Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA ROCZNA
Projektu Kluczowego
12-13 Grudnia 2011

ZB 3

Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason
Development of the technology of effective design and production of cone gear using Gleason Phoenix system.

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

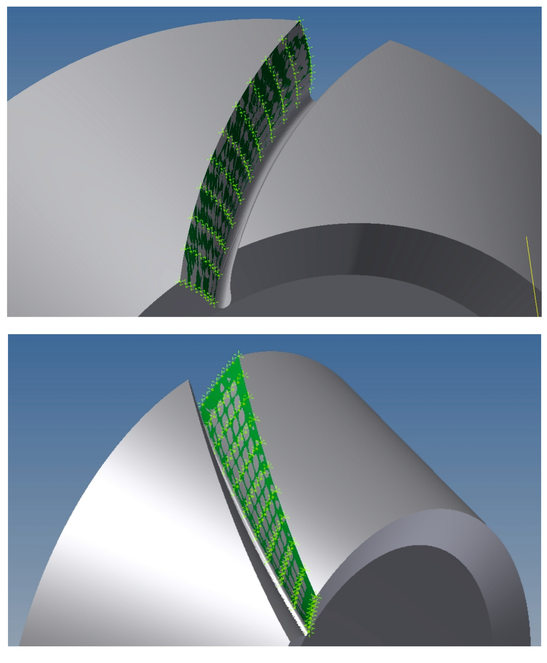
Wyniki badań
Results

Opracowanie metody topologicznej modyfikacji boku zęba zębnika i wyznaczania powierzchni wzorcowej zapewniającej pożądany ślad przylegania i wykres nierównomierności ruchu przekładni. Etap II

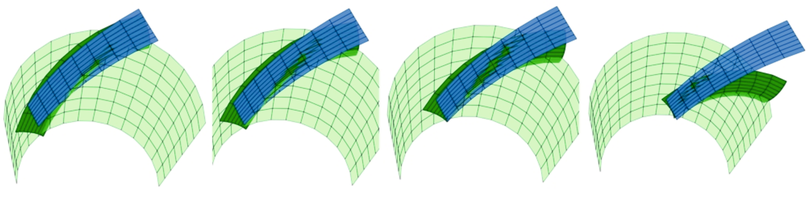
The development of topological method for modifying the flank of the pinion tooth surface and determining the reference surface that ensures the desired tooth bearing and motion graph. Stage II

Opracowanie procedury optymalnej aproksymacji wzorcowej powierzchni zęba zębnika powierzchnią generowaną na maszynie CNC w celu wyznaczenia skorygowanych funkcji ruchu osi sterowanych. Etap II

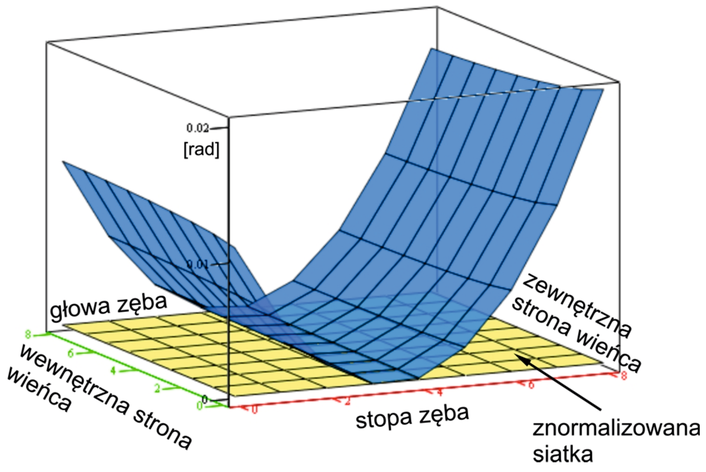
The development of procedures for optimal approximation of the reference surface of the pinion tooth by surface generated on the CNC machine in order to determine the adjusted movement functions of machine axis. Stage II



