

Materiały pomocnicze do ćwiczenia laboratoryjnego z korekcji kół zębatach (uzębienia i zazębienia)

1. WPROWADZENIE

Koła zębata znajdują zastosowanie w rozlicznych mechanizmach, począwszy od przemysłu zegarmistrzowskiego (zegarki mechaniczne, wypierane co prawda przez elektroniczne b. tanie bo są różnej niezawodności) przez samochodowy, lotniczy do wielkich turbin wszelkiego rodzaju nie mówiąc o podstawowych układach napędowych. Koła zębata znajdują również zastosowanie w rozlicznych maszynach rolniczych i urządzeniach gospodarstwa domowego.

Każdy z użytkowników oczekuje dużej niezawodności urządzeń, na którą ma duży wpływ poprawna współpraca kół zębatach. Dlatego też zrozumienie zasad konstrukcji, jak metod wykonania kół nastęca wiele trudności. Należy zrozumieć istotę pracy kół, ustalić odpowiednie wymiary, wykonać je dostatecznie dokładnie i prawidłowo je zmontować. Od współpracujących par kół zębatach wymaga się:

- równomiernego przenoszenia ruchu,
- wspomnianej wcześniej niezawodności (pewności) ruchu,
- bezhałaśliwej (spokojnej) pracy,
- jak również najdłuższej żywotności czyli zdolności eksploatacji (co w dużej mierze zapewniają koła zębata, czyli przekaz mechaniczny).

W/w punkty są niezmiernie ważne. Dążenie do minimalizacji gabarytów urządzeń, nakłada obowiązek bardzo dokładnego wykonania z uwzględnieniem odpowiednich materiałów. Ponieważ nierównomierny bieg współpracujących kół wywołuje przyspieszenia lub opóźnienia mas wirujących (napędzanych przekładnią zębatą) a tym samym wzrost dynamicznego obciążenia, ma to duży wpływ na pewność ruchu jak również spokojny bieg. Pewność biegu jest uzależniona z jednej strony od wielkości sił działających na koła zębata i tu dużą rolę odgrywają siły dynamiczne a z drugiej zaś od wielkości stopnia pokrycia (liczby przyporu).

Cichobieżność (uzależniona od spokojnego biegu) zależy:

- błędów podziałki,
- nieprawidłowości zarysu boków zębów,
- mimośrodowości nacięcia zębów względem osi obrotu,
- stanu powierzchni (chropowatości, nierówności) zębów,
- od ilości sekundowych zazębień.

Jak największa żywotność (najdłuższy okres trwania) zależy od wielkości i charakteru sił działających, które z jednej strony wywierają wpływ na wytrzymałość a z drugiej na zużywanie się zębów. Zarówno jeden, jak drugi czynnik wymaga odpowiedniego materiału i jego obróbki. Zużywanie się zębów zależy jeszcze od:

- wielkości dróg poślizgowych współpracujących ze sobą zębów,
- wielkości naprężeń dociskowych (współpraca stykowa wywołuje naciski Hertz'owskie),
- staranności i dokładności wykonania odległości osi kół współpracujących (ich równoległości bądź prostopadłości),
- staranności montażu,
- jakości smaru i sposobu smarowania,
- dokładności wykonania zębów.

1.1 Metody wykonywania zębów w kołach zębatych

Aby lepiej zrozumieć istotę korekcji przeprowadzanej na zajęciach laboratoryjnych, należy nadmienić o sposobach nacinania zębów kół zębatych, o zarysie ewolwentowym i charakterystycznych wielkościach geometrycznych. Do sposobów nacinania kół należą:

- metoda **kształtowa**, - narzędzie skrawające ma kształt wrębu. Metoda ta jest najmniej dokładna i stosuje się ją przy obróbce kół zębatych o drugorzędym znaczeniu.
- Metoda **obwiedniowa**, - ta może być przeprowadzana:
 - 1 Narzędziem o kształcie koła zębatego, gdzie obraca się ono równocześnie z nacinanym kołem niejako coraz głębiej zazębając się z nim. Jest to **metoda Fellows'a**.
 - 2 **Metodą Maaga i Sunderlanda**, w której narzędziem skrawającym jest zębatka poruszająca się ruchem posuwisto-zwrotnym (w pionie) a koło obrabiane ruchem obrotowym).
 - 3 **Frezowanie obwiedniowe**, w którym frez ślimakowy w przekroju wzdłuż-osiuwym ma kształt zębátky.

