

## Ćwiczenie 7

# GEOMETRIA KOŁA ZĘBATEGO KORYGOWANEGO

### 7.1. CEL ĆWICZENIA

1. Określenie wpływu korekcji uzębienia na podstawowe wymiary koła i kształt zębów.
2. Poznanie metod obwiedniowych obróbki kół zębatych.
3. Omówienie rodzajów korekcji zazębienia.

### 7.2. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

Metody obróbki kół zębatych można podzielić na: kształtowe, kopiowe i obwiedniowe. W przypadku stosowania metod obwiedniowych narzędzie może mieć kształt koła zębatego (metoda Fellowsa), freza ślimakowego, który ma w przekroju poprzecznym kształt zębatki (metoda Pfautera) bądź zębatki (metody Maaga i Sunderlanda). Narzędzie wykonuje ruchy skrawające i jednocześnie następuje odtaczanie względne narzędzia i obrabianego koła. W ten sposób kształt zęba powstaje jako obwiednia kolejnych położeń krawędzi tnących.

W trakcie ćwiczenia zostaną przedstawione metody Sunderlanda i Fellowsa. W pierwszym przypadku narzędzie ma kształt zębatki, czyli koła o średnicy podziałowej  $d = \infty$ . W metodzie Fellowsa występuje skrawające koło zębate. W obu metodach do nacinania kół o tym samym module  $m$  i różnych liczbach zębów  $z$  stosuje się to samo narzędzie, co pozwala na znaczne zmniejszenie potrzebnej ich liczby w stosunku do metod kształtowych. Metody obwiedniowe charakteryzują się ponadto bardzo dużą dokładnością obróbki. Metoda Sunderlanda może być stosowana tylko do wykonywania kół o uzębieniu zewnętrznym.

Podczas obróbki obwiedniowej kół o małej liczbie zębów (mniejszej od granicznej) następuje podcinanie stóp zębów. Jest ono wywołane tym, że wierzchołki zębów narzędzia zbyt głęboko wchodzi poniżej koła zasadniczego. Aby temu zapobiec, należy odsunąć narzędzie od osi koła nacinanego, czyli przeprowadzić korekcję dodatnią. Takie dodatnie przesunięcie zarysu podczas obróbki koła jest stosowane również w celu:

- a) uniknięcia pracy zarysów w pobliżu koła zasadniczego,
- b) zwiększenia grubości podstawy zęba,

- c) uzyskania korzystnych warunków kinematycznych,
- d) otrzymania ściśle określonej odległości osi współpracujących kół,
- e) uzyskania kąta przyporu odmiennego od kąta zarysu odniesienia.

Ujemne przesunięcie zarysu, tzn. dosunięcie narzędzia do osi nacinanego koła na ogół pogarsza warunki pracy i dlatego stosowane jest w ograniczonym zakresie. Przesunięcie takie ma zastosowanie w przypadku korekcji P-0 i niekiedy przy korekcji P. Wówczas narzędzie dosuwamy do osi koła o większej liczbie zębów.

Zagadnienia korekcji zazwyczaj rozpatruje się w odniesieniu do pary współpracujących kół. Mamy wtedy do czynienia z korekcją zazębienia. Rozróżniamy dwa przypadki korekcji zazębienia:

- a) korekcję P-0,
- b) korekcję P.

#### K o r e k c j a P-0

W tym przypadku odległość osi nie ulega zmianie, a więc  $x_1 + x_2 = 0$ , czyli  $x_1 = -x_2$  (dodatnie przesunięcie zarysu stosuje się dla koła mniejszego, a ujemne dla koła większego). Ten rodzaj korekcji jest stosowany, gdy chcemy uniknąć podcięcia zębów lub w celu poprawienia warunków współpracy zazębienia. Korekcję P-0 można stosować tylko wówczas, gdy  $z_1 + z_2 \geq 2z'_{gr}$ , gdzie  $z'_{gr}$  oznacza praktyczną graniczną liczbę zębów ze względu na podcinanie stopy zęba (jest to warunek konieczny).

