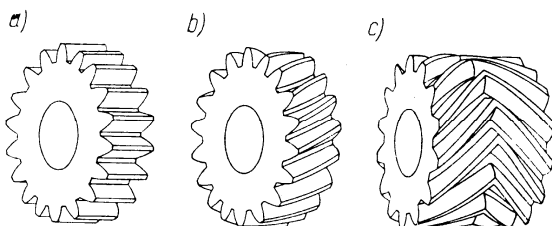
Rys. 2. Części składowe walcowego koła zębatego

Koła walcowe mogą mieć:

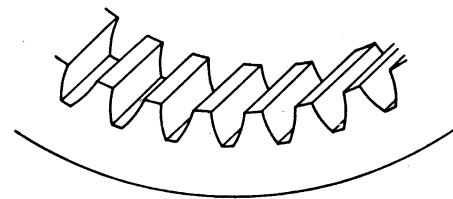
- uzębienie zewnętrzne (rys. 1, 2 i 3) – gdy zęby wystają na zewnątrz,
- uzębienie wewnętrzne (rys. 4) – gdy zęby są zwrócone wierzchołkami ku środkowi koła.

Ze względu na tzw. linię zęba, tj. linię przecięcia walca z bokiem zęba (powierzchnią roboczą zęba – rys. 1) rozróżniamy:

- zęby proste – przebiegające wzdłuż tworzących walca (rys. 3a). Uzębienie jest nacięte równoległe do osi koła.
- zęby śrubowe – których linia przebiega wzdłuż linii śrubowej (rys. 3b). Uzębienie jest nacięte pod kątem do osi koła.
- zęby daszkowe (strzałkowe) – których linia jest linią dwuśrubową o przeciwnych kierunkach (rys. 3c). Na szerokości koła uzębienie składa się z odcinków z zębami śrubowymi lewymi i prawymi.



Rys. 3. Walcove koło zębate o uzębieniu zewnętrznym:
a) o zębach prostych, b) o zębach śrubowych, c)
o zębach strzałkowych (daszkowych)



Rys. 4. Walcove koło zębate
o uzębieniu wewnętrznym

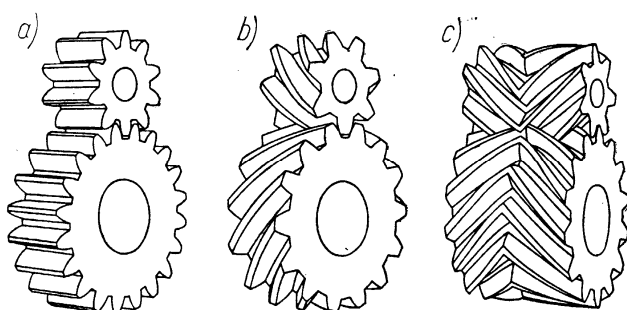
1.2. Klasyfikacja walcowych kół zębatach

Koła zębate pracują co najmniej parami, tworząc przekładnię zębatą (rys. 5, 6 i 7). Współpraca następuje przez zazębienie się kół, które może być:

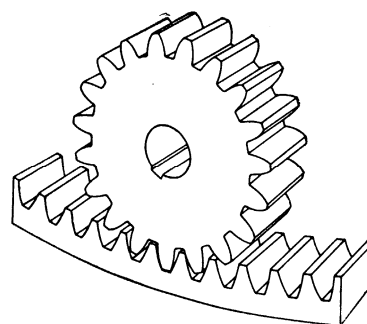
- czołowe – gdy osie kół są równoległe, a więc zazębienie odbywa się na, powierzchni czołowej i prostopadłej do osi obrotu koła (rys. 5 i 6),
- śrubowe – gdy osie kół są wzajemnie wchrowate (rys. 7). Osie kół nie przecinają się (nie leżą w jednej płaszczyźnie). Zęby koła napędzającego wśrubowując się między zęby koła napędzanego powodują jego obrót.

Zazębienie może być:

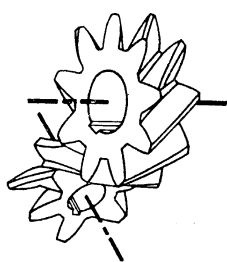
- zewnątrzne – gdy oba koła przekładni mają uzębienie zewnętrzne (rys. 5),
- wewnętrzne – gdy jedno z kół ma uzębienie wewnętrzne (rys. 6),
- zazębienie koła zębatego z zębatką (rys. 8).



