

PROTOTYPING OF BEVEL GEARS OF AIRCRAFT POWER TRANSMISSION

Grzegorz Budzik, Tadeusz Markowski, Mariusz Sobolak

Rzeszów University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautic
Department of Machine Design
Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Poland
tel.: +48 17 8651642, fax: +48 17 8651150
e-mail: gbudzik@prz.edu.pl, tmarkow@prz.edu.pl, msobolak@prz.edu.pl

Abstract

The article presents manufacturing process of bevel gears of aircraft power transmission. Rapid prototyping of gears with complex tooth forms is possible with the use of modern methods. One of such methods is the stereolithography, where a model is obtained as a result of resin curing with laser beam. This method allows creating gear model with arbitrary tooth form. Bevel gears was carried out by method of stereolithography on SLA 250 apparatus. Gear wheel prototypes were predestined for casting by method losing patterns. One of the best advantages of stereolithography model is its transparency. This advantage allow to observation instantaneous contact ellipses of gear. Instantaneous contact ellipses of gear is one of the most important parameters describe correctly work of gear. Research of instantaneous contact ellipses of gear requires special construction of model gear with thin wall. This construction allows costing reduction of prototype. Observation of instantaneous contact ellipses of gear is not possible by traditional research method. Rapid Prototyping method give good results in research process of new prototype of aircraft transmission gear.

Keywords: combustion engine, rapid prototyping systems, stereolithography, bevel gears

PROTOTYPOWANIE STOŻKOWEJ PRZEKŁADNI NAPĘDU LOTNICZEGO

Streszczenie

Artykuł przedstawia proces wykonania prototypu stożkowej przekładni napędu lotniczego. Szybkie wykonywanie prototypów przekładni o nietypowych zarysach zębów jest możliwe metodami "Rapid Prototyping". Jedną z najdokładniejszych metod szybkiego prototypowania jest stereolitografia, która polega na warstwowym utwardzaniu promieniem lasera fotopolimeru. Metoda ta pozwala zbudowanie modeli kół zębatych o dowolnych kształtach. Za pomocą urządzenia stereolitograficznego SLA-250 wykonane zostały modele kół zębatych przekładni stożkowej. Modele stereolitograficzne mogą służyć do wykonania odlewów. Istotną zaletą prototypów kół zębatych wykonanych z fotoutwardzalnej żywicy jest ich przezroczystość. Zaletą ta pozwala na obserwację chwilowego śladu styku kół zębatych przekładni. Chwilowy ślad styku jest jednym z podstawowych parametrów opisujących prawidłową pracę przekładni. W tym celu przygotowane zostały specjalne modele kół zębatych o zmniejszonej grubości ścianki. Taka budowa pozwoliła na bardziej precyzyjną obserwację śladu styku oraz na zmniejszenia kosztów wykonania modeli. Śledzenie dynamiczne chwilowego śladu styku jest niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami badawczymi. Zastosowanie metod szybkiego prototypowania daje dobre rezultaty w procesie badań nowych prototypowych przekładni zębatych napędów lotniczych.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, systemy szybkiego prototypowania, stereolitografia, przekładnia stożkowa

1. Wstęp

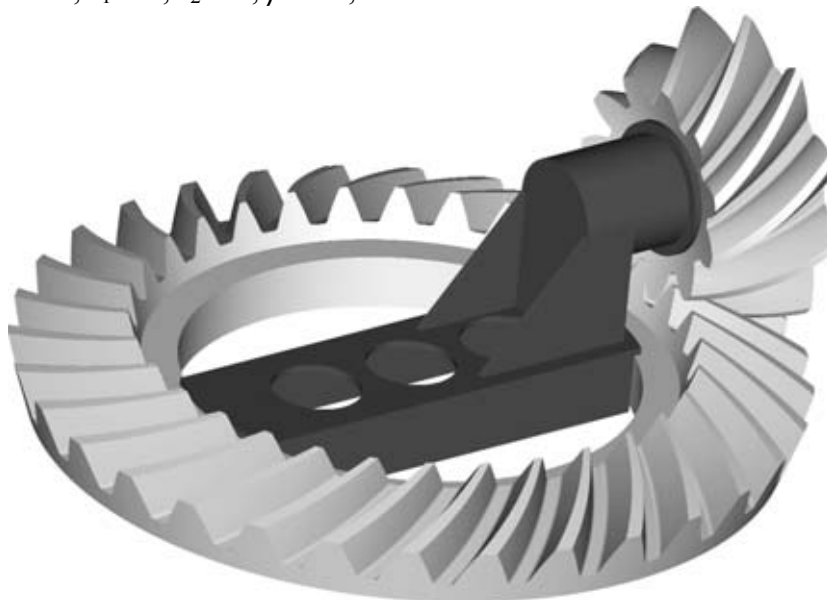
Wykonanie prototypów kół stożkowych przekładni lotniczych często wymaga zastosowania drogich, specjalistycznych narzędzi. Wdrożenie nowych typów przekładni, zwłaszcza z kołami