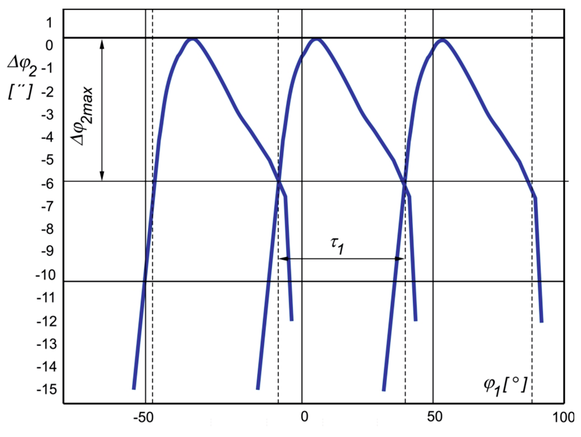
Rys.1. Porównanie powierzchni bocznych zęba zębnika (strona wklęsła i wypukła) uzyskanych dzięki modelowi matematycznemu i CAD
Fig. 1. Comparison of the flank surfaces of the pinion (concave and convex side) obtained by the mathematical and CAD model



Rys.2. Kolejne położenia śladu współpracy zazębienia koła z wzorcową powierzchnią zęba zębnika i koła w parze konstrukcyjnej
Fig. 2. Visualization of the tooth bearing of the gear flank surgace with the reference pinion flank surface



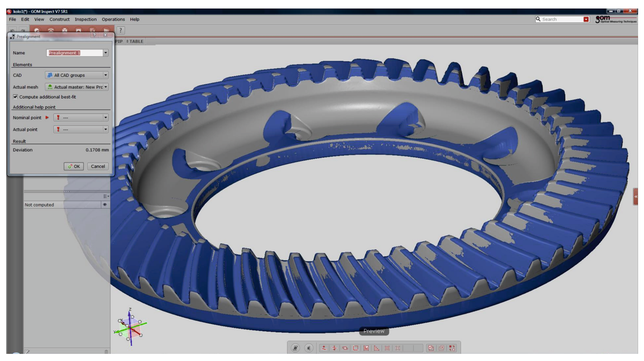
Rys.3. Wykres Ease off dla czynnej strony zazębienia
Fig. 3. Ease off chart for the drive side of mesh



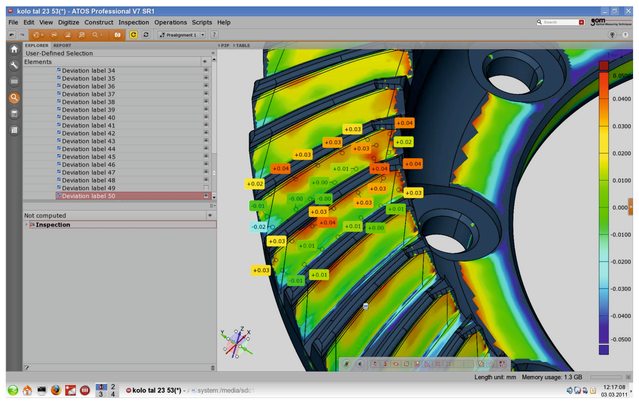
Rys.4. Wykres nierównomierności ruchu przekładni dla strony czynnej zazębienia. Maksymalna odchyłka ruchu koła mierzona w zakresie podziałki przyporu wynosi 6 s
Fig. 4. Motion graph for the drive sideof mesh. The maximum deviation of gear motion is 6 s

Opracowanie procedury automatyzacji pomiarów koła i zębnika na współrzędnosiowej maszynie pomiarowej. Etap II.

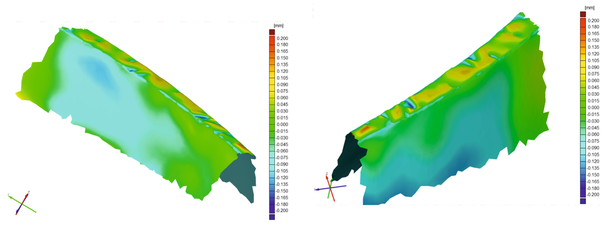
The development of procedures for automated measuring gear and pinion on coordinate measuring machine. Stage II.