Ponieważ w laboratorium przeprowadza się korekcję na stanowisku obrazującym metodę obwiedniową (Maaga i Sunderlanda) nacinania zębów, dlatego kilka słów nt. charakterystycznych wielkości występujących w nacinanych kołach zębatych, na przykładzie koła walcowego o zębach prostych. Koło zębate ma wieniec, na obwodzie którego rozmieszczone są zęby rozdzielone wrębami. Boczna powierzchnia zęba nazywa się bokiem zęba. Przecięcie zęba umowną płaszczyzną, w tym przypadku prostopadłą do osi nazywa się zarysem zęba. Przy określeniu rozmieszczenia zębów wprowadza się umowną powierzchnię, zwaną powierzchnią podziałową, która w przypadku kół walcowych jest walcem podziałowym. Część zęba znajdująca się poniżej powierzchni podziałowej nazywa się stopą zęba, część powyżej nazywa się głową zęba. Przecięcie walca podziałowego płaszczyzną nazywa się okręgiem podziałowym a jego średnica średnicą podziałową „ d_p ”. Okrąg podziałowy dzielimy na tyle odcinków, ile zębów ma znajdować się na kole. Długość każdego odcinka mierzona po łuku zwana jest podziałką koła zębatego lub podziałką uzębienia „ t ”. Między podziałką, średnicą podziałową i liczbą zębów zachodzi związek

$$z t = \pi d_p$$

gdzie „ z ” – liczba zębów

$$\text{stąd} \quad d_p = z t / \pi = z m$$

gdzie $m = t / \pi$ nazywa się modułem koła zębatego. Moduł przyjmuje się jako podstawową wielkość służącą do określenia wymiarów zęba, a w związku z tym do określenia wymiarów narzędzi do obróbki kół. Od okręgu podziałowego odmierzamy w górę po promieniu – wysokość głowy zęba h_a a w dół wysokość stopy zęba h_f . W ten sposób powstaje okrąg wierzchołków zębów i okrąg podstaw (stóp) oraz odpowiednio walec wierzchołków i walec podstaw (bo każde koło ma szerokość). Wysokość głowy i stopy zęba uzależnione są od modułu i określone wzorami:

$$h_a = y m$$

$$h_f = (y + 0,25) m$$

stąd wysokość zęba

$$h = h_a + h_f$$

y – współczynnik wysokości zęba. Najczęściej jest on równy jednośc i wówczas zęby nazywamy normalnymi. Jeżeli $y < 1$, to mamy do czynienia z zębami niskimi, stosowanymi np. w stożkowych kołach zębatych, w sprzęgłach zębatych itp. Jeżeli $y > 1$, to mamy do czynienia z zębami wysokimi, stosowanymi bardzo rzadko, np. w pompach zębatych.

Z określenia wysokości głów i stóp wynikają średnice:

wierzchołków $d_a = m(z + 2y)$

i stóp (podstaw) $d_f = m(z - 2y - 0,5)$

Podziałkę dzielimy na szerokość (grubość) zęba $g = 0,5(\pi m - L_0)$ gdzie $L_0 = 0,04m$ nazywa się luzem obwodowy, oraz szerokość wrębu $s = 0,5(\pi m + L_0)$.

Jeżeli koła współpracujące ustawimy tak, aby ich walce podziałowe były styczne, to otrzymamy wartości luzów wierzchołkowych równe różnicy wysokości stopy i głowy, a zazębienie takie nazywa się zerowym. W zazębieniu o zarysach przesuniętych (korygowanych) warunek ten nie jest spełniony i rzeczywisty luz może być inny.

Linia przejścia, która może być w zasadzie dowolna, powinna umożliwiać swobodne przejście dla wierzchołka zęba koła współpracującego. Rozpatrując metody obwiedniowe dochodzimy do przekonania, że linia przejścia jest wynikiem (w tej metodzie) toru względnego wierzchołka zęba narzędzia. Można przy tym doprowadzić do podcięcia zębów u podstawy w zależności od liczby nacinanych zębów. Krzywa nacięta przez ostry wierzchołek zębatki jest wydłużoną ewolwentą. Gdy koło ma małą liczbę zębów, wówczas ten ostry wierzchołek nie tylko kształtuje linię przejściową stopy (wrębu) zęba powodując jej podcięcie, lecz również odcina część ewolwenty znajdującą się ponad kołem zasadniczym. Jest to zjawiskiem bardzo niekorzystnym ze względu na współpracę kół zębatych jak i wytrzymałościowych zębów podciętych.

1.2 Warunki współpracy zębów

Pozostawimy przy kołach walcowych o zębach prostych w przekładni równoległej. Ząb koła czynnego naciska na ząb koła biernego powodując jego obrót. Mówi się wówczas, że zęby te znajdują się w przyporze. Punkt zetknięcia zarysów zębów nazywamy punktem przyporu. (mowa tu oczywiście o przekroju zarysów zębów płaszczyzną prostopadłą do osi kół). W rzeczywistości przypór zachodzi nie w punkcie, a wzdłuż linii na boku zęba. Punkt przyporu przesuwa się wzdłuż zarysu zęba. Miejscem geometrycznym punktów przyporu jest linia przyporu, wzdłuż której przesuwa się punkt przyporu. Poszczególne punkty znajdujące się na kole tocznym wędrują po łuku i w odniesieniu do okręgu podziałowego, długość tego łuku odpowiada okresowi zazębienia kół a nazywa się łukiem przyporu. Stosunek łuku przyporu do podziałki lub kąta zazębienia i podziałki katowej nazywa się liczbą przyporu ϵ ,