o nietypowych zarysach wymaga także odpowiednich badań stanowiskowych. Proces konstruowania można znacznie skrócić wykorzystując w tym celu systemy CAD oraz metody szybkiego prototypowania (*Rapid Prototyping – RP*) [1, 2, 3, 10]. Dzięki zastosowaniu technik CAD możliwe jest zamodelowanie geometryczne przekładni. Wstępne badania modelowe można przeprowadzić na kołach wykonanych metodą szybkiego prototypowania – np. stereolitografią. Badania modelowe i stanowiskowe można wykonać na prototypach wykonanych metodami Rapid Tooling – RT np. przez odlewanie niskociśnieniowe (*Vacuum Casting – VC*) [6, 7, 13].

Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego: „Opracowanie innowacyjnych przekładni zębatych o nietypowym zazębieniu”.

2. Model CAD przekładni stożkowej

Modelem wyjściowym dla modelu stereolitograficznego jest bryła utworzona w systemie CAD [11, 14]. Dla walcowych kół zębatych o zębach prostych model może być wykonany przez wyciągnięcie zarysu. W przypadku kół stożkowych proces tworzenia modelu CAD jest bardzo skomplikowany i może być wykonany za pomocą modelowania powierzchniowego lub symulacji obróbki wirtualnym narzędziem. Na rysunku 1 przedstawione zostały modele geometryczne CAD kół stożkowych o kołowo-łukowej linii zęba Gleason SGM. Podstawowe parametry kół: moduł czołowy $m_e=6,35$ mm, $z_1=11$, $z_2=32$, $\beta=35^\circ$, $\Sigma=90^\circ$.



Rys. 1. Model CAD przekładni stożkowej
Fig. 1. Model CAD of bevel gears

3. Model STL kół zębatych

Gotowy model CAD eksportowany jest do formatu odpowiedniego dla systemów szybkiego prototypowania. Najczęściej stosowany w systemach Rapid Prototyping jest format stereolitografii, oznaczany często skrótem STL (od rozszerzenia nazwy pliku *.stl). Format ten opisuje każdą modelowaną bryłę za pomocą płaskich trójkątnych powierzchni oraz wektorów normalnych do każdej z nich (rys. 2).

Następnie w modelu STL wyodrębniane są warstwy, które służą do wytworzenia modelu SLA. Model SLA utworzony jest z warstw o ustalonej grubości. Przykładowo dla aparatury SLA-250 firmy 3D Systems grubości warstw mogą wynosić odpowiednio 0,1 lub 0,15 mm.

Modele CAD oraz ich eksport zostały wykonane w programie Mechanical Desktop. Zastosowanie tego programu pozwoliło na uzyskanie bardzo dokładnych modeli bez błędów, które mogą powstać w trakcie procesu eksportu danych do formatu STL [8, 9].



Rys. 2. Model STL przekładni stożkowej
Fig. 2. Model STL of bevel gears

4. Modele SLA kół zębatach

Na rysunku 3 przedstawiona została fotografia kół w komorze aparatury stereolitograficznej SLA-250. Koła wykonano z żywicy SI-5170 przy zastosowaniu technik podwyższania dokładności wykonania modelu opracowanych w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej [3]. W tym celu do modelu w formacie STL wprowadzono korekty położenia punktów będących wierzchołkami pojedynczych trójkątów stereolitograficznych o wartości wynikające z rozkładu przesunięć określonego eksperymentalnie dla danej aparatury stereolitograficznej. Po wytworzeniu prototypowych kół w aparaturze stereolitograficznej usunięto podpory technologiczne, modele oczyszczono oraz utwardzono dodatkowo w piecu UV. Dokładność otrzymanego modelu SLA wyniosła $\pm 0,025\text{mm}$. Modele stereolitograficzne kół zębatach zostały złożone w model lotniczej przekładni stożkowej za pomocą specjalnego przyrządu wykonanego również technologią stereolitografii (rys. 4).



Rys. 3. Modele SLA kół przekładni stożkowej w urządzeniu SLA-250
Fig. 3. SLA gears model of bevel gears in SLA-250 apparatus



Rys. 4. Model SAL przekładni stożkowej
Fig. 4. Model SLA of bevel gears

5. Wykorzystanie modeli stereolitograficznych do badań

Modele przekładni zębatach wykonywane za pomocą technik szybkiego prototypowania mają szerokie zastosowanie. Stereolitografia posiada szereg zalet, które stawiają ją na czele metod RP w zastosowaniu do wytwarzania prototypów przekładni zębatach. Modele SLA mogą być wykorzystywane w następujących procesach modelowych i badawczych:

- wytworzenie modelu funkcjonalnego przekładni [4],
- wytworzenie modelu dla techniki Rapid Tooling [12, 13],
- wykonanie modeli do badań chwilowego śladu styku współpracujących kół,
- wykonania modeli odlewniczych dla technologii odlewania precyzyjnego [4, 5],
- wykonania modeli do badań elastoptycznych.

Przedstawiona w artykule przekładnia stożkowa wraz ze specjalnym uchwytem kół pozwala na przeprowadzenie badań chwilowego śladu styku współpracujących kół (rys. 5).



Rys. 5. Widok chwilowego śladu styku przekładni
Fig. 5. Contact area visible „on internal” side of pinion

5. Wnioski

Zastosowanie technik szybkiego prototypowania (jak np. zastosowanej w omawianym przykładzie stereolitografii) pozwala na znaczne przyspieszenie badań nad nowymi konstrukcjami kół i przekładni, gdyż nie zachodzi potrzeba wykonywania przekładni rzeczywistej z metalu, co wiązałoby się z wydłużeniem czasu projektowania i badań oraz podwyższeniem kosztów.

Zastosowanie stereolitografii przy użyciu odpowiedniego tworzywa (np. przezroczysta żywica SL-5170) prowadzi do wykonania przekładni, w której można określić chwilowy ślad styku poprzez bezpośrednią obserwację. Określenie chwilowego śladu styku, a zwłaszcza jego zmian przy obrocie kół o podziałkę pozwala wnioskować co do poprawności konstrukcji przekładni. Przy zastosowaniu metody tuszowania możliwe jest także określenie śladu współpracy.

Wykorzystując zasadę podobieństwa modelowego możliwe jest również określenie zmian śladu styku w przekładni pod obciążeniem zarówno w przypadku statycznym jak i dynamicznym.

Zastosowanie żywicy czynnej optycznie pozwoli na zaobserwowanie rozkładu naprężeń w obszarze styku przekładni.

Możliwe jest także wykorzystanie innych technik szybkiego wytwarzania narzędzi i prototypów, jak np. odlewania próżniowego tworzyw sztucznych. W tym wypadku jako model wyjściowy może posłużyć gotowe koło zębate wykonane dowolną techniką przyrostową lub ubytkową.

Literatura

- [1] *3D Lightyear SLA File Preparation Software - User's Guide* 2001.H.
- [2] Bernard, A., *Rapid product development case studies and data integration analysis*, Computers in Industry 43 (2000) pp. 161-172, Elsevier 2000.
- [3] Budzik, G., Sobolak, M., *Generating Stereolithographic (STL) Files from CAD Systems*, Acta Mechanica Slovaca, 2B/2006 PRO-TECH-MA, Košice 2006.
- [4] Budzik, G., Kozdęba, D., Sobolak M., *Wykorzystanie technologii Rapid Prototyping w odlewnictwie precyzyjnym*, Archiwum Odlewnictwa, Nr 18 (2/2), s. 207 - 212, Katowice 2006.
- [5] Budzik G., Markowski T., Sobolak, M., *Hybrid foundry patterns of bevel gears*, Archives of Foundry Engineering, Vol. 7, Issue 1/2007, pp. 131÷134, 2007.
- [6] Bullinger, H.-J., Warschat, J., Fischer, D., *Rapid product development — an overview*, Computers in Industry 42 (2000) pp. 99-108, Elsevier 2002.
- [7] Chlebus, E. (red.), *Innowacyjne technologie Rapid Prototyping – Rapid Tooling w rozwoju produktu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [8] Cuilliere, J. C., *An Adaptive Method for the Automatic Triangulation of 3D Parametric Surfaces*, Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 2, pp. 139-149, Elsevier 1998.
- [9] Jaskólski, J., Sobolak, M., Budzik, G., *Rapid prototyping using in models building of engine elements*, Journal of KONES Internal Combustion Engines. Institute of Aeronautics, Warszawa 2004.
- [10] Jee, H.J., Sachs, E., *A Visual Simulation Technique for 3D Printing*, Advances in Engineering Software 31 (2000) 97-106, Elsevier 1999.
- [11] Gebhardt, A., *Rapid Prototyping*, Carl Hanser Verlag, Munich 2003.
- [12] Heneczkowski, M., Oleksy, M., Galina, H., *Kompozyty żywicy epoksydowej zawierające modyfikowane bentonity*, Polimery Tom LI nr 11-12/2006.
- [13] Tari, M.J., Bals, A., Park J., Lin M.Y., Hahn H.T., *Rapid prototyping of composite parts using resin transfer molding and laminated object manufacturing*, Mechanical and Aerospace Engineering Department, pp. 134-142, Elsevier 1997.

- [14] Yang, D.Y., Ahn, D.G., Lee, C.H., Park, C.H., Kim, T.J., *Integration of CAD/CAM/CAE/RP for the development of metal forming process*, Journal of Materials Processing Technology, pp. 125-126 (2002) 26-34, Elsevier 2002.