Rys.5. Porównanie zmierzonego koła talerzowego z modelem CAD
Fig. 5. Comparison of measured gear with the CAD model



Rys.6. Analiza odchyłek powierzchni bocznej zębów koła
Fig. 6. Analysis of the displacement of the gear tooth flank



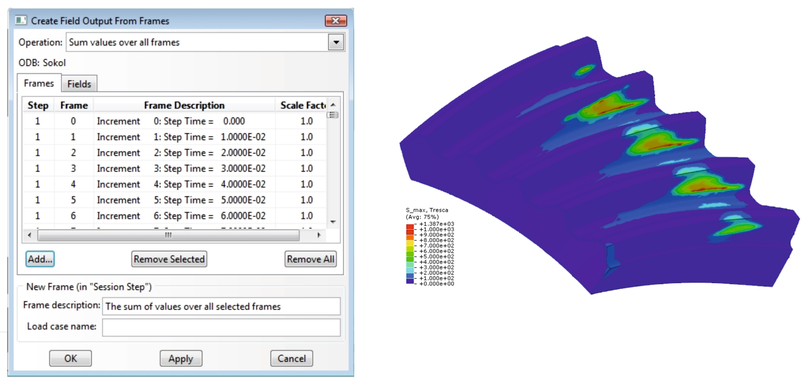
Rys.7. Mapa odchyłek powierzchni bocznej zębów koła - strona wklęsła i wypukła
Fig. 7. Map of the displacement of the gear tooth flank - concave and convex side

Analiza stanu naprężeń i odkształceń przekładni stożkowej z wykorzystaniem MES.

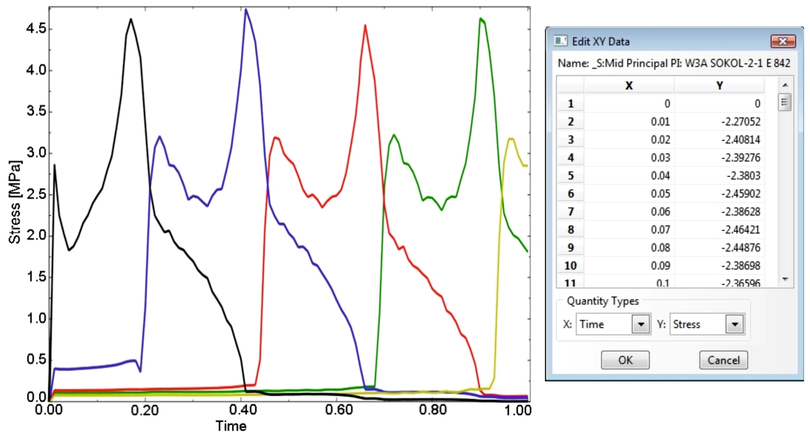
Analysis of stress and strain state of bevel gear using FEM. procedury i programu

Opracowanie procedury automatycznego opracowania wyników analiz MES przekładni stożkowej.

The development of procedures of automated FEA results compile for bevel gear.



Rys.8. Widok okna dialogowego Create Field Output From Frames oraz przykładowe wyniki maksymalnych naprężeń uzyskane przy pomocy tej funkcji
Rys. 8. View Create Field Output From Frames dialog box and sample results of maximum stress obtained with the help of this function



Rys.9. Przykładowy wykres naprężeń utworzony bezpośrednio w programie Abaqus oraz Przykład danych do eksportu w formie tabelarycznej
Fig. 9. Sample graph of stress created directly in Abaqus and example to export data in tabular form

