

Jerzy WIERZBICKI

## KONSTRUKCJA, POMIARY I ODBIÓR JARZM PRECYZYJNYCH PRZEKŁADNI PLANETARNYCH

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zagadnienie ustalania odchyłki promieniowej i kątowej położenia osi kół obiegowych w precyzyjnych przekładniach planetarnych. Zaproponowano wzory obliczeniowe odchyłki kątowej i zastosowanie w nich znormalizowanych odchylek położenia.

### 1. WSTĘP

Przekładnie planetarne można podzielić pod względem dokładności wykonania na przekładnie nie zwykłej dokładności (ogólnego stosowania) i przekładnie precyzyjne, przy czym liczba stopni nie decyduje o zaliczeniu przekładni do jednej lub drugiej grupy, dlatego niniejsze opracowanie dotyczy tylko jednego stopnia przekładni planetarnej.

O zaliczeniu przekładni planetarnej do grupy przekładni precyzyjnych decydują następujące wymagania funkcjonalne lub wymagania konstrukcyjne:

- potrzeba przyjęcia lub przeniesienia dużych prędkości obrotowych,
- potrzeba wyrównania rozdziału obciążeń na N kół obiegowych,
- zastosowanie 4 lub więcej kół obiegowych,
- minimalizacja luzów międzyzębnych,
- minimalizacja drgań i hałasu przekładni.

Do grupy przekładni precyzyjnych zalicza się przekładnie czołowe walcowe i planetarne wykonane w klasie co najmniej 5 według PN-79/M-88522/01.

Z grupy powyższych wymagań jedynie minimalizacja luzów międzyzębnych jest celem samodzielnym - wymaganiem funkcjonalnym, które bezpośrednio decyduje o klasie dokładności wykonania całej przekładni. Dla pozostałych wymagań klasa dokładności jest tylko środkiem do osiągnięcia określonych celów konstrukcyjnych, przy czym dla tych wymagań między dokładnością przekładni a ustalonym celem konstrukcyjnym zachodzi tylko relacja jakościowa.

Powyższe wymagania wprowadza się do konstrukcji przekładni, dobierając odpowiednią klasę dokładności wykonania kół zębatach, kompletnej przekładni i pozostałych części przekładni na podstawie przeprowadzonych doświadczeń produkcyjnych i danych statystycznych.

Takie stabelaryzowane relacje zachodzą w wypadku doboru klasy dokładności wykonania kół zębatach w zależności od prędkości obwodowej. Wymagania dotyczące rozdziału obciążeń, hałaśliwości przekładni nie są połączone z klasami dokładności kół związkami ilościowymi lecz tylko jakościowymi. Dla tych wymagań, w fazie opracowywania ZTT, ustala się wartość liczbową graniczną parametru kontrolnego, która jest sprawdzana w fazie badań prototypu wyrobu.

Osiąganie wartości granicznej parametru dla następnych egzemplarzy wyrobu realizuje się przez doskonalenie konstrukcji, w tym również przez podwyższenie dokładności wykonania węzłowych części.

Spośród wymienionych wymagań jedynie wymaganie dotyczące luzów międzyzębnych odnosi się do geometrycznych cech przekładni i tylko w tym wypadku, po przyjęciu klasy dokładności wykonania przekładni, możliwe jest wyliczenie luzu w poszczególnym ząbieniu i sumarycznych luzów dla stopnia przekładni planetarnej.

## 2. ZASIĘG NORMALIZACJI DOKŁADNOŚCI WYKONANIA KÓŁ ZĘBATYCH

Dobór klasy dokładności i sprawdzanie dokładności przekładni zębatych, kół zębatych i uzębień jest ujęty w normach krajowych i jest wykonywany według powszechnie znanych metod. Natomiast jarzmo przekładni planetarnej zostało uznane za część ogólnomaszynową i ze względu na różnorodność kształtów nie zostało znormalizowane, chociaż w normie PN-79/M-88522/01, w rozdziale odnoszącym się do przylegania zębów, podano dwa parametry  $F_x$  i  $F_y$  charakteryzujące położenie osi obrotów kół obiegowych względem osi koła centralnego.

Parametr  $F_x$  oznacza odchyłkę równoległości osi obrotu jarzma i osi obrotu koła obiegowego a parametr  $F_y$  oznacza odchyłkę wchrowatości wymienionych osi.

Zestaw dwóch parametrów  $F_x$ ;  $F_y$  jest kompletny dla przekładni czołowej składającej się z dwóch kół zębatych, lecz jest niewystarczający dla określenia dokładności położenia osi kół obiegowych w przekładni planetarnej.

Dla zestawienia kompletu parametrów opisujących dokładność jarzma należy dołączyć jeszcze parametr opisujący niedokładność kąтового rozmieszczenia osi kół obiegowych.

