

Projektowanie stożkowych kół zębatach z użyciem technik CAx

Application of CAx techniques in the bevel gears design work

ADAM MARCINIEC
MIECZYŚLAW PŁOCICA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.96

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Omówiono etapy projektowania przekładni stożkowej z wykorzystaniem technik CAD i MES. Wskazano korzyści wynikające z użycia technik CAx, takie jak skrócenie czasu osiągnięcia wymaganych wskaźników jakościowych przekładni i wprowadzenia jej do produkcji.

SŁOWA KLUCZOWE: przekładnie stożkowe, projektowanie kół zębatach, techniki CAx

Presented are stages of the bevel gear design work with use of CAD, FEM and other techniques. To this purpose are also indicated some advantages provided by these techniques such as e.g. reduction of time usually consumed to achieve the required transmission quality indices and to implement the project in production.

KEYWORDS: bevel gears, gear design, CAx techniques

Modelowanie członów przekładni stożkowej

Proces projektowania nowej przekładni stożkowej obejmuje stworzenie jej modelu opartego na obliczeniach geometrycznych i technologicznych. Do wykonania bryłowej symulacji nacinania uzębienia używa się parametrycznych modeli otoczek kół oraz narzędzi, które umieszcza się w układzie technologicznym wirtualnej obrabiarki. W systemach CAD modeluje się ją jako zestaw układów współrzędnych, odtwarzających poszczególne zespoły maszyny, mających odpowiadające tym zespołom możliwości kinematyczne [3, 7].

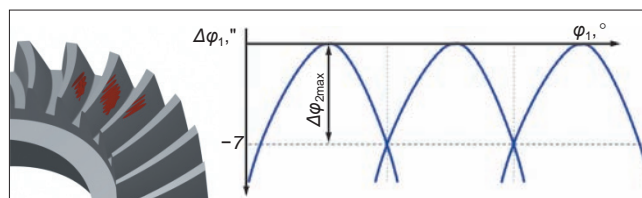
Generowanie modeli bryłowych obrabianego koła oraz narzędzia, ich ustawienie początkowe i symulacja obróbki odbywają się po wczytaniu zewnętrznego pliku danych, zawierającego szczegółową geometrię modelowanych elementów oraz wyniki obliczeń ustawczych do rozpoczęcia obróbki [1, 3, 5]. Środowisko CAD oferuje kilka możliwości technicznych realizacji symulacji obróbki, m.in. przez utworzenie jej procedur w postaci makra. Efektem symulacji są modele bryłowe zębniaka i koła o powierzchniach bocznych zębów w postaci nieciągłej, co jest wynikiem dyskretnego odejmowania objętości narzędzia od interferującej z nią objętości otoczki.

Analiza współpracy zazębienia

Podstawową analizę współpracy zazębienia w przekładni konstrukcyjnej prowadzi się w symulowanych warunkach lekkiego obciążenia. Aby uzyskać ślad współpracy na boku zęba modelu sztywnego, odsuwa się powierzchnię boku zęba na zewnątrz o wartość odpowiadającą grubości tuszu, którym pokrywa się uzębienie podczas analizy kontaktu na fizycznych modelach. Efektem odtoczenia po sobie uzębienia zębniaka i koła jest sumaryczny ślad współpracy (rys. 1), którego geometrię i przebieg określa wzajemne dopasowanie współpracujących powierzchni, będące wynikiem zastosowanej technologii i kinematyki obróbki. Modelowanie śladu współpracy na etapie pro-

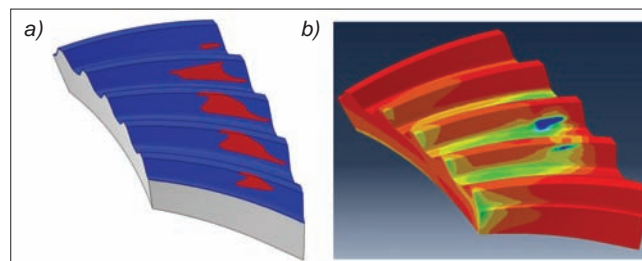
jektowania prowadzi się m.in. przez korektę parametrów geometrycznych narzędzia oraz ustawień obróbki.

Na rys. 1 przedstawiono wykres ruchowy przekładni stożkowej. Kąt obrotu zębniaka oznaczono jako φ_1 , przyrost kąta obrotu koła jako $\Delta\varphi_2$. Maksymalna odchyłka kinematyczna w obrębie jednej podziałki wynosi 7 s kątowych opóźnienia powierzchni zęba koła w stosunku do zęba zębniaka.



