

STANISŁAW WARCHOŁ*

WYZNACZANIE ZARYSU GWINTU ROLKI
DLA TRAPEZOWEGO ZARYSU GWINTU ŚRUBY
W ROLKOWEJ PRZEKŁADNI ŚRUBOWEJ

DETERMINATION OF THE OUTLINE OF THE THREAD
ROLLER FOR TRAPEZOIDAL SCREW THREAD PROFILE
IN THE ROLLER – SCREW

Streszczenie

W niniejszym artykule opisano zasadę działania rolkowej przekładni śrubowej. Pokazano wpływ średnic elementów na uzyskiwany przesuw osiowy. Przedstawiono tok postępowania, jaki należy przeprowadzić w celu wyznaczenia zarysu gwintu rolki ze względu na zabezpieczenie przed wystąpieniem interferencji zarysów gwintu współpracujących elementów. Przedstawiono otrzymane wyniki.

Słowa kluczowe: rolkowa przekładnia śrubowa

Abstract

The paper describes the principle of roller screw transmission. The influence the diameters of the elements have been shown on axial displacement. The procedure determining the outline of the thread rollers which is protected against interference of screw element has been described. The example results are presented.

Keywords: roller screw

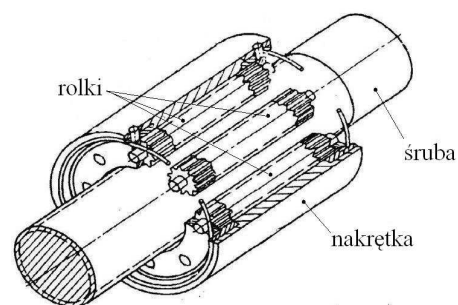
* Mgr inż. Stanisław Warchoł, Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska.

Oznaczenia

| | |
|---------------|--|
| d_{2S} | – średnica toczna śruby |
| d_{2R} | – średnica toczna rolki |
| D_{2N} | – średnica toczna nakrętki |
| d_S | – średnica śruby |
| d_R | – średnica rolki |
| γ_S | – kąt wzniosu gwintu śruby |
| γ_R | – kąt wzniosu gwintu rolki |
| γ_N | – kąt wzniosu gwintu nakrętki |
| n_S | – krotność gwintu śruby |
| n_R | – krotność gwintu rolki |
| n_N | – krotność gwintu nakrętki |
| P | – podziałka gwintu |
| n | – liczba sprawdzanych przekrojów |
| S_S | – grubość zwoju gwintu śruby |
| S_R | – grubość zwoju gwintu rolki |
| α_S | – półkął zarysu gwintu śruby |
| δ_{SR} | – kąt współpracy śruby i rolki oznaczony na śrubie |
| δ_{RS} | – kąt współpracy śruby i rolki oznaczony na rolce |
| L_{SR} | – przesunięcie osiowe śruby |
| L_{RS} | – przesunięcie osiowe rolki |
| Δl | – przesunięcie osiowe rolki względem śruby |

1. Wstęp

Przekładnie śrubowe toczne służą do zamiany ruchu obrotowego na ruch postępowy. Występują różne rozwiązania konstrukcyjne budowy takich przekładni, kilka z nich zostało omówionych, m.in. w pozycji literaturowej [1]. Ogólny schemat przekładni został pokazany na rys. 1 [2].



Rys. 1. Rolkowa gwintowa przekładnia

Fig. 1. Roller-screw

W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego rolki mogą współpracować tylko ze śrubą lub tylko z nakrętką lub w przypadku ogólnym równocześnie z oboma elementami. Zasada działania dokładnie opisano i zobrazowano w pozycji literaturowej [3]. Warunkiem koniecznym pracy przekładni jest to, że wszystkie jej podstawowe elementy (śruba, rolki, nakrętka) muszą mieć jednakową podziałkę gwintu. Elementem napędzającym może być śruba, jak i nakrętka. Ruch obrotowy elementu czynnego wywołuje obracanie się rolek i ich przesuw względem śruby.

