

**I Krajowa Konferencja Naukowa**  
**Szybkie prototypowanie**  
**Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary**  
 Rzeszów - Pstrągowa, 16 - 18 września 2015



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA  
RAPIDROM

## Szybkie prototypowanie stożkowych kół zębatach o kołowo łukowej linii zęba

### Rapid prototyping of bevel gears

GRZEGORZ BUDZIK  
 BARTŁOMIEJ SOBOLEWSKI  
 ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI\*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.551

W pracy przedstawiono proces wytwarzania prototypów lotniczych kół zębatach o kołowo-łukowej linii zęba w wykorzystaniu metody szybkiego prototypowania - FDM. W pierwszej części artykułu przedstawiono proces tworzenia modelu bryłowego, w kolejnych przygotowanie danych oraz przeprowadzenie wydruku.

**SŁOWA KLUCZOWE:** stożkowe koła zębata, szybkie prototypowanie, symulacja obróbki

*The paper presents the process of prototyping an aviation gears with circular- arc tooth line with using the rapid prototyping method- FDM. In the first part article shows the process of designing a solid model and in the following parts data preparation as well as carrying out printing process.*

**KEYWORDS:** bevel gears, rapid prototyping, machining simulation

#### 1. Wprowadzenie

Stożkowe przekładnie zębata mimo ciągłego rozwoju, jaki dokonuje się w dziedzinie konstrukcji układów przeniesienia napędu, są wciąż niezastąpione w przypadku wystąpienia konieczności niezawodnego przeniesienia napędu pod kątem. Szczególnym obszarem zastosowania przekładni stożkowych jest przemysł lotniczy, przekładnie stożkowe wykorzystywane są w konstrukcji silników odrzutowych oraz układach przeniesienia napędu śmigłowców. Elementy stosowane w przemyśle lotniczym muszą być w stanie sprostać wysokim wymaganiom oraz spełniać surowe normy. Spełnienie wymogów wymaga przeprowadzenie procesu w odpowiedni sposób. Proces projektowania przekładni stożkowych jest procesem złożonym i skompli-

kowanym, wymagającym przeprowadzenia serii testów na prototypach. Wytwarzanie kilku lub nawet kilkunastu prototypowych przekładni generuje dodatkowe koszty. Z tego względu zasadne jest poszukiwanie rozwiązań mogących być alternatywą dla wytwarzania prototypów metodami klasycznymi.

Rozwój, jaki dokonał się w dziedzinie komputerowych systemów wspomagania projektowania oraz przyrostowych technik wytwarzania pozwala na wytwarzanie modeli fizycznych kół zębatach o dowolnie zamodelowanej geometrii, nawet takiej, której nie można wykonać metodami ubytkowymi.

W procesie prototypowania kół zębatach przekładni stożkowej wyodrębniono trzy etapy: wykonanie modeli 3D-CAD kół zębatach, proces przygotowania danych na potrzeby urządzeń RP, wykonanie modeli w wykorzystaniu aparatury RP.

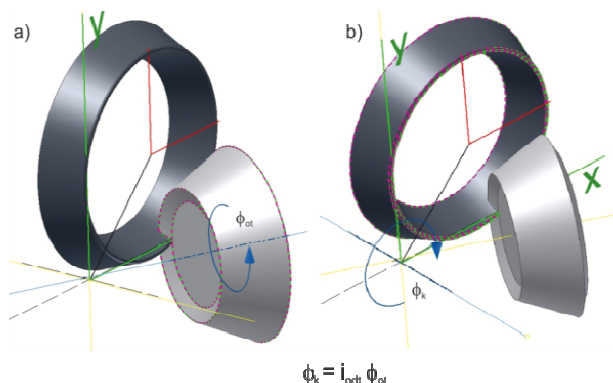
#### 2. Wykonanie modeli 3D-CAD kół zębatach

Pierwszym etapem wytworzenia prototypów było wykonanie modeli bryłowych stożkowych kół zębatach w środowisku CAD. Modele bryłowe kół zębatach przekładni stożkowej wykonano wykorzystując metodę bryłowej symulacji obróbki. Symulacja obróbki kół zębatach stożkowych ze względu na złożoną kinematykę obróbki należy do najbardziej skomplikowanych przypadków tworzenia modeli bryłowych kół zębatach w środowisku CAD [3, 4].

