

Mgr inż. Piotr BŁAZUCKI
blazerp@o2.pl
Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

MODELOWANIE OBRÓBKI PRZEKŁADNI STOŻKOWYCH TYPU GLEASONA Z WYKORZYSTANIEM SYMULACYJNYCH MODELI CAD NA UNIWERSALNE FREZARKI CNC

Streszczenie: Niniejszy artykuł porusza tematykę projektowania i wytwarzania przekładni stożkowych. Omówione są podstawy metodologii projektowania przekładni przy użyciu tzw. metod symulacyjnych do budowy modeli CAD 3D przekładni. W środowisku programu CAM przeprowadzone jest modelowanie obróbki przekładni na uniwersalne frezarki CNC. Weryfikacja metody przeprowadzona jest w postaci eksperymentalnej obróbki koła w stali.

Słowa kluczowe: przekładnie stożkowe, CAD, CAM, CNC

MODELING OF THE GLEASON BEVEL GEAR TRANSMISSION MACHINING PROCES USING SIMULATION CAD MODELS FOR THE UNIVERSAL CNC MILLING MACHINES

Summary: Following paper describes matter of design and manufacturing of bevel gear transmissions. Fundamental aspects of bevel gear design using a simulation method for building of 3D CAD models are presented. Modeling of machining operations for CNC milling machines is being presented in a CAM software. Verification of described design method is done by experimental machining of a steel.

Keywords: bevel gears, CAD, CAM, CNC

1. WPROWADZENIE

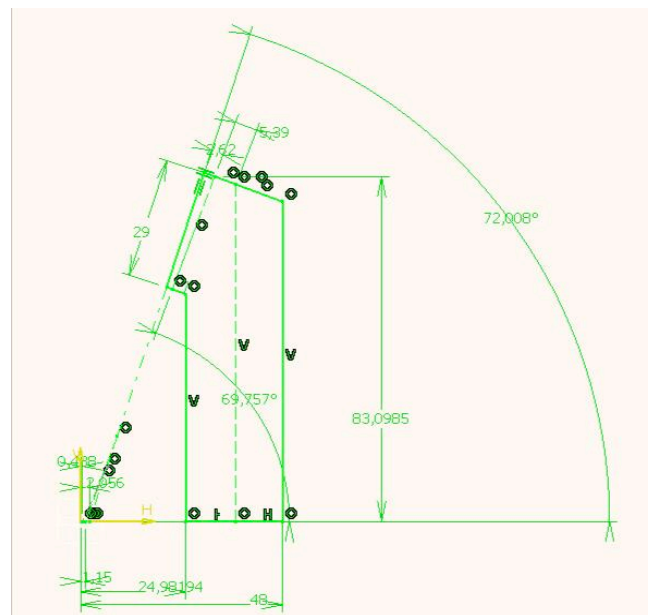
Na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat w zespole technologii przekładni stożkowych prowadzono prace nad modelowaniem kół stożkowych kołowo łukowych w programach CAD. Na świecie stosowane jest kilka metod pozwalających na zbudowanie modelu bryłowego przekładni stożkowych. Jedną z nich, metoda analityczna, pozwala na wyliczenie położenia punktów znajdujących się na boku zęba i rozpięciu następnie w środowisku komputerowym powierzchni która odwzorowuje bok zęba. Minusem tej metody jest jednak duża trudność z wyznaczeniem punktów na dnie wrębu między zębnego, który mimo iż dla samej współpracy przekładni jest drugorzędny to do budowy ciągłego modelu 3D jest konieczny.

Alternatywą dla metody analitycznej jest metoda symulacyjna. Modelowaniem przy użyciu tej metody Zespół Technologii Przekładni Stożkowych Instytutu Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej zajmuje się od wielu lat. Stworzone zostały aplikacje oraz metodologia budowania modeli kół przekładni stożkowych dla technologii Gleasona

