

Pisula Jadwiga, dr inż.
Płocica Mieczysław, dr inż.
Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
(17) 865 1662
jpisula@prz.edu.pl
mplocica@prz.edu.pl

OCENA JAKOŚCI WSPÓŁPRACY PROJEKTOWANEJ PARY STOŻKOWEJ Z UŻYCIEM AUTORSKIEGO SYSTEMU WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA

Streszczenie: W artykule zaprezentowano aktualne wyniki prac nad niezależnym systemem wspomaganie konstrukcji i technologii kół stożkowych, tworzonym przez zespół naukowy z Politechniki Rzeszowskiej i Politechniki Warszawskiej. Opisywany etap prac obejmuje analizę wskaźników jakości współpracy przekładni konstrukcyjnej (śląd współpracy i wykres ruchowy) z możliwością wprowadzania zmian w podstawowej geometrii zębniaka.

EVALUATION OF THE QUALITY OF MESHING FOR DESIGNED PAIR OF BEVEL GEARS WITH INDEPENDENT DESIGN SYSTEM

Abstract: The article presents the current results of work on an independent support system design and technology of spiral bevel gears, created by a scientific team from Rzeszów University of Technology and Warsaw University of Technology. The current phase of work includes the analysis of meshing bevel gear pair (tooth bearing and motion graph) with possibility to introduce a various changes to pinion basic geometry.

1. WSTĘP

Podstawowymi wskaźnikami jakości współpracy pary stożkowej są śląd współpracy zazębienia oraz nierównomierność przenoszenia ruchu. Przebieg ścieżki styku oraz pole sumarycznego śładu współpracy określają zdolność przekładni do przenoszenia obciążeń, jej cichobieżność oraz wrażliwość na błędy montażowe [1, 4]. Wykres nierównomierności przenoszenia ruchu (w skrócie wykres ruchowy) bezpośrednio mówi o dokładności kinematycznej zaprojektowanego zazębienia. Celowe jest kształtowanie właściwej jakości pary stożkowej już na etapie jej projektowania. Jest to możliwe w oparciu o modele matematyczne lub numeryczne obróbki członów przekładni oraz symulację współpracy wirtualnej pary [3].

2. SAMODZIELNY SYSTEM PROJEKTOWANIA PRZEKŁADNI

W Politechnice Rzeszowskiej zbliżają się do końca prace nad autorskim systemem wspomaganie projektowania przekładni stożkowych, prowadzone wspólnie z Politechniką Warszawską. System ten pozwoli na zwiększenie konkurencyjności zakładów branży lotniczej, które nie będą zobligowane do zakupu komercyjnych programów, a także pozwoli na samodzielne prowadzenie zaawansowanych badań oraz doskonalenie konstrukcji i technologii przekładni stożkowych.

Jedne z głównych zadań tworzonego systemu to:

1. Generowanie ustawień obrabiarki na podstawie założonego śladu współpracy oraz symulacja obróbki w celu sprawdzenia poprawności tych ustawień,
2. Korekta istniejących ustawień obrabiarki dla celowej zmiany śladu współpracy (jego kształtu, położenia i wielkości),
3. Ocena jakości współpracy konstrukcyjnej pary stożkowej bez obciążeń i pod obciążeniem, z uwzględnieniem możliwych błędów wzajemnego położenia członów przekładni.

W dotychczasowych etapach realizowanego zadania wykonano m.in. następujące prace:

1. Opracowanie parametrycznych modeli klasycznych i numerycznych obrabiarek do przekładni stożkowych. Maszyny te są modelowane jako zespoły prawoskrętnych kartezjańskich układów współrzędnych, powiązanych z odpowiednimi zespołami obrabiarki.
2. Stworzenie koncepcji i modelu nacinania uzębienia kół stożkowych. Powierzchnia boku zęba naciętego koła jest obwiednią rodziny powierzchni generowanych przez tor ruchu krawędzi skrawającej narzędzia w zadanym układzie technologicznym.
3. Stworzenie modelu konstrukcyjnej przekładni stożkowej bezodchyłkowej oraz uwzględniającej odchyłki wzajemnego położenia członów przekładni [2].

Prezentowane w niniejszym artykule powierzchnie boczne współpracujących zębów zębniaka i koła określono z użyciem matematycznego modelu kształtowania powierzchni w technologicznych układach generujących uzębienia. Analizę przeprowadzono dla przekładni 17x35, której dane geometryczne i ustawienia obróbki zestawiono w tab. 1 i 2.