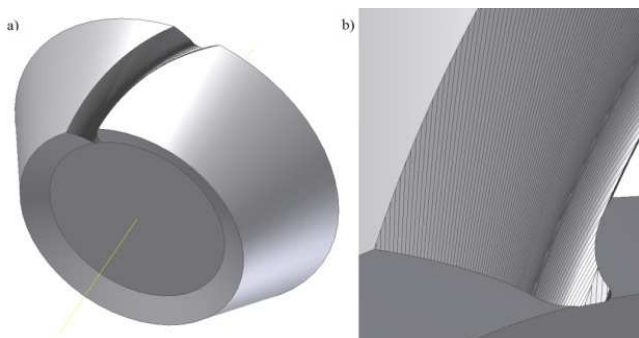
Model przekładni wykonano z zastosowaniem metody SGT firmy Gleason. Symulacja obróbki polega na iteracyjnym wykonywaniu operacji różnicy brył obrabianego koła i narzędzia w kolejnych położeniach wynikających z kinematyki obróbki. Symulacje. Sposób tworzenia modelu bryłowej metodą symulacji obróbki przedstawiono na przykładzie wkleślej strony zęba zębniaka.

\*Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl), dr inż. Bartłomiej Sobolewski (b\_sobolewski@prz.edu.pl), mgr inż. Łukasz Przeszłowski (lprzeszl@prz.edu.pl)

Najpierw wykonane i rozmieszczenie są bryły narzędzia oraz otoczki przedmiotu obrabianego na podstawie parametrów ustawczych. Następnie przeprowadza się proces symulacji obróbki polegający na iteracyjnym wykonywaniu operacji odejmowania bryły narzędzia od bryły przedmiotu obrabianego w położeniach wynikających z kinematyki rzeczywistego procesu obróbki (rys. 2.1)



Rys. 2.1. Przeprowadzenie symulacji obróbki: a) obrót dyskretny otoczki, b) obrót dyskretny narzędzia



Rys. 2.2. Wynik symulacji: a) otrzymana powierzchnia wklęsła boku zęba, b) widok szczegółowy

Następnie w analogiczny sposób przeprowadzono symulację obróbki wypukłej strony zęba zębnika. w wyniku złożenia otrzymanych brył otrzymano jeden wręb. Następnie w celu uproszczenia procedury modelowania kompletnego koła zębatego otrzymaną w wyniku symulacji powierzchnię wrębu zastąpiono powierzchnią wygładzoną. Powierzchni tą wykorzystano do wygenerowania modelu bryłowego zębnika (rys. 2.3).

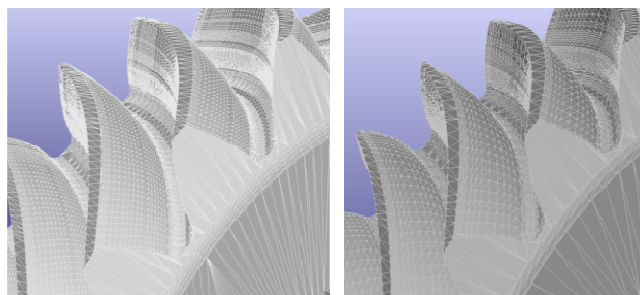


Rys. 2.3. Otrzymane modele bryłowe kół zębatych przekładni stożkowej

Po wykonaniu modeli bryłowych kół zębatych przekładni stożkowej przystąpiono do kolejnego etapu prototypowania

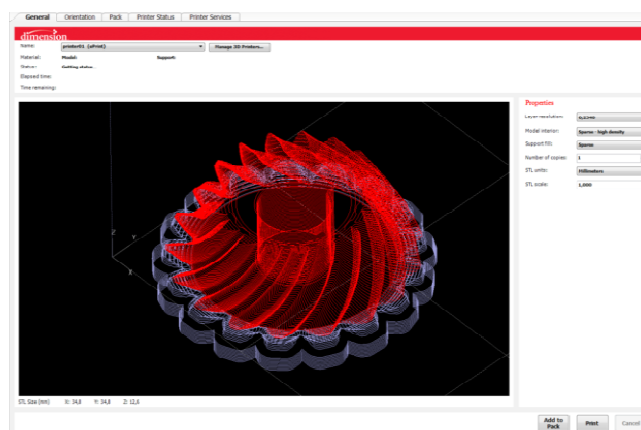
### 3. Obróbka danych na potrzeby urządzeń RP

Po wykonaniu modeli bryłowych przystąpiono do kolejnego etapu: przygotowania danych na potrzeby urządzenia RP [1,2]. Modele bryłowe wyeksportowano do formatu: STL obsługiwane przez urządzenia RP. Niezwykle ważnym czynnikiem z punktu widzenia dokładności finalnych prototypów jest przyjęcie parametrów odwzorowania powierzchni podczas eksportu. Przykładowe pliki STL wygenerowane dla różnych wartości parametrów eksportu przedstawiono na rysunku 3.1.