Dla powyższego parametru proponuje się oznaczenia i definicje:

- $f_\psi$  - niedokładność położenia kąтового osi kół obiegowych,

oraz

- $F_\psi$  - dopuszczalna odchyłka położenia kąowego osi kół obiegowych.

## 3. WYZNACZANIE WARTOŚCI LICZBOWYCH ODCHYLKI $F_\psi$

Dla zazębnień bezluzowych kół obiegowych z kołem centralnym wewnętrznym i zewnętrznym ustala się warunek montażu wyrażony przez odchyłki elementarne:

$$E_s = F_{\beta r} + f_\psi + (F_{tr} + f_{xr}) * \tan \alpha \quad (1)$$

gdzie lewa strona równania odnosi się do koła centralnego, a prawa strona do koła obiegowego. W celu zapewnienia prawidłowej współpracy uzębień do powyższego wzoru należy wprowadzić parametr luzu międzyzębego obwodowego:

$$E_s = F_{\beta r} + f_\psi + (F_{tr} + f_{xr}) * \tan \alpha + j_{tr} \quad (2)$$

oznaczenia w powyższych wzorach:

$E_s$  - odchyłka grubości zęba wzdłuż stałej cięciwy, na walcu podziałowym, (według punktu 2.4.13 z normy PN-79/M-88522/01)

$F_{\beta r}$  - odchyłka kierunku zęba na walcu podziałowym (według punktu 3.4.6 z normy PN-79/M-88522/00)

$F_{tr}$  - bicie promieniowe uzębienia (według punktu 2.1.1 z normy PN-79/M-88522/01)

$f_{xr}$  - nierównoległość osi koła centralnego i koła obiegowego (według punktu 2.3.8 z normy PN-79/M-88522/01)

$j_{tr}$  - obwodowy luz boczny (według punktu 3.5.4 z normy PN-79/M-88522/00)

Z wzoru (2) oblicza się parametr  $f_\psi$ :

$$f_\psi = E_s - F_{\beta r} - (F_{tr} + f_{xr}) * \tan \alpha - j_{tr} \quad (3)$$

Wielkość błędu położenia osi kół obiegowych jest funkcją zmiennych:

- klasy dokładności wykonania współpracujących kół;
- modułu;
- średnicy podziałowej,

- szerokości uzębienia,
- rozstawu osi.

a zatem odchyłka położenia  $f_{\psi}$  ma charakter odchyłki kompleksowej.

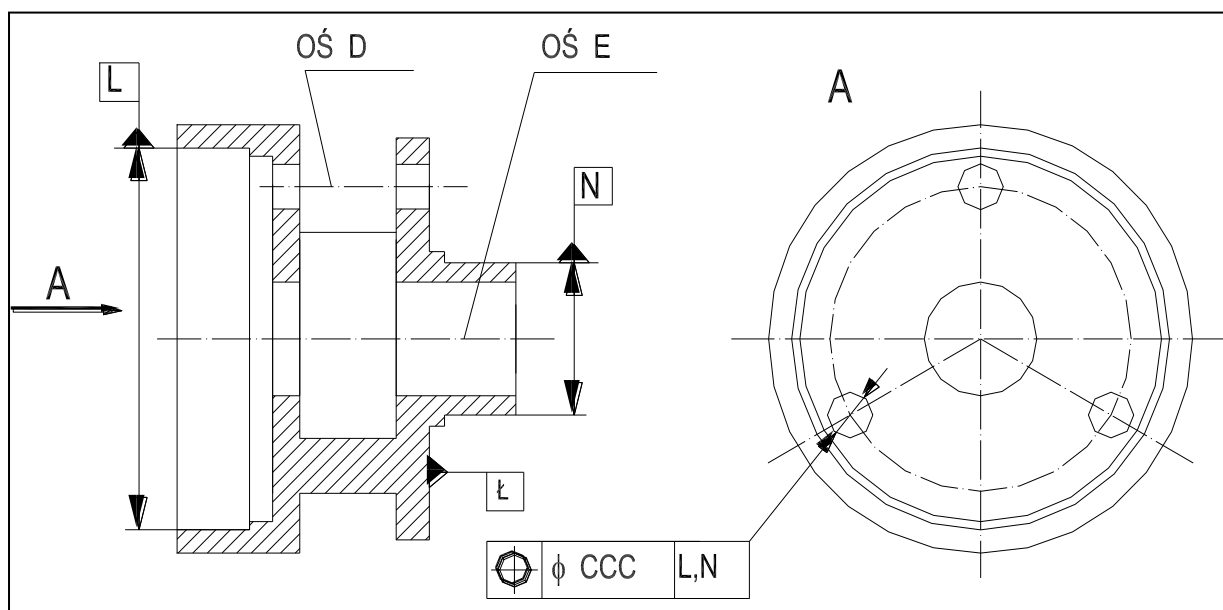
Zależność tej odchyłki od kilku zmiennych parametrów powoduje, że nie jest celowe przedstawianie jej wielkości w tabelach. Przeciwnie, łatwie i słusznie jest obliczanie wielkości odchyłek  $F_{\psi}$  dla każdego kompletu odchyłek elementarnych.

#### 4. WYBÓR POWIERZCHNI BAZOWYCH I ICH WYKONANIE

Zwykle za powierzchnie bazowe przyjmuje się dwie dostępne powierzchnie łożyskowe wykonane w klasie IT6 i z tolerancją walcowości z klas 5 lub 6. Do pomiarów wzdłużnych potrzebna jest płaszczyzna bazowa, prostopadła do osi wyznaczonej przez walcowe powierzchnie bazowe. Chropowatość wszystkich powierzchni bazowych nie powinna przekraczać  $Ra 1,6 \mu m$ .

#### 5. APLIKACJA ODCHYLKI POŁOŻENIA $f_{\psi}$ W DOKUMENTACJI KONSTRUKCYJNEJ JARZM

Do zdefiniowania dokładności położenia osi kół obiegowych w typowych przekładniach planetarnych wystarczające jest podanie odchyłki jak pokazano na rysunku nr 1:



Rys. 1. Odchyłki położenia osi kół obiegowych

Dla przekładni planetarnych precyzyjnych powyższy sposób wymiarowania dokładności położenia osi kół obiegowych jest niewłaściwy, ponieważ różny jest wpływ odchyłki  $F_x$  (nierównoległość osi D; E) i odchyłki  $F_y$  (wichrowatość osi D; E) na luz międzyzębny.

Analogicznie do wzoru nr 1, wpływ odchyłek  $F_x$  i  $F_y$  na luz międzyzębny obwodowy jest wtedy jednakowy, gdy jest spełniony warunek:



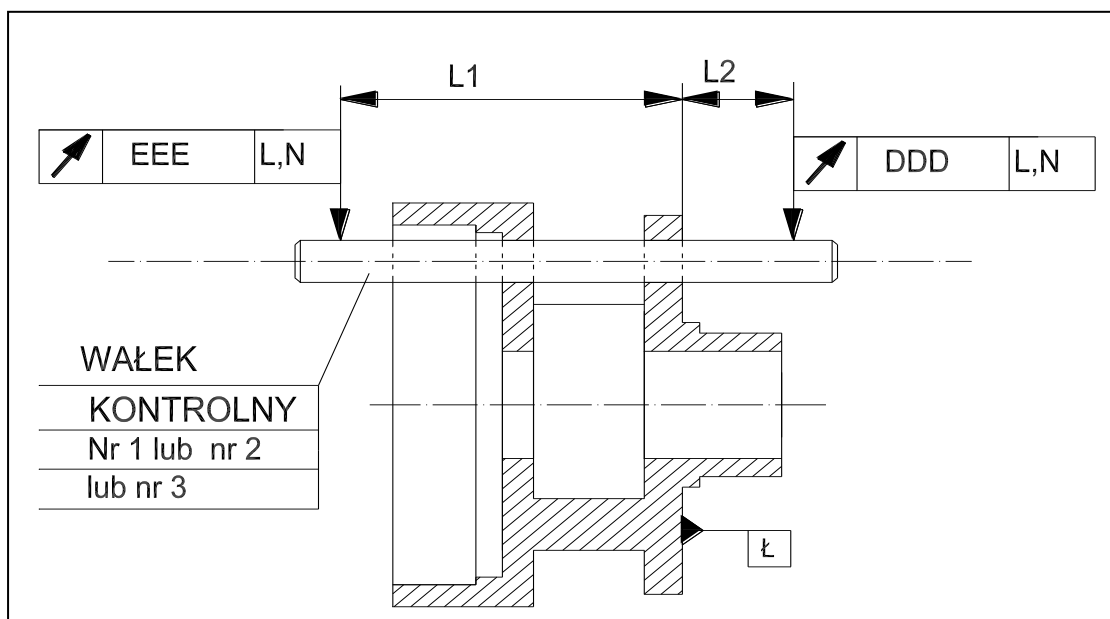
W zależności od wyposażenia zakładu pomiary mogą być wykonywane na maszynach pomiarowych lub w wypadku ich braku przy użyciu uniwersalnych narzędzi pomiarowych ręcznych o rozdzielczości nie gorszej niż  $1 \pm 2 \mu\text{m}$ .

Opisywany w niniejszym artykule system pomiarowy jest przewidziany dla służby kontroli jakości wyposażonej tylko w uniwersalne narzędzia pomiarowe.

