

Marek KOCHAŃCZYK, Andrzej WILK

DOBÓR CECH GEOMETRYCZNYCH MIMOŚRODOWEGO OSADZENIA ŁOŻYSK WAŁÓW KÓŁ ZĘBATYCH

Streszczenie. W artykule zamieszczono wyniki numerycznych obliczeń promieniowego przemieszczenia łożyskowania wałów kół zębatach oraz analizę możliwości kompensacji wypadkowej odchyłki linii styku zębów za pomocą mimośrodowego osadzenia łożysk.

SELECTION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF ECCENTRIC DEPOSITION BEARINGS

Summary. This paper presents results of numerical calculations of radial displacement of bearings deposition. This displacement is necessary for equalization load on the cog's width. Analysis of compensation resultant deviation of contact line is showed in second part this paper.

1. WYZNACZENIE PROMIENIOWYCH PRZEMIESZCZEŃ ŁOŻYSK

Mimośrodowe osadzenie łożysk umożliwia wyrównanie rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów. Nierównomierność obciążenia kół można zniwelować przy założeniu różnych odchyłek wykonawczych i odkształceń sprężystych elementów przekładni pod obciążeniem [3,4]. Jest to możliwe przy zastosowaniu mimośrodu o odpowiedniej wartości ramienia. Oszacowanie wartości tego ramienia wiąże się z wyznaczeniem wymaganego promieniowego przesunięcia osadzenia wału koła zębatego. Wartość tego przesunięcia winna równoważyć czynną wypadkową odchyłkę linii styku zębów F_{β} [1,5]:

$$F_{\beta y} = F_{\beta x} - y_{\beta}, \quad (1.1)$$

gdzie: $F_{\beta x}$ - początkowa odchyłka linii styku bez uwzględniania docierania,

y_{β} - wielkość dotarcia, która powstaje poprzez zmniejszenie się początkowej odchyłki linii styku w wyniku docierania się zębów podczas eksploatacji.

Początkowa odchyłka linii styku $F_{\beta\tau}$ jest bezwzględną sumą odchyłek wykonawczych uzębienia zębniaka i koła, odkształceń sprężystych wałów i korpusów zębniaka, koła oraz przemieszczeń wynikających z luzów w łożyskach, odkształceń obudowy, a także z różnicy temperatur na szerokości wieńca. Odchyłkę $F_{\beta\tau}$ [1,5] wyznaczyć można ze wzoru:

$$F_{\beta\tau} = |f_{ma} + f_{sh1} + f_{sh2} + f_{hc} + f_{ca} + f_{te}|, \quad (1.2)$$

gdzie: f_{ma} - odchyłka linii styku wynikająca z odchyłek wykonania,

$f_{sh1,2}$ - odchyłka linii styku uwzględniająca odkształcenia sprężyste wału i korpusu zębniaka, koła,

f_{hc} - odchyłka linii styku powstała w efekcie luzów i odkształceń w łożyskach.

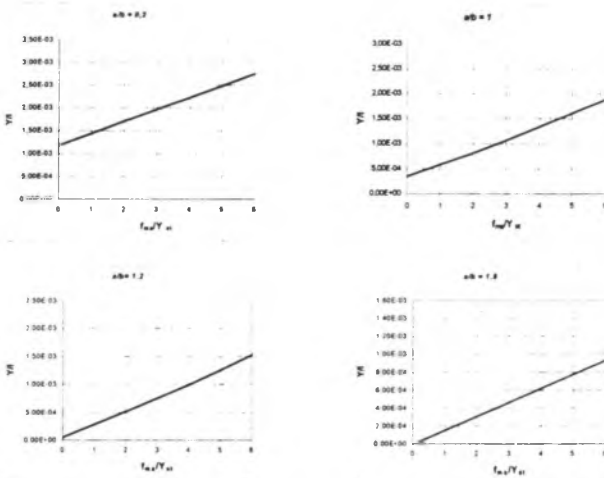
f_{ca} - odchyłka linii styku uwzględniająca odkształcenia obudowy,

f_{te} - odchyłka linii styku spowodowana różnicą temperatur na szerokości wieńca zębatego.