Wnioski
Conclusions

Aktualny stan realizacji zadań pozwala na analizę współpracy par konstrukcyjnych, których człony uzyskano dzięki dwóm niezależnym modelom generowania uzębień. Stworzono zarówno model matematyczny jak i model symulacji bezpośredniej, przy czym obydwa odzwierciedlają możliwości kinematyczne obrabiarki numerycznej Phoenix 175. Wygenerowano wzorcowe powierzchnie boku zęba zębnika, które mogą służyć do weryfikacji ustawień obrabiarki. Z uwagi na niezależne sterowanie każdej osi maszyny CNC, można zrealizować na jej modelu topologiczną modyfikację powierzchni bocznych uzębień. Wykonuje się to przez celową zmianę kinematyki (dobór funkcji sterujących), korygującą topografię powierzchni bocznych. Pozwala to na swobodne kształtowanie wybranego fragmentu powierzchni zęba, co uniezależnia konstruktora od ograniczeń typowych modyfikacji linii i zarysu zęba. Powyższe działanie wpływa bezpośrednio na poprawę współpracy zazębienia przekładni konstrukcyjnej.

Zautomatyzowana procedura pomiarów uzębień kół stożkowych znacznie skraca czas pomiaru, zarówno przy elementach jednostkowych, jak również w przypadku mierzenia wybranych sztuk w produkcji seryjnej. Wyniki pomiarów pozwalają na szczegółową analizę zmierzonych powierzchni zarówno w układzie 3D jak i w wybranych przekrojach. Przez porównanie zmierzonych powierzchni z wzorcowym modelem CAD można otrzymać rozkład odchyłek (np. zarysu lub linii zęba).

Metodyka zautomatyzowanego przeprowadzania numerycznych obliczeń przekładni stożkowych z wykorzystaniem MES dotyczy głównie postprocesora programu Abaqus i została przygotowana pod kątem możliwości przygotowania i obróbki wyników w celu ich dalszego wykorzystania w różnego typu analizach. Abaqus generuje bardzo dużą liczbę różnego typu wyników dla każdego kroku obliczeniowego. Dodatkowo, gdy obliczenia mają dotyczyć kilku wersji tego samego modelu, liczba wszystkich wyników lawinowo rośnie. Aby ułatwić wybór odpowiednich rezultatów i zachować te same ustawienia dla wyników dotyczących wielu modeli obliczeniowych napisano skrypt w języku Python. Skrypt ten uruchamiany jest z poziomu programu Abaqus i w sposób automatyczny, na podstawie pliku otrzymanego z solvera, przygotowuje prezentację pożądanych wyników.

The current status of tasks, we can analyze constructional pairs in which the pinion and the gear were obtained by two independent models to generate teeth. Both developed a mathematical model and direct simulation model, both reflect the possibility of kinematic of Phoenix 175 numerical machine tool. There are generated reference flank surfaces of the pinion, which can be used to verify the machine setup. Due to the independent control of each axis CNC machines, can be implemented on the topological modification of the flank surfaces of teeth. This is done by an intended change of kinematics (the selection of control functions), correcting the surface topography. This allows the free formation of a selected area of the tooth surface, which becomes independent designer from the constraints of typical modification line and profile of the tooth. This action directly affects the meshing gears for improved design.

Automated procedure for measuring of bevel gear significantly reduces the measurement time, both at the individual elements, as well as for the measurement of selected pieces in the series. The measurement results allow detailed analysis of the measured surface in both the 3D system as well as in selected sections. By comparing the measured surface area with a CAD reference model can be obtained distribution of defects (such as tooth profile or line deviation).