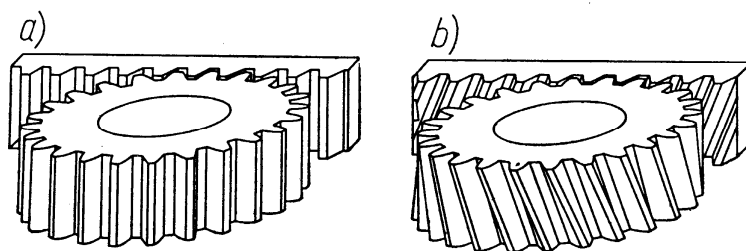
Rys. 5. Walcowa przekładnia czołowa zewnętrzna o zębach: a) prostych, b) śrubowych, c) strzałkowych (daszkowych)



Rys. 6. Walcowa przekładnia czołowa o zazębieniu wewnętrznym



Rys. 7. Walcowa przekładnia śrubowa



Rys. 8. Walcowa przekładnia czołowa złożona z walcowego koła zębatego z uzębieniem zewnętrznym i zębatki prostej o zębach: a) prostych, b) śrubowych

1.3. Zastosowanie. Zalety i wady przekładni zębatych

Przekładnie zębate znajdują szerokie zastosowanie we wszystkich dziedzinach techniki i stanowią obecnie najliczniejszą i najbardziej rozpowszechnioną grupę przekładni mechanicznych. Główną zaletą tych przekładni jest możliwość ich stosowania zarówno do przenoszenia wielkiej mocy, jak i do przekazywania ruchu obrotowego w mechanizmach precyzyjnych, gdzie wartość przenoszonego momentu obrotowego jest często znikoma.

W stosunku do innych przekładni mechanicznych przekładnie zębate mają następujące zalety:

- stałość przełożenia,
- wysoką sprawność (98% dla przekładni pojedynczych),
- zwartość konstrukcji,
- mniejsze naciski na wały i łożyska,
- niezawodność działania.

Do wad przekładni zębatych (w porównaniu z innymi przekładniami) należy zaliczyć:

- wyższy koszt wykonania (konieczność dużej dokładności wykonania),
- mniejsza odporność na przeciążenia,
- hałaśliwość,
- konieczność obfitego smarowania.

2. Podstawowe wymiary kół i uzębienia

2.1. Podstawowe określenia

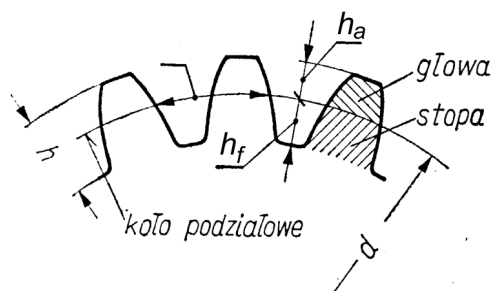
Koła zębate współpracują ze sobą przez zazębienie, tj. wchodzenie zębów jednego koła we wręby (łuki międzyzębne) koła współpracującego. Ząb koła można podzielić na dwie części (rys. 1 i 9):

- a) na głowę zęba – wystającą ponad wyobrażalne koło podziałowe,
- b) na stopę zęba – znajdującą się poniżej koła podziałowego.

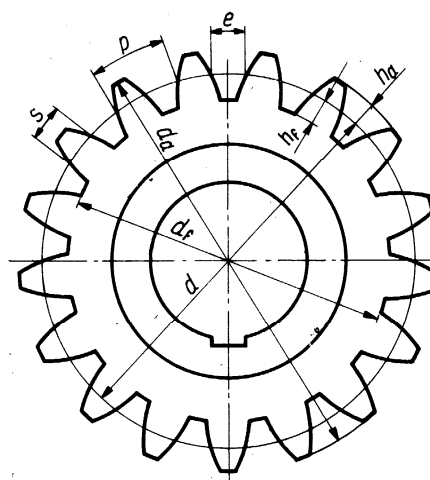
W ogólnym zarysie można powiedzieć, że głowa zęba jednego koła wchodzi w tę część wrębu koła współpracującego, która znajduje się w obrębie stopy zęba tego koła współpracującego.

Na rysunku 1 przedstawiono fragment uzębienia koła walcowego o zębach prostych. W kole takim uzębienie jest zawarte między okręgiem podstaw i okręgiem wierzchołków. Uzębienie może być wykonane bezpośrednio w korpusie koła lub na osobnym elemencie nasadzonym na korpus.

Powierzchnię ograniczającą szerokość b uzębienia nazywa się czołem uzębienia.



Rys. 9. Określenie głowy i stopy zęba



Rys. 10. Podstawowe wymiary koła zębatego

Podstawą do określenia elementów zęba i ich wymiarów jest wyobrażalny okrąg zwany okręgiem podziałowym (oraz odpowiednio – powierzchnia podziałowa). Analogicznie do okręgów: podziałowego, wierzchołkowego i podstaw rozróżnia się średnice (rys. 10):

- podziałową d ,
- wierzchołkową d_a
- podstaw (dna wrębów) d_f .

W każdym zębie wyróżnia się:

- głowę wysokości h_a – część zęba zawarta między powierzchnią podziałową i powierzchnią wierzchołków koła zębatego,
- stopę wysokości h_f – część zęba zawarta między powierzchnią podziałową i powierzchnią podstaw koła zębatego,
- wierzchołek zęba – część powierzchni wierzchołków koła zębatego, przynależną do zęba,
- podstawę zęba – część powierzchni podstaw przynależną do zęba,
- powierzchnię boczną zęba, ograniczającą ząb od strony wrębu,
- wręb, tj. przestrzeń między dwoma sąsiednimi zębami,
- dno wrębu – część powierzchni podstaw koła zębatego zawartą pomiędzy podstawami sąsiednich zębów,
- linię zęba, tj. linię przecięcia powierzchni bocznej zęba z powierzchnią podziałową,
- zarys normalny zęba – linię przecięcia powierzchni bocznej zęba płaszczyzną normalną (prostopadłą) do linii zęba.

2.2. Wymiary kół walcowych o zębach prostych i śrubowych

Podstawowe wymiary koła walcowego o zębach prostych określa się w przekroju czołowym, tj. w płaszczyźnie prostopadłej do osi koła zębatego (rys. 10).

Okrąg podziałowy dzieli się na tyle odcinków, ile zębów z jest w danym kole.

Podziałkę p nazywa się długość każdego odcinka, mierzoną po łuku okręgu podziałowego.

Podziałka zawiera szerokość (grubość) zęba s i szerokość wrębu e . Teoretycznie wymiary te są sobie równe: $s = e = 0,5p$. W praktyce występuje niewielki luz międzyzębny j , konieczny dla prawidłowej współpracy uzębień i wówczas $s = 0,5p - j$ oraz $e = 0,5p + j$.

Iloraz podziałki p i liczby π nazywa się modułem m . Moduł jest podstawową wielkością, służącą do określenia wymiarów zębów i kół zębatych.

Zależności podstawowe w walcowych kołach zębatych o zębach prostych [mm]:

Średnica podziałowa:	$d = m \cdot z$	gdzie: $m = \frac{p}{\pi}$ – moduł normalny
Średnica wierzchołkowa:	$d_a = m \cdot (z + 2) = d + 2h_a$	
Średnica dna wrębów:	$d_f = m \cdot (z - 2,5) = d - 2h_f$	
Wysokość głowy zęba:	$h_a = m$	
Wysokość stopy zęba:	$h_f = 1,25 \cdot m$	
Wysokość zęba:	$h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m$	
Luz wierzchołkowy:	$c = h_f - h_a = 0,25 \cdot m$	
Luz międzyzębny:	$j = 0,04 \cdot m$	

Walcowe koło zębate o zębach śrubowych (rys. 11) można sobie wyobrazić jako złożone z cienkich blaszek uzębionych, o zębach prostych, przestawionych względem siebie (rys. 12). Należy również pamiętać, że do obróbki walcowego koła o zębach śrubowych stosuje się te same narzędzia co do obróbki walcowych kół zębatach o zębach prostych.

Za podstawę wykonania uzębienia kół śrubowych (skośnych) przyjmuje się przekrój zęba w płaszczyźnie normalnej (prostopadłej do linii zęba). Średnice kół śrubowych (skośnych) mierzymy w płaszczyźnie czołowej walca, na którym nacinamy zęby.

Zależności podstawowe w walcowych kołach zębatych o zębach śrubowych (rys. 14.6) [mm]:

Moduł czołowy: $m_t = \frac{m}{\cos \beta}$ gdzie: $m = \frac{P}{\pi}$ – moduł normalny
 β – kąt pochylenia linii zęba

Średnica podziałowa: $d = m_t \cdot z$

Średnica wierzchołkowa: $d_a = m \cdot \left(\frac{z}{\cos \beta} + 2 \right)$

Średnica dna wrębów: $d_f = m \cdot \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2,5 \right)$

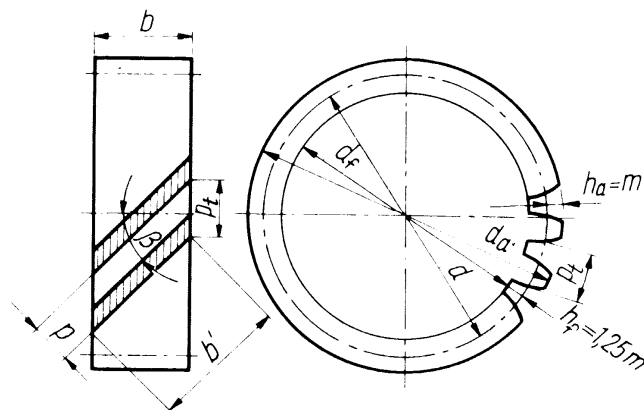
Wysokość głowy zęba: $h_a = m$

Wysokość stopy zęba: $h_f = 1,25 \cdot m$

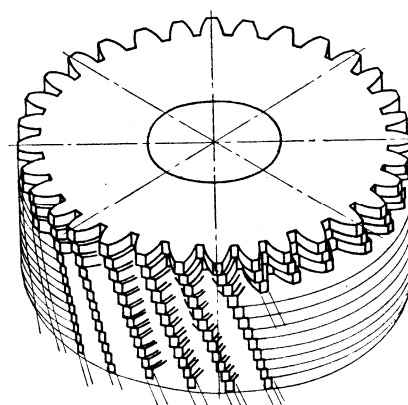
Wysokość zęba: $h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m$

Luz wierzchołkowy: $c = h_f - h_a = 0,25 \cdot m$

Luz międzyzębny: $j = 0,04 \cdot m$



Rys. 11. Koło zębate o zębach śrubowych



Rys. 12. Walcowe koło zębate o zębach śrubowych złożone z cienkich blaszek uzębionych o zębach prostych przestawionych względem siebie

3. Współpraca uzębienia. Zarys boków zęba

Podczas pracy zęby koła czynnego naciskają na zęby koła biernego, powodując jego ruch obrotowy. Stopa zęba koła czynnego styka się początkowo z wierzchołkiem zęba koła biernego, następnie punkt styku przemieszcza się wzdłuż zarysu zęba i zakończenie

współpracy pary zębów następuje wówczas, gdy wierzchołek zęba koła czynnego przestaje stykać się z zębem koła biernego. Miejsce chwilowego styku zębów (przyporu) nazywa się punktem przyporu. Kolejne punkty przyporu tworzą linię, zwaną linią przyporu. Współpraca pary zębów odbywa się na określonym odcinku tej linii, który określa się jako czynną linię przyporu.

Prawidłowa współpraca uzębień kół jest zapewniona, gdy:

- ruch z koła czynnego na bierne jest przenoszony równomiernie, czyli gdy przez cały czas trwania cyklu współpracy pary zębów występuje nieprzerwany styk zębów (przypór),
- przed wyzębieniem się jednej pary zębów następna para jest w przyporze,
- przełożenie jest niezmiennie w czasie współpracy każdej pary zębów, a zatem gdy stosunek prędkości kątowych jest stały.

Jeśli koła zębate mają pracować w sposób prawidłowy, muszą mieć odpowiednie zarysy zębów spełniające w/w warunki. Zarysy te w zasadzie mogą być dowolne pod warunkiem odpowiedniego sprzężenia krzywizn zarysów boków zębów kół współpracujących.

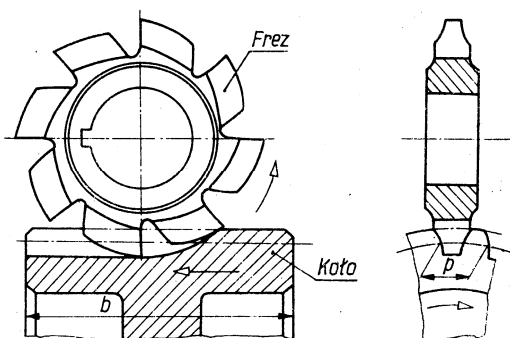
W praktyce przyjęto zarysy zębów oparte na wybranych krzywych: ewolwencie i cykloidzie. W przekładniach stosowanych w budowie maszyn stosuje się prawie wyłącznie zęby o zarysie ewolwentowym.

4. Metody obróbki kształtującej walcowych kół zębatach

Uzębienia kół zębatach walcowych mogą być wykonywane następującymi metodami: obróbka skrawaniem, odlewanie, spiekanie z proszków, odlewanie pod ciśnieniem z termoplastycznych tworzyw sztucznych lub wykrawane z blachy. Podstawowym sposobem wykonywania uzębień jest obróbka skrawaniem.

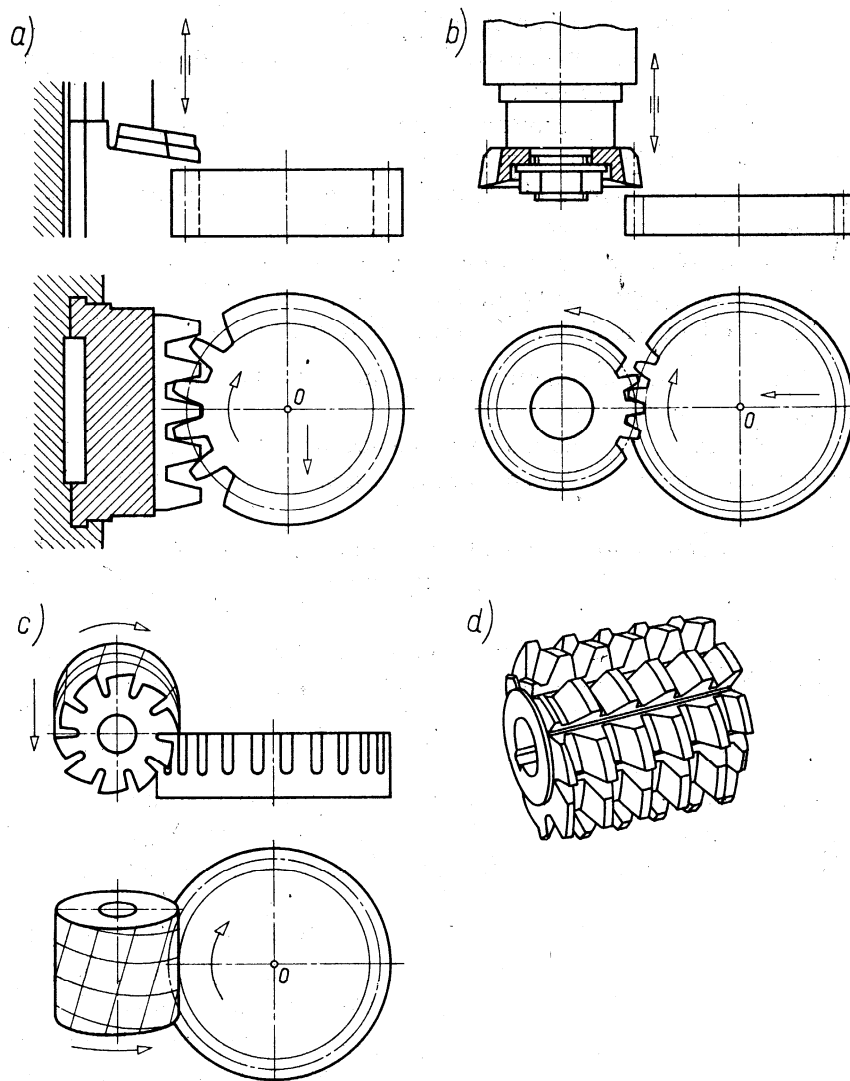
Za pomocą obróbki skrawaniem uzębienie nacina się metodami: kształtową lub obwiedniową.

Metoda kształtowa polega na nacinaniu zębów narzędziem kształtowym (najczęściej frezem krążkowym modułowym), którego zarys odpowiada zarysowi wrębu (rys. 13).

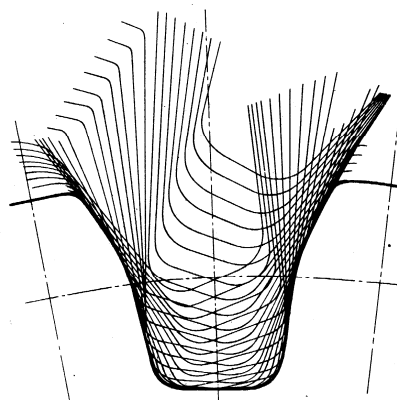


Rys. 13. Nacinanie koła metodą kształtową

Ze względu na to, że kształt zęba zależy od modułu i liczby zębów, w celu uzyskania właściwego zarysu zębów należałoby dla każdego modułu i każdej liczby zębów stosować osobne narzędzie. W praktyce dla danego modułu stosuje się komplet narzędzi składający się z 8, 15 lub 26 frezów (w zależności od żądanej dokładności zarysu wykonywanych zębów w porównaniu z zarysem teoretycznym). Konieczna duża liczba narzędzi (frezów) oraz trudności wykonania uzębień przy małej liczbie zębów w kole nacinanym powodują, że metoda ta jest obecnie rzadko stosowana.



Rys. 14. Obwiedniowe nacinanie uzębień: a) struganie metodą Maaga, b) dłutowanie metodą Fellowsa, c) frezowanie frezem ślimakowym, d) frez ślimakowy stosowany do obróbki obwiedniowej



Rys. 15. Obwiedniowe położenie krawędzi tnącej narzędzia

Metody obwiedniowe polegają na nacinaniu zębów narzędziem w kształcie zębarki (rys. 14a), koła zębatego (rys. 14b) lub frezu ślimakowego (rys. 14c i d). Przy tych metodach narzędzie wykonuje ruchy robocze skrawające, a jednocześnie zespół: narzędzie i przedmiot obrabiany wykonują ruchy odpowiadające współpracy dwóch kół zębatach, co zapewnia

uzyskanie właściwego kształtu zębów. Ruchy narzędzia i nacinanego koła, pokazane strzałkami na rysunku 14a, b, i c, wyjaśniają zasadę i przebieg nacinania uzębień przy stosowaniu podanych metod.

Nazwa „metoda obwiedniowa” pochodzi stąd, że kształt zęba powstaje jako obwiednia kolejnych położeń krawędzi tnącej narzędzia skrawającego (rys. 15).

Podane sposoby nacinania zębów wymagają stosowania różnych obrabiarek:

- a) struganie zębatką wykonuje się na dłutownicy Maaga lub strugarce Sunderlanda,
- b) dłutowanie narzędziem w kształcie koła zębatego wykonuje się na dłutownicy Fellowsa,
- c) frezowanie frezem ślimakowym wykonuje się na frezarkach obwiedniowych (poziomych lub pionowych, dyferencjałowych lub bezdyferencjałowych).

Stosowanie metod obwiedniowych umożliwia wykonanie kół zębatych o różnej liczbie zębów jednym narzędziem (dla danego modułu), zapewniając przy tym dużą dokładność kształtu oraz dość dobrą gładkość powierzchni.

Literatura:

1. Dzierżkowski A., *Frezowanie obwiedniowe walcowych kół zębatych*, WN-T, Warszawa 1972.
2. Ochęduszek K., *Koła zębate*, tom I – konstrukcja, WN-T, Warszawa 1973.
3. Ochęduszek K., *Koła zębate*, tom II – technologia, WN-T, Warszawa 1973.
4. Ochęduszek K., *Koła zębate*, tom III – sprawdzanie, WN-T, Warszawa 1973.
5. Zapiski własne.