Rys. 1. Sumaryczny ślad współpracy [6] i wykres ruchowy przekładni stożkowej [4]

Kolejnym krokiem mającym na celu sprawdzenie zaprojektowanej przekładni jest ocena rozkładu obciążeń na czynnej powierzchni boków zębów, dokonywana na modelach podatnych w środowisku MES (rys. 2). Obserwacja śladu współpracy pod obciążeniem pozwala wnioskować o możliwości wystąpienia zjawisk niepożądanych, takich jak współpraca krawędziowa, oraz wyeliminować je przez wprowadzenie zmian geometrii powierzchni bocznych zębów.



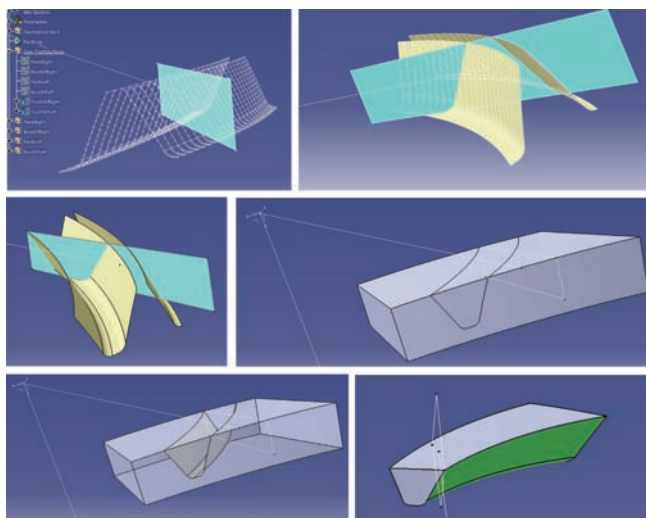
Rys. 2. Sumaryczny ślad współpracy pod obciążeniem (a) oraz rozkład naprężeń zredukowanych (b) [2]

Budowa modelu CAD na podstawie siatki punktów

Analizy przekładni w środowisku CAD są zazwyczaj oparte na modelach sztywnych, otrzymanych z bryłowej symulacji obróbki. Mniej popularnym podejściem jest wykorzystanie siatki punktów powierzchni bocznych zębów, wyznaczonych na podstawie matematycznego modelu nacinania kół. Taka powierzchnia boczna zęba nie posiada nieciągłości charakterystycznych dla powierzchni uzyskanych metodą dyskretną obróbki.

Nowe, autorskie rozwiązanie budowy modelu na podstawie siatki punktów polega na pobraniu jej z programu KimoS. Siatka boku zęba jest oparta na podanej przez użytkownika liczbie wierszy i kolumn; zapisuje się ją w pliku w formacie tekstowym. Plik ten zawiera także siatkę współrzędnych punktów na powierzchniach przejściowych łączących bok zęba z dnem wrębu, wykorzystywaną do utworzenia pełnego modelu bryłowego koła.

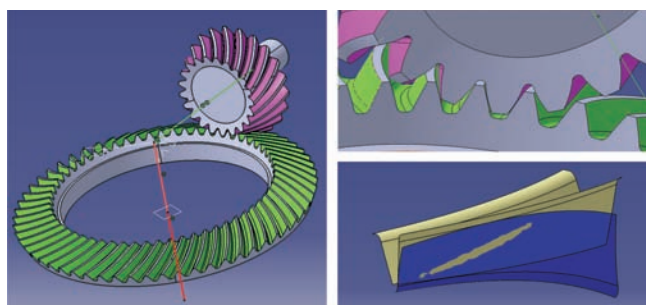
* Dr hab. inż. Adam Marciniak (amarco@prz.edu.pl), dr inż. Mieczysław Płocica (mplocica@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska



Rys. 3. Etapy budowy wrębu na podstawie siatki punktów

W środowisku CATIA opracowano aplikację do generowania modeli bryłowych kół stożkowych za pomocą nowego paska narzędziowego. Na rys. 3 pokazano kolejne etapy budowy wrębu na podstawie profili i krzywych kierujących, wykorzystujących wczytaną siatkę punktów.

Modele bryłowe wrębów są ustawiane przez użytkownika w szyku kołowym na otoczce koła, a następnie od niej odejmowane. Utworzone w taki sposób człony przekładni są zestawiane w parę, która umożliwi pozyskanie chwilowego i sumarycznego śladu współpracy ząbienia na modelach nieodkształcalnych.



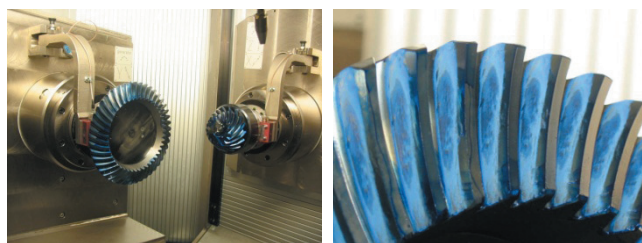
Rys. 4. Model przekładni oraz uzyskany chwilowy ślad styku

Kolejne analizy – dotyczące naprężeń kontaktowych w obszarze ząbienia oraz naprężeń u podstawy zęba – można prowadzić po zaimportowaniu modelu przekładni (lub jego wycinka) do środowiska MES, gdzie nakłada się na model bryłowy odpowiednie warunki brzegowe oraz siatkę wybranych elementów skończonych.

Weryfikacja analiz modelowych

Nowo opracowane modele symulacji obróbki oraz aplikacje powinny zostać zweryfikowane przez porównanie ich działań z efektami uzyskanymi na rzeczywistych przekładniach, wykonanych według geometrii i ustawień technologicznych odpowiadających zastosowanym do modeli CAD i MES.

Weryfikację wyników analiz prowadzonych na modelach sztywnych i odkształcalnych wykonuje się na stanowisku testowym, umożliwiającym zaprogramowanie obciążenia roboczego pracującej przekładni. Podstawowe badania to test współpracy jednostronnej pod lekkim obciążeniem, odpowiadający analizie na modelach sztywnych, oraz test współpracy w warunkach obciążenia roboczego. Efektem są sumaryczne ślady współpracy na bokach zębów,



Rys. 5. Przekładnia na stanowisku testowym oraz ślad współpracy pod obciążeniem odwzorowany na kole

które można porównać ze śladami uzyskanymi w analogicznych warunkach, symulowanych w środowiskach programowych. Wysoka zgodność postaci śladów z analiz modelowych z wynikami badań stanowiskowych pozwala pozytywnie zweryfikować jakość opracowanych rozwiązań programowych do wspomaganego projektowania przekładni stożkowych.

Podsumowanie

Zaprojektowanie wysokiej jakości przekładni stożkowych jest zadaniem złożonym; wymaga od konstruktora i technologa bardzo dobrej orientacji w zagadnieniach przestrzennej geometrii ząbienia oraz kształtowania jego wskaźników jakościowych w sposób świadomy, w celu uzyskania przewidywanych właściwości pracy przekładni i jej założonej nośności. Geometria uzębienia i ząbienia, dająca oczekiwaną jakość współpracy, może być w krótkim czasie dopracowana w środowiskach programowych. Wszelkie pozytywnie zweryfikowane narzędzia symulacyjne są pomocne w ocenie zgodności właściwości przekładni z założeniami konstrukcyjnymi już na etapie jej projektowania. Aby upowszechnić samodzielne opracowywanie nowych konstrukcji, celowe jest rozwijanie aplikacji wykorzystujących powszechnie dostępne środowiska inżynierskie. Mogą one z powodzeniem zastępować lub uzupełniać moduły specjalistycznych programów do projektowania i być pomocne w podejmowaniu decyzji dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych nowych przekładni.

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. Kret M., Skawiński P. "Mathematical model of the modified roll for spiral bevel gears milling machines". *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 37, No. 2 (2013): pp. 59-70.
2. Markowski T., Pacana J. Raport z prac badawczych w ramach projektu „Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason”, grudzień 2012.
3. Marciniak A. „Analiza i synteza ząbienia przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zęba”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2003.
4. Pisula J., Płocica M. "Guidelines for the quality development of aircraft bevel gears". *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 87, Iss. 2 (2015): pp. 110-119.
5. Skawiński P. "Technological setups of the Gleason CNC spiral bevel and hypoid gear milling machines". *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 36, No. 4 (2012): pp. 33-43.
6. Sobolewski B., Marciniak A. "Method of spiral bevel gear tooth contact analysis performed in CAD environment". *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. No. 85, Iss. 6 (2013): pp. 467-474.
7. Stadtfeld H.J. "Advanced Bevel Gear Technology. Manufacturing, Inspection and Optimization". Gleason Works, 2000. ■