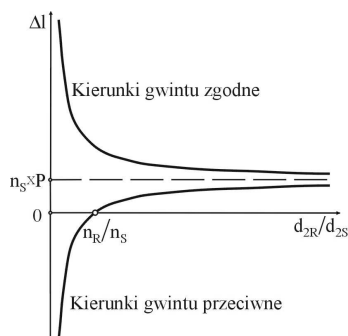
Osiowe przesunięcie rolki względem śruby na jeden jej obrót przedstawia następująca zależność:

$$\Delta l = \pi \cdot d_{2S} \cdot (\operatorname{tg}(\gamma_S) \mp \operatorname{tg}(\gamma_R)) \quad (1)$$

Po przekształceniach otrzymuje się:

$$\Delta l = P \cdot \left(n_S \mp \frac{d_{2S}}{d_{2R}} \cdot n_R \right) \quad (2)$$

Znak „-” jest dla przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowej gwintu współpracujących elementów, natomiast znak „+” dla zgodnych kierunków. W przypadku przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowej i przy jednakowych wartościach kątów γ_S oraz γ_R wartość przesunięcia osiowego Δl wyniesie zero. W takim przypadku przekładnia przestanie wykonywać swoje zadanie, a zacznie się zachowywać podobnie jak przekładnia planetarna. Po przekształceniach wykres zależności przesunięcia Δl na jeden obrót śruby od stosunku d_{2R}/d_{2S} pokazany w [4] ostatecznie przybierze kształt pokazany na rys. 2. Jak widać na podstawie rys. 2, wraz ze wzrostem średnicy tocznej gwintu rolki (przy stałej średnicy śruby) osiowe przemieszczenie rolek dąży do wartości równej skokowi gwintu śruby. W przypadku przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowych, gdy stosunek średnic tocznych rolki d_{2R} do śruby d_{2S} jest równy stosunkowi ich krotności gwintów n_R/n_S przesunięcie nie występuje.



Rys. 2. Zależność przesunięcia osiowego od stosunku średnic

Fig. 2. Dependence on the ratio of axial diameters

W przypadku, gdy rolki współpracują również z nakrętką, zależność jest podobna, przy czym znak „-” jest dla kierunków zgodnych; wynika to ze współpracy gwintu

zewnątrznego w wewnętrznym, dla pary śruba – rolka jest współpraca gwintu zewnętrznego z zewnętrznym. Ze względów konstrukcyjnych wymaga się, żeby rolki nie wykręcały się z nakrętki, co oznacza, że przesunięcie osiowe dla tej pary musi wynosić zero, a co za tym idzie:

$$\gamma_N = \gamma_R \quad (3)$$

2. Wyznaczanie zarysu gwintu rolki – tok postępowania

W przypadku, gdy rolka współpracuje jedynie ze śrubą, to średnicę rolki można dobrać dowolnie.

$$D_{2N} = d_{2S} + 2 \cdot d_{2R} \quad (4)$$

$$d_{2i} = \frac{n_i \cdot P}{\pi \cdot \operatorname{tg}(\gamma_i)} \quad (5)$$

Jeśli natomiast rolka współpracuje ze śrubą i z nakrętką, to średnica rolki jest ściśle określona i wyznacza się ją wykorzystując zależności (3), (4), (5), skąd otrzymuje się zależność:

$$d_{2R} = d_{2S} \cdot \frac{n_R}{n_N - 2 \cdot n_R} \quad (6)$$

Na podstawie zależności (6) widać, że krotność gwintu nakrętki musi być równa conajmniej 3.

Poniżej opisano tok postępowania dla wyznaczania zarysu gwintu rolki w przypadku jej współpracy jedynie ze śrubą. Dla zadanych parametrów (średnic i krotności) gwintu współpracujących elementów, przyjmuje się liczbę punktów, w których będzie wyznaczana grubość zwoju gwintu rolki. Następnie wg zależności (7) wyznacza się wartości średnic współpracujących elementów w kolejnych przekrojach oraz grubość zwoju gwintu śruby mierzoną w przekroju osiowym.

$$\begin{cases} d_s [i] = 2 \cdot d_{2S} - d_s + 2 \cdot \frac{d_s - d_{2S}}{n} \cdot i \\ d_r [i] = d_r - 2 \cdot \frac{d_r - d_{2R}}{n} \cdot i \\ S_s [i] = \frac{1}{2} \cdot P + (d_{2S} - d_s [i]) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_s) \end{cases} \quad (7)$$

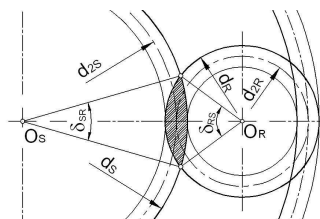
Kolejnymi etapami, które należy powtarzać dla każdej z wyznaczonych średnic rolki są:

Wybór danej średnicy rolki $d_r[i] = dj_R$. Następnie dla średnic śruby należących do przedziału:

$$d_s [i] \in \langle (d_{2S} + d_{2R} - dj_R), d_s \rangle \quad (8)$$

wyznacza się kąty styku δ_{SR} , δ_{RS} przyjętej średnicy rolki d_{jR} z poszczególnymi średnicami śruby.

Na rys. 3 przedstawiono możliwy obszar kontaktu rolki ze śrubą z zaznaczonymi kątami współpracy tych elementów.



Rys. 3. Obszar współpracy pary śruba – rolka

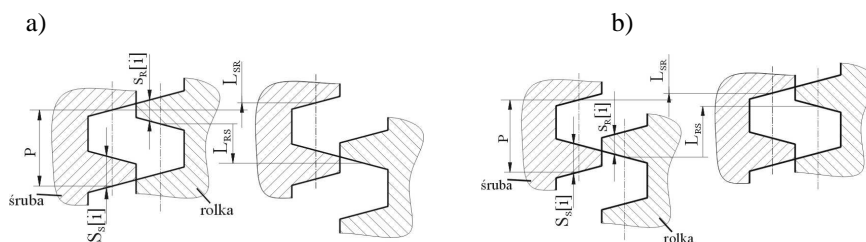
Fig. 3. The area of cooperation couples screw – roll

Korzystając ze wzorów wyprowadzonych w [5], po przekształceniach otrzymuje się zależność:

$$\begin{cases} \delta_{SR} [i] = 2 \cdot \arccos \frac{d_s^2 [i] + (d_{2S} + d_{2R})^2 - d_{jR}^2}{2 \cdot d_s [i] \cdot (d_{2S} + d_{2R})} \\ \delta_{RS} [i] = 2 \cdot \arccos \frac{d_{jR}^2 + (d_{2S} + d_{2R})^2 - d_s^2 [i]}{2 \cdot d_{jR} \cdot (d_{2S} + d_{2R})} \end{cases} \quad (9)$$

Następnie wyznacza się osiowe przesunięcia punktów leżących na tych średnicach dla obliczonych kątów. Określa je zależność (10):

$$\begin{cases} L_{SR} [i] = n_s \cdot P \cdot \frac{\delta_{SR} [i]}{2 \cdot \pi} \\ L_{RS} [i] = n_r \cdot P \cdot \frac{\delta_{RS} [i]}{2 \cdot \pi} \end{cases} \quad (10)$$



Rys. 4. Położenie elementów względem siebie na końcach obszarów styku:

a) – dla zgodnego kierunku pochylenia gwintu elementów; b) – dla przeciwnych kierunków

Fig. 4. Location of elements to each other at the ends of contact areas:

a) – consistent direction of inclination of thread elements; b) – for opposite directions

Na rysunku 4 przedstawiono położenie względem siebie śruby i rolki na końcach obszarów możliwych kontaktów, tak żeby wyeliminować możliwość wystąpienia zjawiska interferencji. Na podstawie rys. 4 wyznacza się zależności opisujące maksymalną grubość rolki, jaka jest możliwa bez wystąpienia interferencji.

Grubość zwoju rolki dla kontaktu ze średnicami $d_S[i]$ oblicza się zależności:

a) dla zgodnych kierunków pochylenia gwintu:

$$S_R [i] = P - S_S [i] - |L_{RS} - L_{SR}|, \quad (11)$$

b) dla przeciwnych kierunków pochylenia gwintu:

$$S_R [i] = P - S_S [i] - L_{RS} - L_{SR} \quad (12)$$

Grubość zwoju gwintu rolki zapewniająca niewystąpienie interferencji ma postać:

$$S_R = \min (S_R [i]) \quad (13)$$

Cały ten etap obliczeń należy powtarzać w pętli dla kolejnych średnic d_{jR} . Im więcej przyjmie się punktów podziału, tym dokładniejszy zarys się otrzymuje.

W analogiczny sposób postępuje się, wyznaczając zarys gwintu nakrętki dla współpracy z wyznaczonym zarysem gwintu rolki.

3. Przykładowe wyniki obliczeń

Na podstawie zależności opisanych w punkcie 2 opracowano program komputerowy dokonujący odpowiednich obliczeń dla wprowadzonych danych. W tabeli 1 przedstawiono wybrane grubości zarysu gwintu rolki dla zadanej średnicy śruby i zmienianych średnicach rolki.