2. BUDOWA MODELU 3D CAD

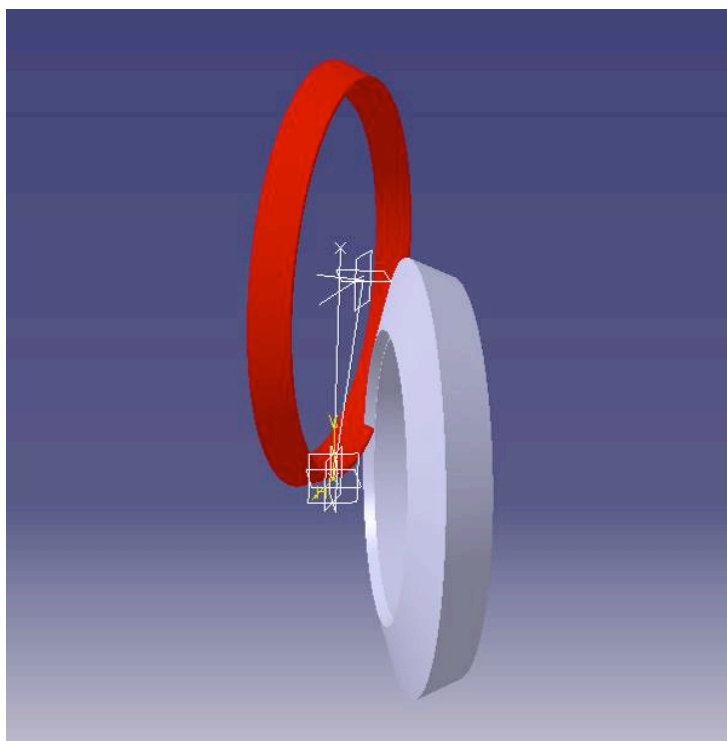
Metoda symulacyjna polega na zamodelowaniu w środowisku CAD układu odpowiadającego układowi pracy obrabiarki konwencjonalnej, który posłużyłby do nacięcia

danego koła.[2] Modelowany układ składa się z modelu otoczki (półfabrykatu koła) oraz modelu głowicy nacinającej uzębienie. Sedno sprawy to takie zamodelowanie ich wzajemnego położenia (albo całego szeregu położenia w przypadku obróbek obwiedniowych), które będzie odpowiadać kolejnym wzajemnym położeniom otoczki i głowicy podczas rzeczywistej obróbki. Zastosowanie odejmowania boolowskiego pozwala na symulowanie samego procesu skrawania. Aby utworzyć model 3D potrzebne jest wyznaczenie parametrów technologii bazowej. Tzn. zbioru parametrów geometrycznych i technologicznych opisujących geometrię przekładni i parametry obróbki przede wszystkim ustawienia wirtualnej obrabiarki. Na wydziale SIMR PW posługujemy się własnego autorstwa aplikacją KONTEPS. W zależności od rodzaju przekładni stosowane są różne techniki budowy modeli symulacyjnych. Podstawowa metoda stosowana do modelowania kół kształtowych (typu Formate) [1] pozwala na zbudowanie względnie prostego modelu bryłowego za pomocą podstawowych funkcji wielu programów CAD 3D. Pierwszym etapem jest narysowanie przekroju otoczki koła (półfabrykatu koła) na podstawie obliczonych parametrów. W kolejnym kroku szkic przekroju zamieniany jest na bryłę powstałą z obrotu przekroju względem osi przekroju.