Tab. 1 Podstawowa geometria przekładni 17x35

z_1	Liczba zębów zębniaka	17
z_2	Liczba zębów koła	35
L_{zz}	Kierunek pochylenia linii zęba zębniaka	prawy
β	Kąt pochylenia linii zęba	35°15'00"
Σ	Kąt skrzyżowania osi	90°
α	Średni kąt zarysu noży głowicy	20°
b	Szerokość wieńca zębatego	12 [mm]
-	Rodzaj zbieżności zęba	TRL

Tabl.2. Ustawienia bazowe obrabiarki do obróbki zębniaka (wk) i koła (wp) oraz geometria narzędzia

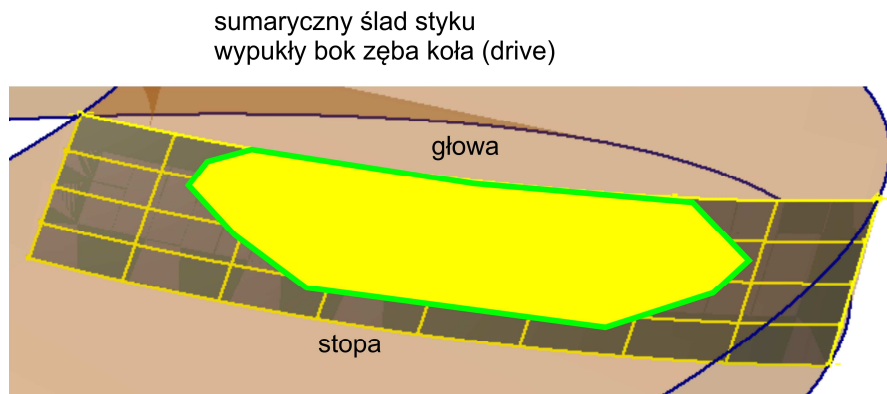
q	ustawienie kątowe głowicy	37,22 [°]	38,9 [°]
U	ustawienie promieniowe głowicy	24,802 [mm]	25,364[mm]
E	przesunięcie hipoidalne	0 [mm]	0 [mm]
δ_m	kąt skręcenia wrzeciona P.O.	23,979 [°]	63,06 [°]
X_p	ustawienie osiowe wrzeciona P.O.	-0,525 [mm]	0 [mm]
X_b	ustawienie stołu wrzeciona P.O.	-0,5843 [mm]	-1.372 [mm]
i	kąt pochylenia wrzeciona narzędzia (tilt)	0,76 [°]	0,56 [°]
j	kąt skręcenia płaszczyzny tiltu (swivel)	-52,953 [°]	4,66 [°]
i_{odt}	przełożenie odtaczania	0,444213	0,899652
D_0	średnica głowicy nożowej	32,469 [mm]	32,100 [mm]
W_2	szerokość wierzchołka noża	0,369 [mm]	0,762 [mm]
R_{02}	promień zaokrąglenia naroża	0,267 [mm]	0,381 [mm]

α_{wk}	kąt zarysu noża (zewnątrznego)	19,5 [°]	20 [°]
α_{wp}	kąt zarysu noża (wewnętrznego)	20,5 [°]	20 [°]