Tabela 1

Grubości zarysu gwintu rolki na średnicy zewnętrznej S_R i tocznej S_{2R} oraz wartość przesunięć osiowych Δl na jeden obrót dla gwintu śruby $Tr 40 \times 10$

| Kierunki gwintu | | $d_{2R} = 15$ | $d_{2R} = 20$ | $d_{2R} = 25$ | $d_{2R} = 30$ | $d_{2R} = 35$ | $d_{2R} = 40$ | $d_{2R} = 45$ | $d_{2R} = 55$ |
|-----------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Zgodne | S_{2R} | 3,2414 | 3,553 | 3,7474 | 3,8738 | 3,9628 | 4,0289 | 4,0799 | 4,1539 |
| | S_R | 2,1512 | 2,34 | 2,4646 | 2,5523 | 2,6175 | 2,6679 | 2,708 | 2,768 |
| | Δl | 33,33 | 27,5 | 24 | 21,66 | 20 | 18,75 | 17,78 | 16,36 |
| Przeciwnie | S_{2R} | 4,6786 | 4,8836 | 4,9631 | 4,9931 | 5 | 4,9956 | 4,9852 | 4,9572 |
| | S_R | 3,5944 | 3,6486 | 3,6603 | 3,6535 | 3,6382 | 3,6193 | 3,599 | 3,5588 |
| | Δl | -13,33 | -7,5 | -4,0 | -1,66 | 0 | 1,25 | 2,22 | 3,64 |

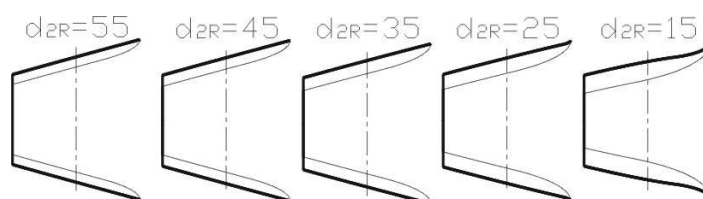
Na rysunku 5 pokazano zarys gwintu rolki przy zadanym gwincie śruby ($Tr 40 \times 10$) uzyskany dzięki wynikom z opracowanego programu. Jak widać na podstawie danych w tabeli 1 dla zgodnych kierunków pochylenia linii śrubowej śruby i rolki wraz ze wzrostem średnicy rolki grubości jej zarysu gwintu rosną, natomiast dla przeciwnych

kierunków maksymalną grubość zarysu gwintu na średnicy toczonej uzyskuje się dla średnicy toczonej rolki w pobliżu:

$$d_{2R} = d_{2S} \cdot \frac{n_R}{n_S} \quad (14)$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz dla śruby $Tr\ 40 \times 10$ otrzymano, że dla średnic rolki w zakresie $d_{2R} \in \langle 32,68; 37,62 \rangle$ grubość zwoju rolki na średnicy toczonej wynosi 5 [mm], co oznacza, że punkt styku znajduje się dokładnie na średnicach toczonej.

Odpowiada to przesunięciu osiowemu w zakresie $\Delta l \in \langle -0,71; 0,69 \rangle$ [mm].



Rys. 5. Kształt zarysu gwintu rolki dla różnych średnic (linia gruba – kierunki gwintów przeciwnie, linia cienka – kierunki gwintów zgodne)

Fig. 5. The shape of the outline of thread rolls for different diameters (thick lines – caption threading line for opposite directions, thin lines – caption threading line accordance with threads directions)

Jak widać na podstawie rys. 5, dla przeciwnych kierunków gwintów śruby i rolki, grubość gwintu rolki jest zawsze większa niż przy zgodnych kierunkach.

4. Wnioski

Na podstawie powyższej analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

- krotność gwintu nakrętki musi wynosić co najmniej 3,
- większe grubości zarysu gwintu rolki otrzymuje się dla przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowych śruby i rolki,
- w celu uzyskania małych wartości przesuwu osiowego Δl należy stosować przeciwnie kierunki gwintu śruby i rolki,
- opisany tok postępowania może być stosowany dla dowolnych liniowych symetrycznych zarysów gwintów (różne α_s).

Literatura

- [1] Rejman E., *Rolkowe przekładnie gwintowe*, Zeszyty naukowe PRz, Mechanika z. 46, Rzeszów 1995.
- [2] Margolin L., *Planetaryna przedaca vint – gajka kacenia s rebovymi rolikami*, Stanki i instrument, nr 1, 1970.

- [3] Latoszek J., Furmanik L., *Przekładnia śrubowa toczna obiegowa*, Mechanik, nr 8, 1965.
- [4] Hojjat Y., Mahdi Agheli M., *A comprehensive study on capabilities and limitations of roller-screw with emphasis on slip tendency*, Mechanism and Machine Theory, 2009.
- [5] Warchoń S., *Określenie obszarów współpracy elementów rolkowej przekładni gwintowej dla prostokątnego zarysu gwintu*, Projektowanie, wyrobnictwo ta eksploatacja awtotransportnych zasobow i pojazdow, National Transport University, nr 17, 2009.