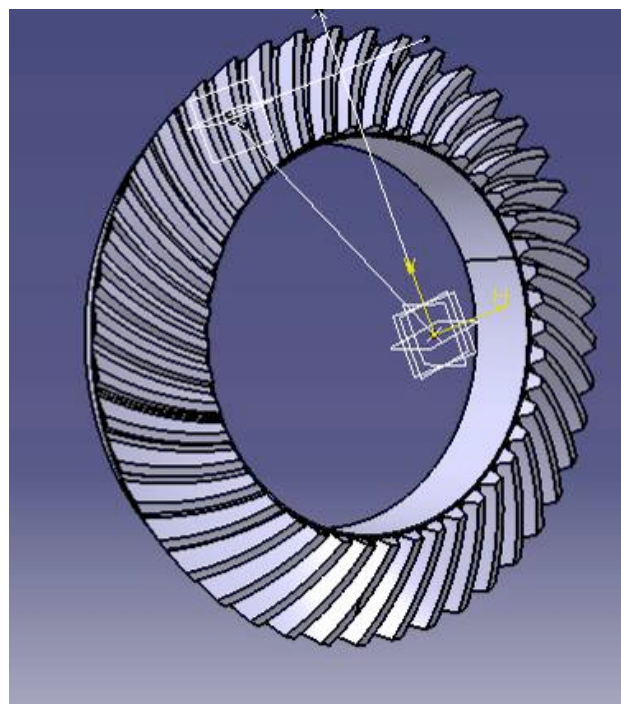
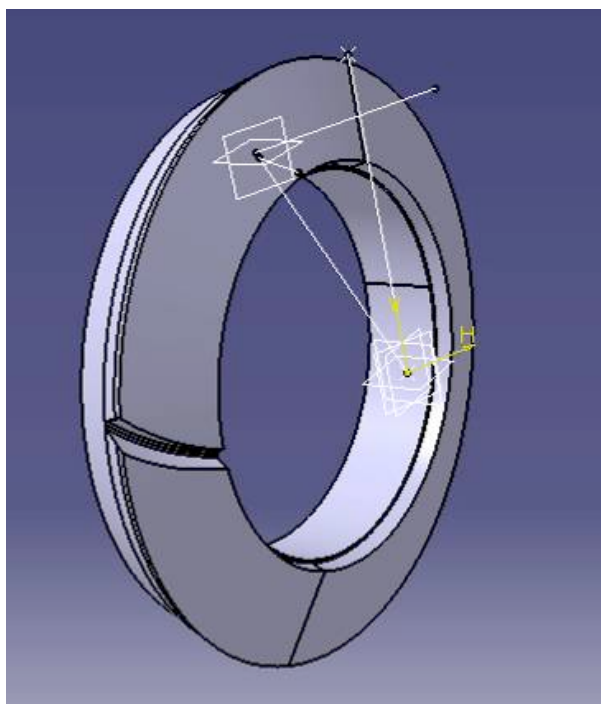
Rys. 2.1 Szkic przekroju otoczki koła

Następnie modeluje się bryłę, która odpowiada w rzeczywistym układzie głowicy nożowej. Jej kształt, wymiary i położenie względem otoczki muszą być bardzo dokładnie odwzorowane, zgodnie z obliczeniami technologii bazowej. Wymaga to od projektanta dobrego zrozumienia mechanizmów procesu nacinania przekładni oraz biegłości w modelowaniu w środowisku CAD 3D. Konieczne jest wielokrotne przemieszczanie i obracanie płaszczyzn szkicowania przekroju głowicy oraz wymiarowanie względem wcześniej powstałej bryły otoczki.



Rys. 2.2 Model bryłowy układu otoczki i głowicy nożowej

Tak zbudowany układ technologiczny, przy użyciu odejmowania boolowskiego, posłużył do utworzenia jednego wrębu międzyzębnego. Następnie przy użyciu szyku kołowego zbudowano kompletny wieniec zębaty.