Istotny wpływ na wartość tej odchyłki mają jej składowe, które wynikają z odkształceń giętych i skrętnych wałów zębniaka i koła. W niniejszej pracy przeprowadzono obliczenia numeryczne, które pozwalają oszacować wartości tych odchyłek składowych w zależności od cech geometrycznych wałów oraz obciążenia. Podstawę obliczeń stanowił model L. Müllera [2], w którym założono, że zmiana obciążenia zęba jest proporcjonalna do zmiany linii zęba, wywołanej odkształceniami i odchyłkami wykonawczymi. Obliczenia prowadzono przy następujących założeniach:

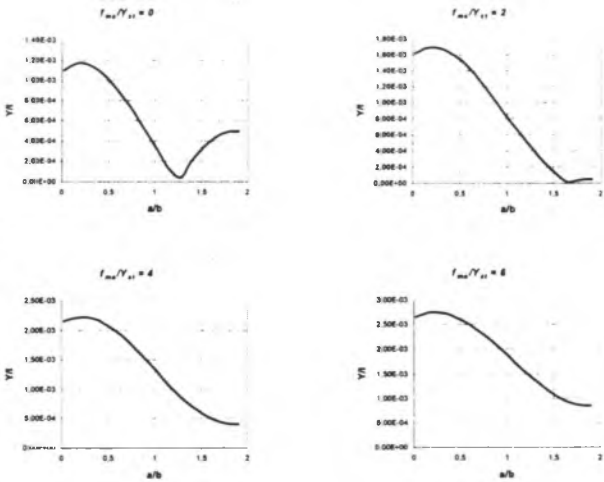
- obciążenie jednostkowe [2] $Q=3$ [MPa],
- względny rozstaw łożysk $l/b = 3$,
- względna szerokość zębniaka $b/d_1 = 1$,
- względna odchyłka f_{ma} odniesiona do ugięcia statycznego zazębienia Y_{st} , równa odpowiednio: 0, 2, 4 i 6.

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany wartości przesunięcia podpory końcowej Y odniesionej do rozstawu łożysk l w funkcji względnej odchyłki f_{ma} odniesionej do ugięcia statycznego pary zębów współpracujących kół Y_{st} . Wypadkowa odchyłka wykonania f_{ma} [1,5] jest sumą odchyłek kierunku linii zęba zębniaka i koła oraz odchyłek nierównoległości i przekoszenia osi kół. Z obliczeń wynika, że wraz ze wzrostem względnej odchyłki f_{ma} rośnie wymagane promieniowe przemieszczenie podpory końcowej Y . Przenieszczenie to za-



Rys. 1. Wartości promieniowego przesunięcia podpory końcowej Y odniesione do rozstawu łożysk l w funkcji względnej odchyłki f_{md}/Y_{st} , przy założeniu: $b/d_1=1$, $l/b=3$, $Q=3$, przy czterech wartościach a/b : 0.2, 1, 1.2, 1.8

Fig. 1. The value of relative radial displacement of bearings deposition Y/l depend on relative deviation f_{md}/Y_{st} , $b/d_1=1$, $l/b=3$, $Q=3$; a/b : 0.2, 1, 1.2, 1.8



Rys. 2. Wartości promieniowego przemieszczenia podpory końcowej Y odniesione do rozstawu łożysk l w funkcji a/b , przy założeniu $b/d_1=1$, $l/b=3$, $Q=3$ przy różnych wartościach względnej odchyłki f_{md}/Y_{st} : 0, 2, 4 i 6

Fig. 2. The value of relative radial displacement of bearings deposition Y/l depend on a/b ; $b/d_1=1$, $l/b=3$, $Q=3$; f_{md}/Y_{st} : 0, 2, 4 i 6

leży także od położenia zębniaka względem podpór a/b . Zmiany wartości tego przemieszczenia w funkcji położenia zębniaka względem podpór a/b przedstawiono na rysunku 2. Większe wartości występują w przypadku $a/b = 0.2$, gdy odkształcenia giętnie

i skątne dodają się. Przy $a/b = 1.8$ skutki zginania są równoważone przez odkształcenia skątne, co powoduje mniejsze wartości przemieszczenia Y . Wymagana wartość ramienia mimośrodowego potrzebnego do wyrównania rozkładu obciążenia zależy od wartości czynnej wypadkowej odchyłki linii styku zębów F_{β} . Im większa jest wartość odchyłki F_{β} , tym większe powinno być ramię mimośrodowe, zastosowanego do wyrównania rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów.

2. ANALIZA MOŻLIWOŚCI KOMPENSACJI WYPADKOWEJ ODCHYLEK LINII STYKU ZĘBÓW ZA POMOCĄ MIMOŚRODOWEGO OSADZENIA ŁOŻYSK

Mimośrodowe osadzenie jednej z podpór wału wiąże się z celowym wprowadzeniem odchyłek: przekoszenia f_y i nierównoległości osi f_x . Obracając mimośrodem zmieniamy zarówno odchyłkę przekoszenia osi, jak i nierównoległości osi (rys. 3). Wyrównanie rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów nastąpi wtedy, gdy wypadkowa odchyłka wynikająca z położenia mimośrodowego zrównoważy czynną wypadkową odchyłkę linii styku zębów F_{β} . Zależność tę możemy zapisać w postaci równania (rys. 3 oraz 4):

$$F_{\beta} - \zeta \frac{b}{l} \cos \alpha \cos \alpha_{wt} - \zeta \frac{b}{l} \sin \alpha \sin \alpha_{wt} = 0 \quad (2.1)$$

gdzie: F_{β} - czynna wypadkowa odchyłka linii styku zębów,

α_{wt} - toczny kąt przyporu w płaszczyźnie czołowej,

α - kąt obrotu mimośrodowego,

ζ - ramię mimośrodowego,

b - szerokość wieńca zębatego,

l - rozstaw łożysk.

Po uwzględnieniu znanych zależności trygonometrycznych oraz wprowadzając nowe oznaczenia:

$$\zeta' = \zeta \frac{b}{l} \quad (2.2)$$

gdzie: ζ' - zredukowane ramię mimośrodowego,

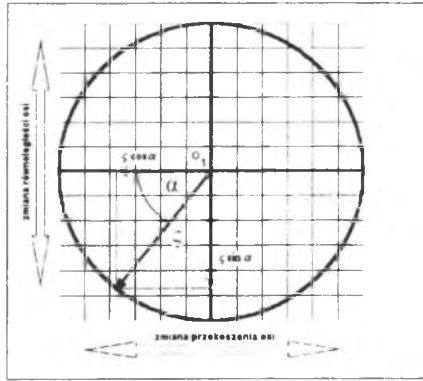
$$\text{oraz} \quad z = \frac{F_{\beta}}{\zeta'} \quad (2.3)$$

po podzieleniu stron równania przez ζ' , otrzymujemy:

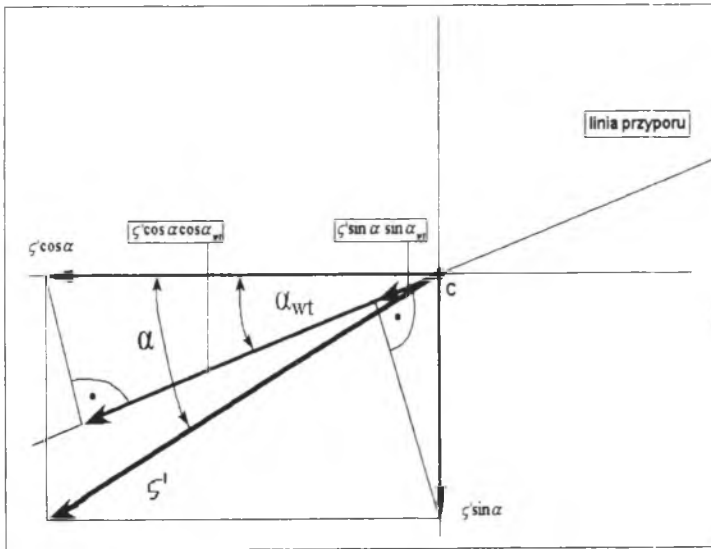
$$z - \cos(\alpha - \alpha_{wt}) = 0. \quad (2.4)$$

Na rysunku 5 przedstawiono rozwiązanie równania (2.4) przy założeniu wartości współczynnika z od 0.1 do 1. W przypadku gdy współczynnik z wynosi jeden, wartość

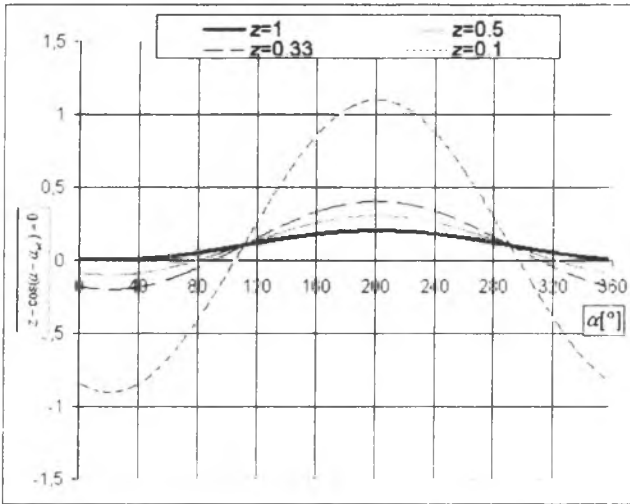
czynnej wypadkowej odchyłki linii styku zębów F_{β} równa jest wartości zredukowanego ramienia mimośrodowego ζ' .



Rys. 3. Odchyłki składowe linii styku zębów wynikające z położenia mimośrodowego
 Fig. 3. The deviations of the contact line depend on the eccentric position



Rys. 4. Składowe odchyłki linii styku zębów w punkcie toczenia C
 Fig. 4. The deviations of the contact line in the rolling point



Rys. 5. Wyniki rozwiązań równania (2.4) w funkcji kąta obrotu mimośrodów dla różnych wartości współczynnika z (wzór 2.3)

Fig. 5. Solutions of an equation (2.4) depend on angle of rotation of the eccentric

Wtedy w pełnym zakresie obrotu mimośrodów jest jedno położenie, w którym dochodzi do zrównoważenia odchyłki F_{β} , poprzez odchyłki nierównoległości i przekoszenia osi powstające w wyniku oddziaływania mimośrodów. Jeżeli wartość ramienia mimośrodów jest przykładowo dwa razy większa od wartości czynnej wypadkowej odchyłki linii styku zębów ($z=0.5$), to w pełnym zakresie obrotu mimośrodów są dwa położenia, przy których następuje kompensacja wypadkowej odchyłki linii styku zębów. Jak wynika z rysunku 5, w zakresie wartości współczynnika z mniejszych od 1, w każdym przypadku występują dwa położenia mimośrodów, przy których odchyłka F_{β} zostaje zrównoważona poprzez odchyłkę wynikającą z odpowiedniego nastawienia tego mimośrodów. W praktyce oznacza to, że kompensacja czynnej wypadkowej odchyłki linii styku F_{β} jest możliwa, gdy zredukowane ramię mimośrodów ζ' jest większe od oczekiwanej wartości tej odchyłki. Zakres regulacji możemy podzielić na dwie strefy (rys. 3 oraz 5):

I - od 0 do 180 [°], w której odległość osi kół jest większa od początkowej,

II - od 180 do 360 [°], w której odległość osi kół jest mniejsza od początkowej.

W strefach tych odpowiednio zwiększa się i zmniejsza luz międzyzębny kół zębatych [1,2]. Ponieważ ograniczenie tego luzu jest czynnikiem wpływającym na prawidłową pracę przekładni zębatej, dlatego innym warunkiem decydującym o możliwości kompensacji wypadkowej odchyłki linii styku zębów za pomocą mimośrodowego osadzenia łożysk jest zachowanie odpowiedniego luzu międzyzębnego, a więc niedopuszczenie do zakleszczenia

się zębów współpracujących kół. W przypadku zębów prostych warunek zakleszczania się zębów przekładni możemy sformułować następująco:

$$1 + 2 \sin \alpha_0 \zeta'_i \sin \alpha - |\zeta'_i \cos \alpha \cos \alpha_0| \geq \frac{j_{n \min}}{j_n}, \quad (2.5)$$

gdzie: $\zeta'_i = \frac{\zeta_i}{j_n}$,

α - kąt obrotu mimośrodu,

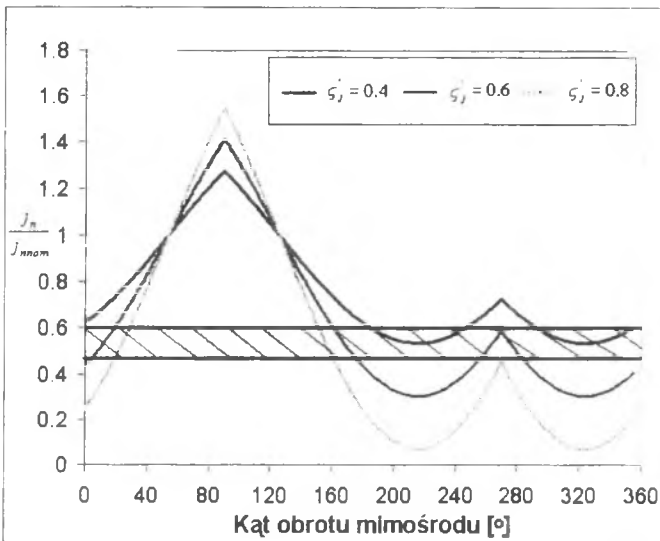
α_0 - nominalny kąt przyporu na walcu podziałowym,

ζ'_i - zredukowane ramię mimośrodu,

j_n - luz boczny normalny,

$j_{n \min}$ - minimalny luz boczny normalny.

Równanie (2.5) uwzględnia zmiany luzu międzyzębego spowodowane zarówno zmianą odległości osi kół, jak również ich przekoszenia. Rysunek 6 przedstawia względny luz wynikający z nastawienia mimośrodu j_n odniesiony do luzu bocznego $j_{n \text{nom}}$ od kąta obrotu mimośrodu, przy trzech wartościach względnego zredukowanego ramienia mimośrodu ζ'_i : 0.4, 0.6 i 0.8.



Rys. 6. Względny luz boczny wynikający z nastawienia mimośrodu odniesiony do luzu bocznego $j_{n \text{nom}}$ w funkcji kąta obrotu mimośrodu

Fig. 6. The relative lateral clearance $j_n/j_{n \text{nom}}$ depend on angle of rotation of the eccentric

W przypadku ogólnoprzemysłowych przekładni zębatych wartość minimalnego luzu bocznego $j_{n \text{min}}$ odniesiona do luzu nominalnego $j_{n \text{nom}}$ mieści się w granicach od 0.45 do 0.6.

Ilustruje to zakreskowane pole na rysunku 6. W praktyce oznacza to, że użyteczny zakres regulacji mimośrodów znajduje się w przedziale obrotu mimośrodów od $0 [^\circ]$ do $180 [^\circ]$, w którym następuje zwiększenie odległości osi kół. W zakresie tym występuje tylko jedno położenie, gdzie dochodzi do wyrównania rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów (rys. 5).

3. PODSUMOWANIE

Wartość ramienia mimośrodu niezbędnego do wyrównania rozkładu obciążenia zależy od wartości czynnej wypadkowej odchyłki linii styku zębów F_{β} . Wyższe wartości tej odchyłki wymagają większego ramienia mimośrodu, zastosowanego do wyrównania rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów. Wymagana wartość współczynnika z powinna się znajdować w granicach od 0.66 do 0.3, co oznacza, że zredukowane ramię mimośrodu powinno być od 1.5 do 3 razy większe od oczekiwanej wartości odchyłki F_{β} . Warunkiem ograniczającym możliwości wyrównania rozkładu obciążenia poprzez mimośrodowe osadzenie łożysk jest zachowanie minimalnej wartości luzu bocznego j_n . W praktyce ze względu na to ograniczenie celowa jest regulacja położenia mimośrodu w 1 strefie regulacji, w której odległość osi kół jest większa od początkowej.

Litertatura

1. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe. WKŁ, Warszawa 1992.
2. Müller L.: Przekładnie zębate - projektowanie. WNT, Warszawa 1996.
3. Wilk A., Kochańczyk M.: Mimośrodowe osadzenie łożysk jako metoda wyrównania rozkładu obciążenia na szerokości koła. XIX Sympozjon PKM 1999.
4. Wilk A., Kochańczyk M., Świątek A.: Metoda wyrównawania rozkładu obciążenia na szerokości koła jako element diagnostyki konstrukcyjnej. XXVII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”. Węgierska Górka 28.02-04.04.2000 r.
5. Normy: DIN 3990/1, ISO/DIS 6336/1,
PN – 79/M- 88522, PN-85/M-86100, PN-85/M-86452.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Abstract

The effects of unequal load dispose may be decreased through eccentric bearings deposition. The equal load dispose make endurencing properties better. The value of the eccentric of the arm depends on resultant deviation of contact line F_{β} . The high values of contact line deviation needs high displacement of bearings deposition. The value of coefficient z should be from 0.66 to 0.3. An other condition, which restriction equalization of load on the cog's width is the value of lateral clearance j_n .

Praca wykonana w ramach badań własnych BW/429/RM10/2001