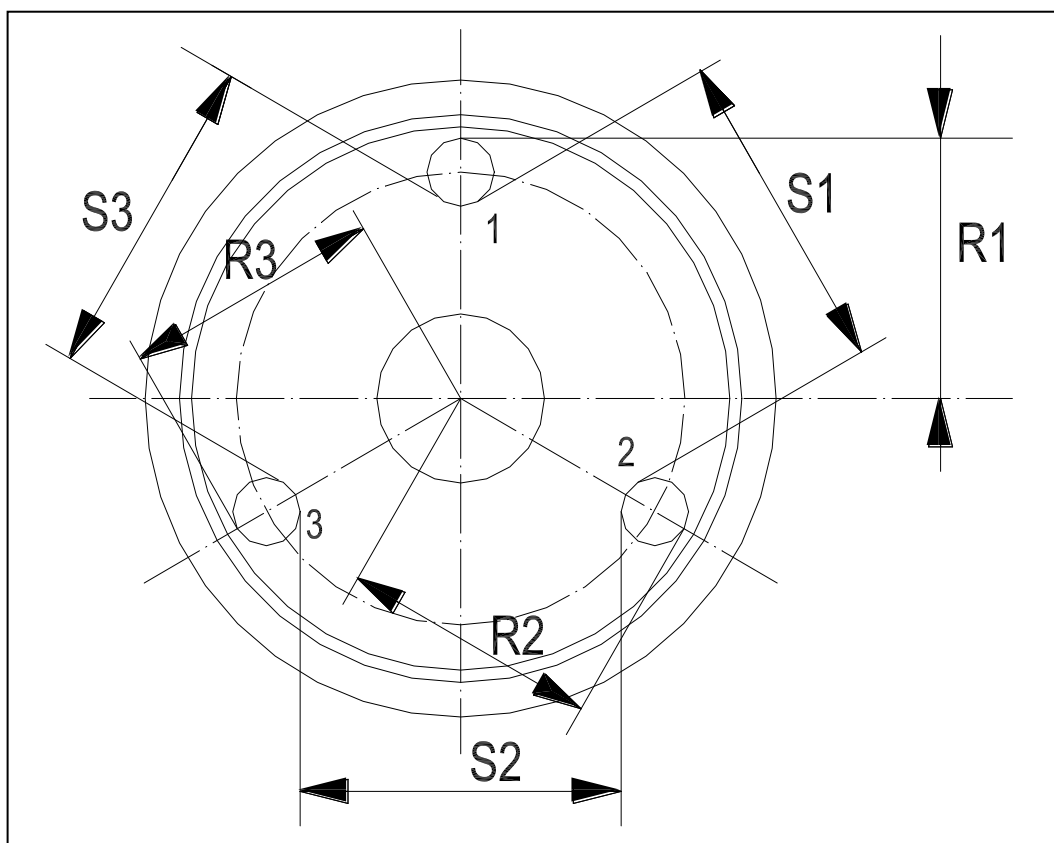
Do pomiarów niezbędne są 3÷5 sworznie kontrolne wykonane w tolerancji IT3 lub IT4, tworzące z otworami w jarzmie pasowanie mieszane.

Sposób wykorzystania sworzni przedstawia rysunek nr 3a i 3b.

a)



b)



### **Rys. 3. Sposób wykorzystania sworzni pomiarowych**

Instrukcja wykonywania pomiarów, procedura wyliczania odchyłek i formularz karty pomiarowej zostaną opisane w przewidzianej do publikacji następnej części artykułu.

## **8. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONEJ ANALIZY**

- Jarzma precyzyjnych przekładni planetarnych wymagają obliczenia wielkości kątowej odchyłki położenia osi kół obiegowych,
- sprawdzanie jarzma precyzyjnej przekładni planetarnej wymaga wykonania kompletu pomiarów liniowych i odchyłek położenia,
- wyniki pomiarów wymagają przeliczenia w celu otrzymania rzeczywistych wielkości odchyłek.

## **9. LITERATURA**

- [1] JAŚKIEWICZ Z., WĄSIEWSKI A.: Przekładnie walcowe projektowanie, Tom I, II; Wyd. 1, WKiŁ; Warszawa 1995.
- [2] OCHEŁDUSZKO K.: Koła zębate - tom III. Sprawdzanie Wyd. 5, WNT; Warszawa 1972.
- [3] MÜLLER L.: Przekładnie zębate - projektowanie. Wyd. 3, WNT; Warszawa 1979.
- [4] Polska Norma PN-79/M-88522 Ark. 00 i 01.

## **DESIGN, MEASUREMENTS AND ACCEPTANCE TESTS OF CAGES OF PRECISION PLANETARY GEARS**

**Abstract:** The paper presents the need to determine separately the radial and angular deviation of satellite wheels axes in precision planetary gears. Formulas for calculating angular deviation and the use of normalised deviations are proposed.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej WILK