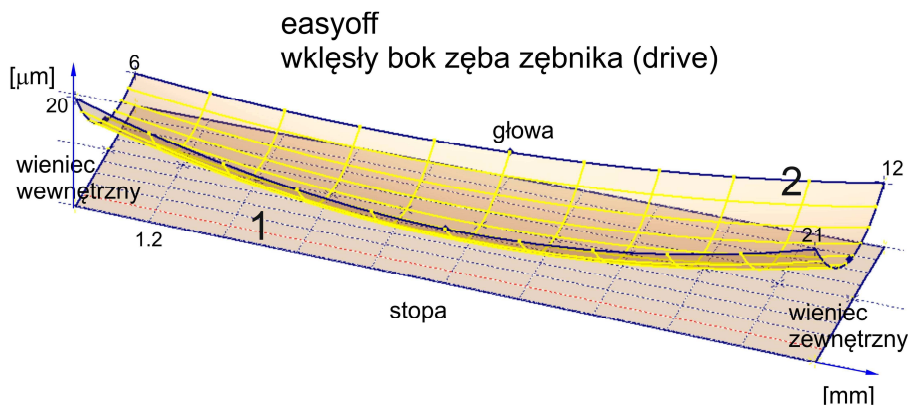
3. ANALIZA WSPÓŁPRACY ZAZĘBIENIA

Powierzchnia zęba koła otrzymana przez wirtualne nacinanie na podstawie bazowych ustawień obrabiarki jest traktowana jako wzorcowa. Sprzężona z nią liniowo powierzchnia zęba zębника (również nacięta z użyciem ustawień bazowych) jest odniesieniem przy ocenie wpływu zmian w geometrii zębника na jakość zazębienia, określoną przez ślad współpracy i wykres ruchowy. Wskaźniki te, dla wzorcowej powierzchni zęba koła i zębника wykonanego wg ustawień bazowych, pokazane są na rys. 1 i 3.

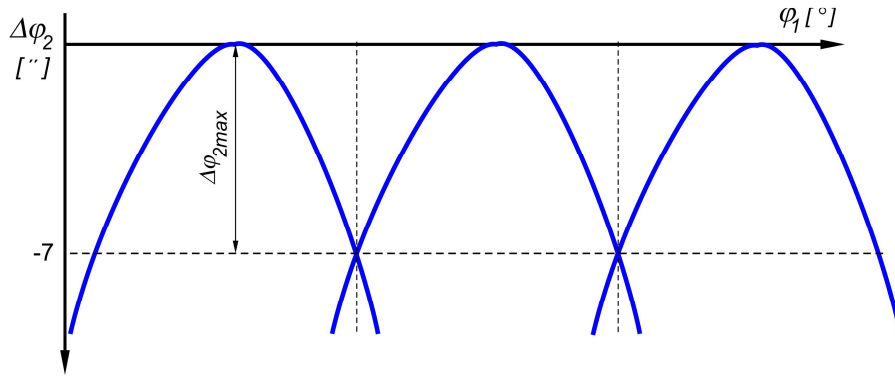
Na wykresie Ease off (rys. 2) pokazano płaszczyznę wzorcową 1, obrazującą czynną stronę zęba koła. Powierzchnia boku zęba zębника 2 musi zapewniać styk liniowy z kołem.



Rys. 1 Ślad współpracy na czynnej stronie zazębienia powierzchni wzorcowych, traktowany jako odniesienie



Rys. 2 Wykres EaseOff dla powierzchni wzorcowych

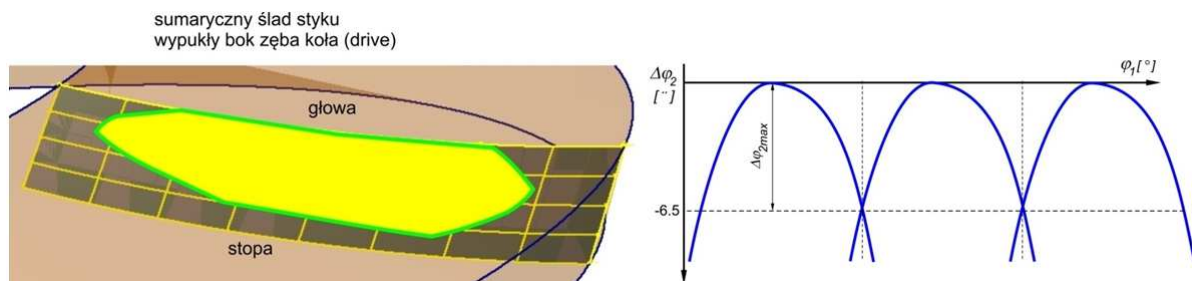


Rys. 3 Wykres ruchowy dla powierzchni wzorcowych przekładni 17x35

Analizując poszczególne przypadki dopasowania zębniaka do koła (przy zachowaniu styku liniowego) wprowadzano zmiany w podstawowej geometrii uzębienia zębniaka (tab. 3), a następnie uruchamiano program generujący ustawienia obrabiarki. W oparciu o nie uzyskiwano nową powierzchnię boku zęba zębniaka, jako obwiednię rodziny powierzchni działania narzędzia (głowicy czołowej) w układzie technologicznym. Po zestawieniu nowej powierzchni boku zęba zębniaka z wzorcową, niezmienną powierzchnią zęba koła otrzymywano nowy sumaryczny ślad współpracy ząbkowania oraz wykres ruchowy. Obydwa te wskaźniki obrazują jakościowy wpływ wprowadzonej zmiany w geometrii zębniaka na współpracę pary konstrukcyjnej.

Tab. 3 Rozpatrywane zmiany w geometrii zębniaka przekładni stożkowej

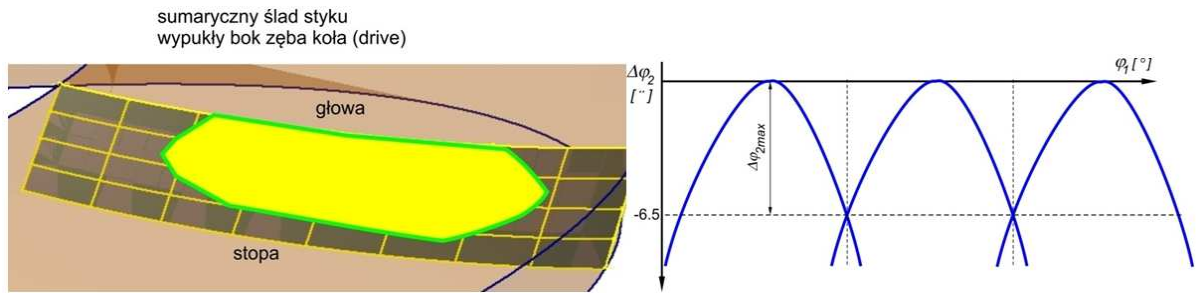
Analizowane przypadki	Zmiana kąta β	Zmiana kąta α	Beczkowość na szerokości wieńca	Beczkowość na wysokości profilu	Zmiana kąta skreślenia powierzchni
0	-1'6"	3'42"	11,5 μm	1,7 μm	-2'12"
I	-1'10"	7'4"	11,5 μm	1,8 μm	-1'28"
II	0'37"	3'42"	11,4 μm	1,7 μm	-2'13"
III	-1'1"	4'21"	5,4 μm	1,6 μm	-2'3"
IV	-1'9"	2'50"	11,2 μm	6,2 μm	1'32"
V	-1'4"	3'38"	10,9 μm	1,3 μm	2'40"



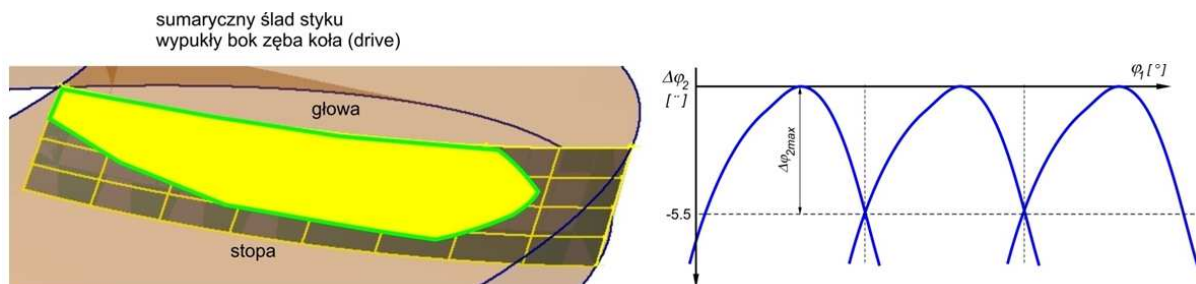
Rys.4 Ślad współpracy i wykres ruchowy po zmianie kąta zarysu na powierzchni bocznej zęba

Znając charakter wynikowej zmiany śladu współpracy można świadomie dobierać korekty geometrii zębniaka dla otrzymania żądanej jakości współpracy pary (np. pod względem największej wytrzymałości, cichobieżności, dokładności kinematycznej).

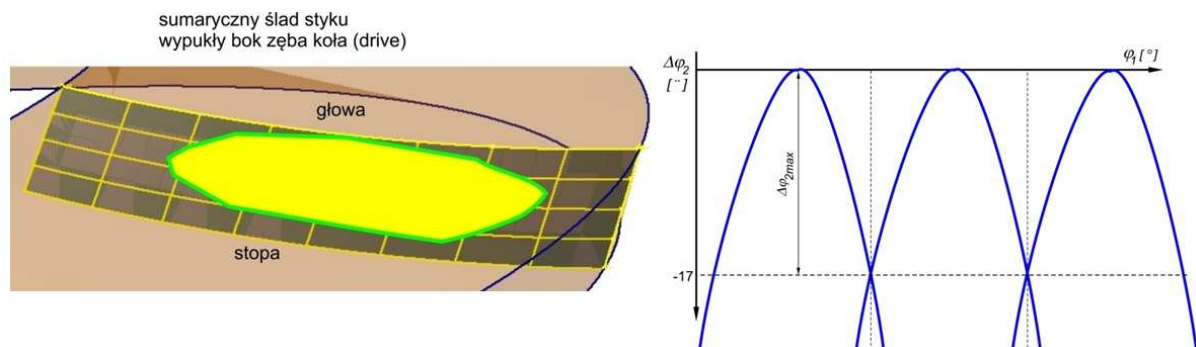
Dodatkowo, dla danej przekładni można łatwo określić ilościowy wpływ zmian geometrii zębnika na badane wskaźniki jakościowe zazębienia.



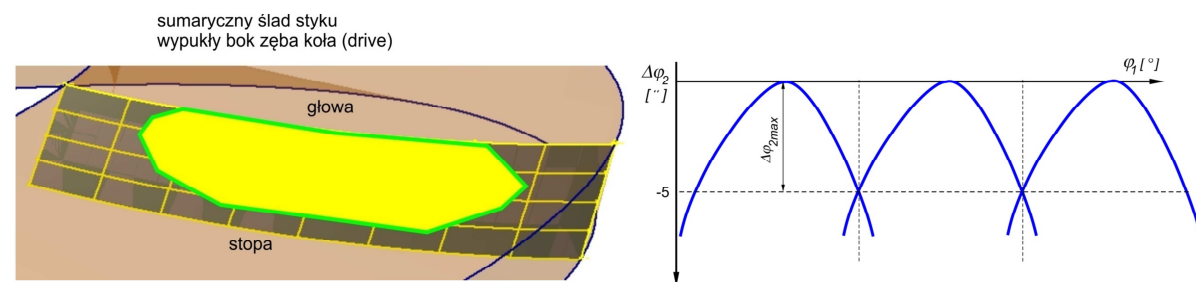
Rys. 5 Ślad współpracy i wykres ruchowy po zmianie kąta pochylenia linii zęba



Rys. 6 Ślad współpracy i wykres ruchowy po zmianie współczynnika beczkowatości na szerokości wieńca



Rys. 7 Ślad współpracy i wykres ruchowy po zmianie wartości beczkowatości wzdłuż zarysu (na wysokości zęba)



Rys. 8 Ślad współpracy i wykres ruchowy po zmianie kąta skręcenia powierzchni bocznej zęba

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeanalizowanych przypadków wyciągnięto następujące wnioski:

Zmiana kąta zarysu powierzchni bocznej zęba (przypadek I) powoduje przesunięcie sumarycznego śladu współpracy, przy czym zwiększenie odchylenia tego kąta powoduje przesunięcie śladu w kierunku stopy zęba.

Zmiana kąta pochylenia linii zęba określonego na powierzchni boku zęba (przypadek II) powoduje przemieszczenie sumarycznego śladu współpracy w kierunku zewnętrznej strony wieńca koła.

W przypadku III, (zmniejszenie wartości beczkowatości na szerokości wieńca) zwiększa się ślad współpracy i rozszerza się w kierunku wewnętrznej strony wieńca koła.

Po zwiększeniu wartości beczkowatości na wysokości zęba sumaryczny ślad styku zmniejsza się i pozycjonuje się na środku powierzchni bocznej zęba. Ta zmiana powoduje jednak wzrost błędu przeniesienia ruchu, którego wartość jest nie do przyjęcia dla prawidłowej współpracy przekładni.

Zmiana kąta skrócenia powierzchni analizowana w przypadku V, pokazuje niewielki wpływ na ślad współpracy. Wymaga to dalszych analiz.

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- [1]. Marciniak A.: Synteza i analiza zazębień przekładni stożkowych o kołowo-łukowej linii zęba. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2002;
- [2]. Marciniak A., Budzik G., Dziubek T., Fudali P., Pacana J., Pisula J., Płocica M., Sobolewski B.: Raport z prac prowadzonych w I i II kw. 2012 roku. Projekt Kluczowy „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”, Zadanie Badawcze 3.
- [3]. Pisula J., Płocica M.: Analiza współpracy pary stożkowej na podstawie matematycznego modelu obróbki oraz bezpośredniej symulacji nacinania w programie Inventor. Mechanik nr 1/2012, str. 78-79
- [4]. Stadtfeld H. J.: Advanced Bevel Gear Technology. Manufacturing, Inspection and Optimization. The Gleason Works, 2000;