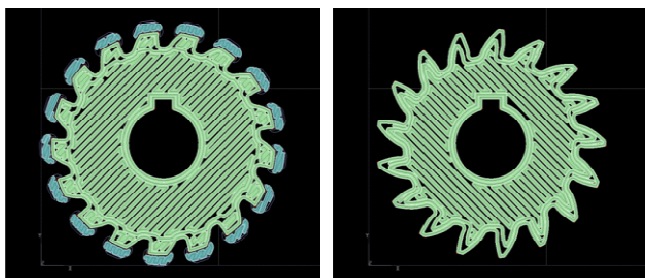
Rys. 3.1. Pliki STL wygenerowane dla różnych wartości parametrów eksportu

Podniesienie dokładności odwzorowania powoduje znaczne zwiększenie rozmiaru pliku i zwiększone wymagania na moc obliczeniową. Po przygotowaniu plików STL przystąpiono do kolejnego etapu obróbki danych wykonywanego na oprogramowaniu dedykowanym do konkretnego urządzenia. Obróbka danych w środowisku oprogramowania specjalistycznego (CatalystEX) polega na zaimportowaniu pliku, następnie dodaniu elementów układu wsporczonego w miejscach w których na skutek działania siły ciężkości występuje możliwość odkształcenia prototypu (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Model koła zębatego zaimportowany do środowiska programu CatalystEX

Ostatnim etapem jest ustalenie parametrów wydruku (jeśli dane urządzenie to umożliwia), usytuowanie modelu w przestrzeni roboczej urządzenia oraz podział modelu na warstwy i wygenerowanie ścieżek (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Przykładowe widoki wygenerowanych warstw

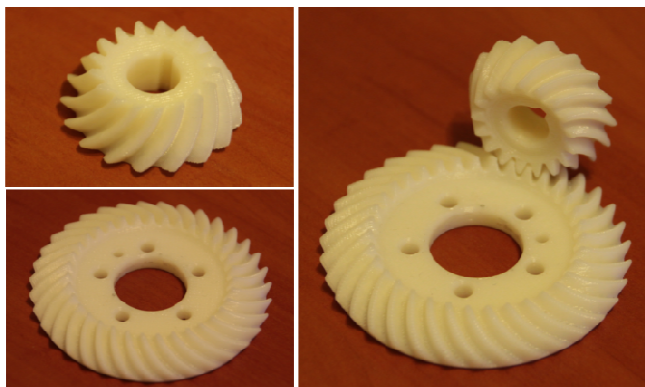
#### 4. Wytworzenie prototypu

Ostatnim etapem było wytworzenie prototypu jedną z metod szybkiego prototypowania: metodą FDM. Fused Deposition Modelling (FDM) jest metodą przyrostową, w której model wykonywany jest przez warstwowe nakładanie termoplastycznego materiału. Prototyp przekładni dwudrożnej wykonano z zastosowaniem urządzenia U-Print (rys. 4.1) produkcji Stratasys z materiału ABS.



Rys. 4.1. Urządzenie U-Print firmy Stratasys

Otrzymane prototypy przedstawiono na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Otrzymane prototypy kół zębatych przekładni stożkowej

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone prace potwierdziły przydatność metod komputerowo wspomaganego projektowania oraz przyrostowych metod wytwarzania do prototypowania kół zębatych przekładni stożkowych. Wprowadzenie przedstawionego toku postępowania do procesu projektowania przekładni stożkowych może przynieść pozytywne efekty w postaci zmniejszenia czasu i pracochłonności procesu projektowania. Pozwoli również na obniżenie wielkości nakładów finansowych ponoszonych przez przedsiębiorstwa. Zalety metod szybkiego prototypowania z połączeniem z możliwościami systemów CAD, pozwalają na wytworzenie prototypów i przeprowadzenie badań wstępnych nowych rozwiązań konstrukcyjnych, niemożliwych dotychczas do wdrożenia ze względu na występowanie ograniczeń technologicznych.

*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. Litvin F.L., Fuentes A.: GEAR GEOMETRY AND APPLIED THEORY second edition, Cambridge, 2004. Farin G., Hoschek J., Kim M.-S.: "Handbook of Computer Aided Geometric Design". North-Holland: Elsevier, 2002.
2. Marciniec A.: Synteza i analiza ząbów przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zęba, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002.
3. Marciniec A., Sobolewski B.: Method of Spiral Bevel Gear Tooth Contact Analysis Performed in CAD Environment; 7th International Conference AIRTEC, 6-8 November 2012; Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 85 Iss: 6
4. Pisula J., Płocica M.: Methodology of designing the geometry of the bevel gear using numerical simulation to generate the teeth flank surfaces; Acta Mechanica et Automatica, vol. 8 No. 1, 2014