#### K o r e k c j a P

W przypadku korekcji P mamy do czynienia ze zmianą odległości osi, a więc  $x_1 + x_2 \neq 0$ . Korekcję tę stosujemy głównie ze względu na uzyskanie określonych własności wytrzymałościowych i kinematycznych przekładni. Stosowana jest również, gdy warunki konstrukcyjne wymagają ściśle określonej odległości osi kół, np. w przypadku konieczności zachowania odległości znormalizowanej lub osadzania kilku par współpracujących kół na dwóch równoległych wałkach (w skrzyniach biegów). Korekcję P należy stosować zawsze, gdy  $z_1 + z_2 < 2z'_{gr}$ .

### 7.3. PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI GEOMETRYCZNE KÓŁ ZĘBATYCH

1. Średnica podziałowa koła:

$$d = mz, \quad (7.1)$$

gdzie:  $m$  – moduł,  $z$  – liczba zębów.

2. Podziałka obwodowa:

$$p = \pi m. \quad (7.2)$$



3. Wysokość głowy zęba:

$$h_a = (y + x - k) m, \quad (7.3)$$

gdzie:  $y$  – współczynnik wysokości głowy zęba,

$x$  – współczynnik korekcji,

$k$  – współczynnik zsunęcia osi kół.

4. Wysokość stopy zęba:

$$h_f = (y - x + c) m, \quad (7.4)$$

gdzie  $c$  oznacza współczynnik luzu wierzchołkowego ( $c = 0,2 + 0,25$ ).

5. Grubość zęba na dowolnym promieniu  $r$ :

$$s_r = 2r \left( \frac{s}{d} + \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_r \right), \quad (7.5)$$

gdzie  $s$  oznacza grubość zęba na kole podziałowym, którą określa zależność:

$$s = \left( \frac{\pi}{2} + 2x \text{tg } \alpha \right) m. \quad (7.6)$$

6. Średnica wierzchołków koła:

$$d_a = (z + 2y + 2x - 2k) m. \quad (7.7)$$

7. Średnica stóp koła:

$$d_f = (z - 2y + 2x - 2c) m. \quad (7.8)$$

8. Odległość osi kół:

a) zerowa 
$$a = \frac{1}{2} (z_1 + z_2) m, \quad (7.9)$$

b) pozorna 
$$a_p = a + (x_1 + x_2) m, \quad (7.10)$$

c) rzeczywista 
$$a_w = a_p - km = a \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}, \quad (7.11)$$

gdzie  $\alpha_w$  oznacza kąt przyporu na kole tocznym, który można wyznaczyć na podstawie zależności w postaci:

$$\text{inv } \alpha_w = 2 \frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \text{tg } \alpha + \text{inv } \alpha. \quad (7.12)$$

## 7.4. SYMULACJA PROCESÓW OBRÓBKII

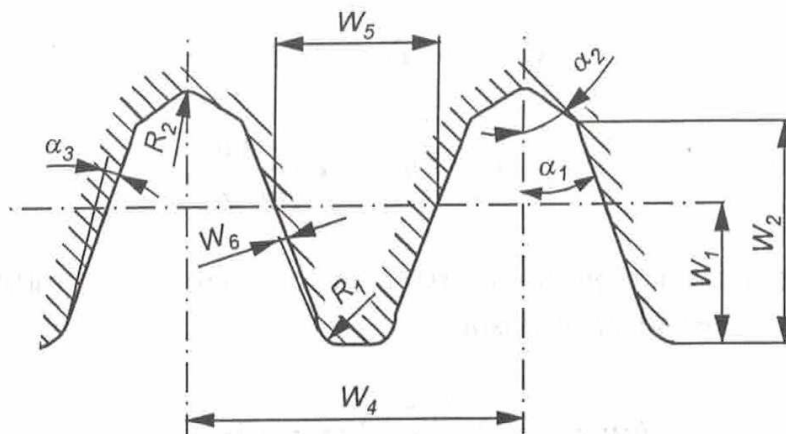
Podczas symulacji obróbki kół zębatach metodami Sunderlanda i Fellowsa następuje tylko odtaczanie narzędzia względem koła, a więc inaczej niż w rzeczywistości, gdzie ruchome są zarówno koło nacinane i narzędzie. Jednak ruch względny narzędzia i koła jest identyczny jak podczas rzeczywistych procesów obróbki. Kształt koła otrzymanego dzięki symulacji jest całkowicie zgodny z kształtem koła wykonanego na odpowiedniej obrabiarce. Symulacja jest realizowana na ekranie komputera klasy PC z możliwością wydruku wybranych zarysów. Przy wprowadzaniu danych parametry geometryczne można zmieniać w szerokim zakresie – umożliwia to obserwację zmiany kształtu zęba w wyniku korekcji, zjawisk podcinania stopy zęba czy zaostrenia wierzchołka, a także uzyskiwanie zarysów przy użyciu nietypowych narzędzi. Możliwe jest rysowanie całego koła lub jego wybranego fragmentu w żądanym powiększeniu. Rysunek na ekranie odpowiada formatowi A4 w przypadku pracy z drukarką, np. Laser Jet 4L.