$$\epsilon = e/t = \gamma_z / \gamma_t$$

Liczba przyporu musi być większa od jedności. Gdyby była mniejsza, wówczas łuk przyporu byłby mniejszy od podziałki. Wtedy to jedna para zębów wyszłaby już z przyporu, a druga jeszcze nie weszłaby w zazębienie, co naturalnie nie zapewniłoby ciągłego spokojnego ruchu. Przy liczbie przyporu większej od jedności praca sąsiednich zębów odbywa się na pewnej długości łuku jednocześnie. Im większa jest liczba przyporu, tym praca przekładni jest bardziej równomierna.

Powyższe wprowadzenie ma przybliżyć wyobrażenie konieczności przeprowadzania korekcji uzębienia kół zębatych, aby ich współpraca była poprawna czyli odbywała się po jak największym łuku przyporu. Zjawisko podcięcia stopy zęba, które zawsze wystąpi gdy nie jest zachowana liczba graniczna zębów, jest bardzo niekorzystne.

1.3 Podcięcie zęba. Graniczna liczba zębów

Przy nacinaniu zębów metodą obwiedniową wierzchołek narzędzia frezuje krzywą przejściową i dno wrębu. Przy kołach o małej liczbie zębów może wystąpić zjawisko nadmiernego rozszerzenia dna wrębu i zmniejszenia grubości zęba u podstawy. Ząb narzędzia w miarę współpracy z kołem obrabianym styka się z zębem obrabianym przy wierzchołku, po czym punkt styku obniża się dochodząc do dna wrębu. Współpraca się jednak nie kończy, punkt styku znów przesuwają się do góry, a w konsekwencji narzędzie wcinają się w ząb nie tylko pogłębiając krzywą przejściową, ale i ścinając część utworzonej poprzednio ewolwenty na zarysie czynnym zęba ponad kołem zasadniczym. Zjawisko takie nazywa się podcięciem zęba. Jest ono bardzo szkodliwe z dwóch powodów:

- pogarsza warunki współpracy (nie ma przylegania), gdyż ścięta zostaje część ewolwenty,
- osłabia wytrzymałościowo ząb, zmniejszając wyraźnie jego grubość u podstawy.

Podcięcie powstaje, jeżeli narzędzie zagłębia się zbyt silnie poniżej okręgu zasadniczego, zawsze przy mniejszej liczbie zębów od liczby granicznej. Graniczną liczbę zębów dla kąta przyporu $\alpha_0 = 20^\circ$ określa wzór

$$z_g = 2y/\sin^2\alpha_0$$

i dla wymienionych warunków $z_g = 17$, a ponieważ dopuszczalne jest nieznaczne podcięcie, wprowadza się praktyczną graniczną liczbę zębów $z_g' = 5 z_g / 6 = 14$.

Natomiast dla kąta $\alpha_0 = 15^\circ$, $z_g = 30$, $z_g' = 25$.

2. Korekcja uzębienia czyli przesunięcie zarysu

Wiemy już, że przy małej liczbie zębów nastąpi podcięcie zębów wywołane zbyt głębokim wchodzeniem wierzchołka narzędzia poniżej okręgu zasadniczego (od którego zaczyna się zarys ewolwentowy). Wobec niewrażliwości zarysów ewolwentowych na wzajemne ustawienie kół można odsunąć (wycofać) narzędzie o taką wielkość $X = x m$, by uniknąć podcięcia. Przy czym x – to współczynnik przesunięcia, który dobieramy z wykresu w zależności od liczby zębów. Przesunięcie X jest dodatnie przy wycofaniu (odsunięciu) narzędzia, a ujemne (które należy wykonać w kole współpracującym) przy dosunięciu narzędzia.

UWAGA

Pozostałe wiadomości obowiązujące na ćwiczeniach laboratoryjnych z korekcji, należy przyswoić ze skryptu: „Laboratorium z podstaw konstrukcji maszyn” pod redakcją M. Porębska i M. Warszński, Ćwiczenie nr 13 i nr 14. W ćwiczeniu 14 jest opisane stanowisko, na którym będzie realizowane ćwiczenie.

„Badanie sprawności przekładni zębatej” będzie realizowane zgodnie z instrukcją w powyższym skrypcie, ćwiczenie nr 15.

Przed rozpoczęciem ćwiczeń, przewidziany jest sprawdzian wiadomości ok 15 min (forma pisemna).

Literatura:

[1] K. Ochedusko, Koła zębate

[2] J. Dietrych, W. Korewa ... Podstawy konstrukcji maszyn

mgr inż. Jadwiga Burkiewicz