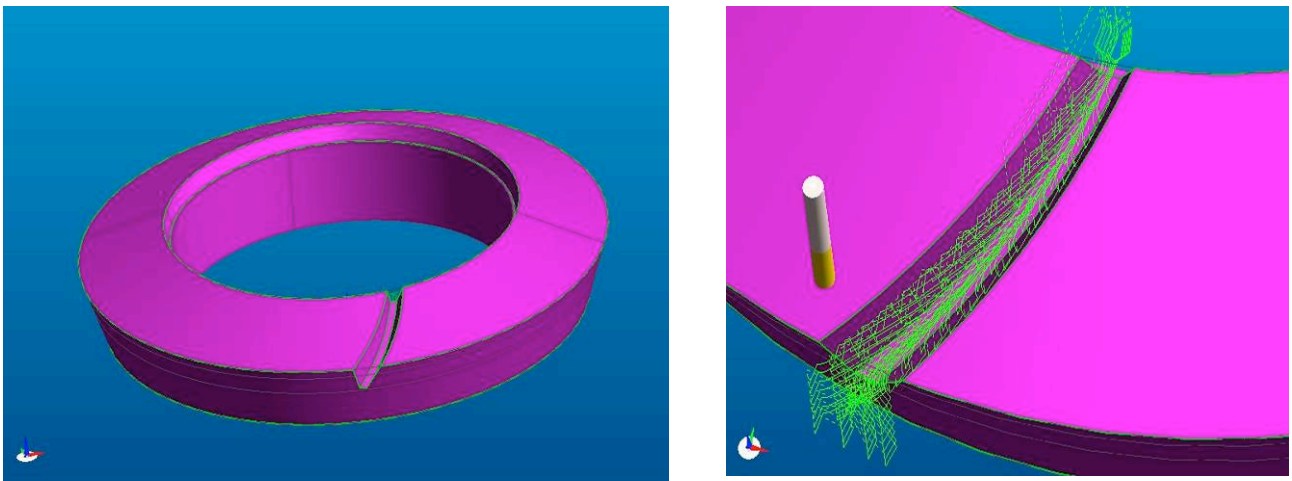


Rys. 2.3 Model bryłowy z jednym wrębem oraz kompletnym wieńcem zębatym

W przypadku prezentowanego modelu koła obliczenia wykonano na podstawie pomiarów obudowy dyferencjału oraz oryginalnej przekładni samochodu BMW 316i Na podstawie jednego z obliczonych zestawów parametrów zbudowano model bryłowy koła talerzowego w programie CATIA V5, postępując zgodnie z opisanym schematem.

3. OPRACOWANIE PROGRAMU OBRÓBKOWEGO

Obróbka koła zębatego została zaprojektowana w programie Edgecam. Posłużono się modelem bryłowym z jednym wrębem oraz modelem samej otoczki jako półfabrykatem. Proces frezowania został złożony z trzech obróbek : zgrubnej , wykańczającej typu profilowanie oraz ołówkowej do wybrania resztek materiału z dna wrębu. Zintegrowany symulator obróbki posłużył za narzędzie do wstępnej weryfikacji poprawności procesu.



Rys. 3.1 Model bryłowy koła i otoczki oraz wygenerowane ścieżki narzędzia

Program obróbkowy został przygotowany dla 3 różnych narzędzi. Obróbka zgrubna została wygenerowana dla freza palcowego (walcowo czołowego) $\varnothing 3\text{mm}$. Obróbki wykończeniowe : profilowanie dla freza kulistego $\varnothing 3\text{mm}$ oraz typu „ołówkowa” czyli obróbka wykończeniowa, która została wykorzystana do usunięcia resztek materiału z dna wrębu dla freza palcowego walcowo-czołowego $\varnothing 2\text{mm}$. Najistotniejszym problemem jaki należy rozwiązać w przypadku modelowania obróbki kół zębatych stożkowych jest trudność prowadzenia narzędzia w upragniony sposób. Koła stożkowe o kołowo-łukowej linii zęba , nawet typu Formate, posiadają stosunkowo skomplikowaną geometrię. Dla większości komercyjnych uniwersalnych programów CAM wygenerowanie żądanych ścieżek jest dosyć skomplikowane. W użytym programie Edgecam konieczne jest potraktowanie modelu bryłowego jako modelu składającego się z określonej ilości powierzchni. Traktując model koła jako bryłę uzyskujemy program obróbkowy z dużą ilością niepotrzebnych ruchów oraz niezadowalającą dokładność odwzorowania geometrii. Kluczem do uzyskania poprawnych trajektorii narzędzia jest potraktowanie bocznych powierzchni wrębu jako wyodrębnionej powierzchni. Pozostałe powierzchnie zostawiając jako chronione. W ten sposób uzyskujemy ścieżki narzędzia prowadzone w sposób regularny, odzwierciedlający kształt powierzchni boków wrębu.



Rys. 3.2 Analiza dokładności kolejnych etapów obróbki na podstawie symulacji skrawania w programie Edgecam

4. WERYFIKACJA METODY

Wygenerowany kod obróbkowy dla jednego wrębu, został powielony na sterowniku obrabiarki tak by każdy kolejny element był wykonany z odpowiednim przesunięciem kątowym. Takie podejście pozwala na szybsze wygenerowanie kodu przez skrócenie czasu potrzebnego na obliczenia komputerowe podczas generowania ścieżek narzędzia oraz analizę poprawności rezultatów obróbki tylko dla jednego wrębu. Przedstawiona metoda stosowana jest w zbliżonej formie do produkcji wielkogabarytowych przekładni. Hipoteza postawiona w tej pracy zakładała, iż przy odpowiednim sposobie modelowania przekładni i generowania obróbki możliwe jest wykonanie kół stożkowych kołowo-łukowych na uniwersalnych frezarkach CNC. Przede wszystkim na frezarkach 3-osiowych przy zastosowaniu uniwersalnych aplikacji CAM. Wiadomym jest bowiem, że zwłaszcza przy produkcji dużych przekładni stożkowych możliwe jest ich nacinanie na frezarkach 5-osiowych na, które tworzy się kod przy użyciu specjalnych programów CAM dla kół zębatych. Jednakże, takie rozwiązania są bardzo kosztowne i wymagają najwyższej klasy obrabiarek. Wdrożenie badanej metody produkcji pozwoliło by na jednostkowe i małoseryjne produkowanie przekładni na licznych uniwersalnych frezarkach, firmom posiadającym praktycznie dowolnych program CAM.



Rys.4.1 Obróbka zgrubna koła na podstawie modelu symulacyjnego



Rys.4.2 Widok boków wrębów po zakończeniu pierwszego etapu obróbki wykończeniowej



Rys.4.3 Gotowe koło do przekładni głównej samochodu osobowego wykonane na 3-osiowej frezarce AVIA VMC650

5.WNIOSKI

Przeprowadzona eksperymentalna obróbka uwiidoczniała różne ciekawe zjawiska. Podczas frezowania wykończeniowego frezem kulistym $\varnothing 3\text{mm}$, po około 6 wrębach zaobserwowano narastający spadek jakości uzyskiwanej powierzchni. Przerwano obróbkę i po przegładzie stwierdzono, iż znacznemu zużyciu uległ frez. Mimo dobrania parametrów

obróbki zgodnie z zaleceniami producenta narzędzia ,frez po około 1,5h skrawania nie nadawał się do dalszej pracy. Ważne jest też to, iż na obróbkę wykończeniową pozostawiono jedynie 0,2mm naddatku. Dalszą obróbkę wykonano frezem innego producenta z powłoką TiAlN (oba narzędzia były wykonane z węglików spiekanych)[4]. Nie wykazywał on praktycznie żadnego zużycia i pozwolił na wykończenie pozostałej części koła. Oznacza to, iż przy tak wysokim poziomie wymaganej dokładności należy stosować narzędzia najwyższej jakości z powłokami ochronnymi na części skrawającej.

Zauważono również, iż w celu uzyskania poprawnej geometrii uzębienia, zwłaszcza na zewnętrznych krawędziach boków zęba ,należy na etapie budowy modelu CAD, generować nieznacznie szerszy wieniec (wydłużenie na poziomie równym szerokości luki między zębnej). Pozwala to na wyeliminowanie niedoskonałości w uzyskiwanych trajektoriach ruchów narzędzia, które programy CAM generują w sposób niezależny od programisty. Nieprawidłowości w prowadzeniu narzędzia pojawiają się sporadycznie na granicach brył , dlatego sztuczne przesunięcie tych granic poza rzeczywistą otoczkę, może pozwolić na poprawę dokładności obróbki.

Prezentowana metoda obróbki przekładni stożkowych ma najbardziej uzasadnione zastosowanie, ekonomicznie i technologicznie ,przy dużych przekładniach. Wynika to z czasu obróbki i obniżającej się dokładności wraz z koniecznością stosowania coraz mniejszych narzędzi. Jednakże istotny jest fakt, iż pozwala ona na wykonanie przekładni na uniwersalnych frezarkach. Daje to zupełnie nowe możliwości produkcji i w wielu przypadkach jest opłacalne.

LITERATURA

- [1] Skawiński P: *Integracja projektowania i wytwarzania kół zębatych stożkowych o zębach kołowo-łukowych* Politechnika Warszawska 2010.
- [2] Siemiński P. *Frezowanie zębów kół przekładni stożkowych o krzywoliniowej linii zębów na uniwersalnych obrabiarkach CNC*. IX Forum Inżynierskie ProCAX, Sosnowiec-Siewierz 2010.
- [3] J. Pisula, M. Płocica : *Analiza współpracy pary kół stożkowych na podstawie matematycznego modelu obróbki oraz bezpośredniej symulacji nacinania w programie Inventor* Mechanik 01/2012
- [4] www.dolfamex.pl