### Metoda Sunderlanda – narzędzie w postaci zębatki

W metodzie tej narzędzie skrawające, oprócz ruchu roboczego (strugającego), wykonuje ruch przesuwowy, a obrabiane koło – ruch obrotowy. Ruch przesuwowy zębatki i obrotowy koła muszą być tak sprzężone, aby koło podziałowe odtaczało się bez poślizgu po linii toczonej zębatki. Jeśli po kole podziałowym odtacza się bez poślizgu oś zębatki, to wówczas korekcja ma wartość 0. Dopuszczenie osi zębatki do osi obrabianego koła daje ujemne przesunięcie zarysu (korekcja ma znak  $-$ ), odsunięcie – przesunięcie dodatnie (korekcja  $+$ ).

Kształt zębatki może być zmieniany w szerokim zakresie. Możliwe są dwa sposoby generowania zarysu narzędzia. Sposób pierwszy to zarys standardowy, zgodny z PN-92/M-88503 lub modyfikacja tego znormalizowanego zarysu. Program umożliwia tu zmianę kąta przyporu, promienia zaokrąglenia zębatki, wysokości głowy zęba narzędzia.

Przy zastosowaniu zarysu niestandardowego można wygenerować dowolny zarys narzędzia. Należy wówczas podać wymiary zgodnie z rysunkiem 7.1. Możliwość generowania takich narzędzi jest potrzebna przy analizie przekładni nietypowych, występujących np. przy produkcji licencyjnej.



Rys. 7.1. Podstawowe parametry geometryczne zębatki w przypadku modyfikacji zarysu zęba



Na rysunku otrzymanego koła zawsze jest rysowana średnica podziałowa. Średnica zasadnicza może być rysowana po wpisaniu odpowiedniego polecenia. Istnieje również możliwość rysowania średnicy wierzchołków o wartości podanej przez użytkownika lub obliczonej za pomocą programu.

Dane do programu są wprowadzane z klawiatury w trybie pracy konwersacyjnej. Liczba i kolejność danych jest zależna od podania odpowiednich wartości zmiennych sterujących działaniem programu zgodnie z komunikatami pojawiającymi się na ekranie monitora. Wprowadzone dane są zapamiętywane w określonych zbiorach i mogą być wykorzystywane przy powtórnych symulacjach.

### Metoda Fellowsa – narzędzie ma kształt koła zębatego

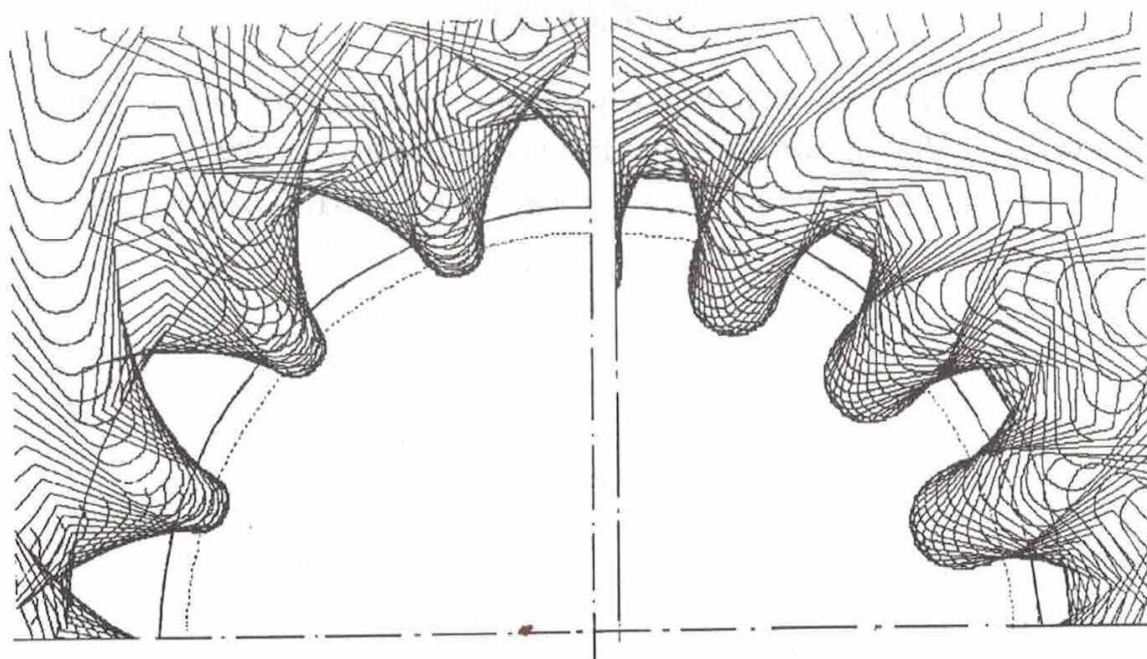
Podczas obróbki kół zębatach tą metodą występują następujące podstawowe ruchy narzędzia i koła obrabianego:

- skrawający ruch posuwisto-zwrotny narzędzia wzdłuż linii zęba,
- ruch obrotowy narzędzia,
- ruch obrotowy nacinanego koła.

Narzędzie i koło obrabiane odtaczają się względem siebie tak, jakby współpracowały ze sobą dwa koła tworzące przekładnię zębatą. Zarys zęba koła obrabianego jest obwiednią kolejnych położeń zarysu noża Fellowsa. Narzędzia te mają różne kształty w zależności od przeznaczenia (kierunku skrawania i cech geometrycznych obrabianego koła).

Metoda Fellowsa ma również zastosowanie przy obróbce kół o uzębieniu wewnętrznym. Symulacja obróbki tą metodą polega na odwzorowaniu ruchu względnego narzędzia i nacinanego koła. Parametry geometryczne narzędzia muszą być dokładnie określone. Dlatego też podczas symulacji zalecane jest przyjmowanie danych określających geometrię narzędzia zapisanych w zbiorach dyskowych.

Przykładowe zarysy uzębienia otrzymane podczas symulacji cyfrowej dla koła o liczbie zębów  $z = 14$  i dwóch różnych wartościach współczynnika korekcji, tzn. dla  $x = +0,5$  i  $x = -0,5$  zostały przedstawione na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Geometria uzębienia dla różnych wartości współczynnika korekcji

## 7.5. UWAGI DOTYCZĄCE SPRAWOZDANIA

W sprawozdaniu należy zamieścić wyniki obliczeń wskazanych (przez prowadzącego ćwiczenie) wielkości geometrycznych rozpatrywanego zazębienia, a także uwagi i wnioski dotyczące otrzymanych wyników badań, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu korekcji na kształt zębów i ich wytrzymałość.

Ponadto do sprawozdania należy dołączyć wydruki zarysów uzębień uzyskanych podczas symulacji.

## 7.6. ZAKRES OBOWIĄZUJĄCYCH WIADOMOŚCI

1. Pojęcia podstawowe, tzn. kryteria działania zazębienia, zarysy zębów, geometria zębów i kół, linia przyporu, odcinek przyporu, kąt przyporu, zarys odniesienia itd.
2. Metoda Reuleaux.
3. Graniczna liczba zębów ze względu na podcinanie, zastępcza liczba zębów.
4. Metody obróbki kół zębatych.
5. Korekcja uzębienia i zazębienia (cele, rodzaje, zalety i wady korekcji).
6. Zazębienie z przesuniętymi zarysami.
7. Podstawowe zależności geometryczne (wymiary kół zębatych, zębów, grubość zęba na kole podziałowym i na kole o dowolnym promieniu  $r$ , odległości osi).
8. Sprawdzanie dokładności wykonania kół zębatych.
9. Rodzaje przekładni zębatych.

## LITERATURA

- [1] Osiński Z., Bajon W., Szucki T.: Podstawy konstrukcji maszyn. PWN, Warszawa 1986.
- [2] Ochęduszko K.: Koła zębate, tom I. Konstrukcja. WNT, Warszawa 1974.
- [3] Ochęduszko K.: Koła zębate, tom II. Wykonanie i montaż. WNT, Warszawa 1976.