Methodology of automated numerical calculations of bevel gears using FEM postprocessor program focuses on Abaqus and has been prepared for the possibility of preparing and processing the results for further use in various types of analysis. Abaqus generates a very large number of different types of results for each step of the calculation. In addition, the calculations are to cover several versions of the same model, the number of all results is growing exponentially. To facilitate the selection of appropriate outcomes and keep the same settings for the results of several computational models written in Python script. This script is run from within Abaqus and automatically, based on the file received from the solver, preparing a presentation of the desired results.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. Dziubek T., Płocica M.: ***Optyczne metody pomiarowe w rekonstrukcji geometrii kół zębatych;*** X Forum Inżynierskie ProCAx, Sosnowiec-Siewierz, 06-09.10.2011 r.
2. Marciniec A., Budzik G., Dziubek T.: ***Automated measurement of bevel gears of the aircraft gearbox using GOM;*** 37th International Scientific congress on powertrain and transport means, Krakow, Poland. September 4-7, 2011
3. Marciniec A., Sobolewski B.: ***Zastosowanie systemu Autodesk Inventor do symulacji współpracy przekładni stożkowych Gleason'a***; X Forum Inżynierskie ProCAx, Sosnowiec-Siewierz, 06-09.10.2011 r
4. Pacana J.: ***Development of Bevel Gear Motion Transmission Graphs with FEM***; XXV Sympozjon PKM, Gdańsk, 12-16.09.2011
5. Pacana J., Sobolewski B.: ***Komputerowe metody projektowania zębatych przekładni stożkowych.*** XVIII Konferencja Metody i Środki Projektowania Wspomaganego Komputerowo, Baranów Sandomierski, 12-14 października 2011.
6. Pisula J., Płocica M.: ***Numerical model of bevel gears cutting by Duplex Helical Method***; XXV Sympozjon PKM, Gdańsk, 12-16.09.2011
7. Pisula J., Płocica M.: ***Analiza współpracy pary stożkowej na podstawie matematycznego modelu obróbki oraz bezpośredniej symulacji nacinania w programie Inventor***; X Forum Inżynierskie ProCAx, Sosnowiec-Siewierz, 06-09.10.2011 r.;

Publikacje

1. Budzik G., Dziubek T., Markowska O., Tutak M.: ***Automatyzacja i robotyzacja pomiarów współrzędnościowych***. STAL – Metale i Nowe Technologie, nr 5-6/2011, str. 34-36
2. Marciniec A., Budzik G., Dziubek T.: ***Automated measurement of bevel gears of the aircraft gearbox using GOM.*** Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2, Warszawa 2011, str. 287-292
3. Marciniec A., Pisula J., Płocica M., Sobolewski B.: ***Projektowanie przekładni stożkowych z zastosowaniem modelowania matematycznego i symulacji w środowisku CAD***. Mechanik, nr 7/2011, str. 602-605
4. Pacana J.: ***Development of Bevel Gear Motion Transmission Graphs with FEM.*** Key Engineering Materials, Vol. 490, str. 83-89
5. Pisula J., Płocica M.: ***Numerical model of bevel gears cutting by Duplex Helical Method.*** Key Engineering Materials, Vol. 490, str. 237-246

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie obronione:

- **Borek Dariusz:** *Wyznaczanie śladu współpracy zębów przekładni zębatej stożkowej z wykorzystaniem MES.* Promotor: dr inż. Jacek Pacana, praca obroniona 27.09.2011 r.

Prace inżynierskie planowane

- **Gmyrek Łukasz:** *Projekt rekonstrukcji stożkowo-walcowej przekładni głównej samochodu ciężarowego Ursus A.* Promotor: dr inż. Mieczysław Płocica, planowany termin obrony: luty 2012
- **Ignarski Wojciech:** *Analiza kształtowania uzębień kół stożkowych metodą Duplex Helical.* Promotor: dr inż. Mieczysław Płocica, planowany termin obrony: czerwiec 2012

Prace magisterskie planowane

- **Dudek Paweł:** *Symulacja generowania uzębienia kół stożkowych metodą SGT i SFT firmy Gleason w systemie Inventor* . Promotor: dr inż. Pisula Jadwiga, planowany termin obrony: luty 2012
- **Dziki Marcin:** *Model matematyczny i CAD uzębień kół stożkowych wykonanych metodą Duplex Helical* . Promotor: dr hab. inż. Pisula Jadwiga, planowany termin obrony: luty 2012

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO