

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



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Rekonstrukcja kół zębatych z zastosowaniem systemów CMM/CAD/RP

Reconstruction of gears with the use of connected systems CMMs/CAD/RP

GRZEGORZ BUDZIK
 TOMASZ DZIUBEK
 BOGDAN KOZIK
 MAŁGORZATA ZABORNIAK*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.549

W artykule przedstawiono metodykę rekonstrukcji kół zębatych przekładni lotniczych z zastosowaniem powiązanych systemów CMM/CAD/RP. Współrzędnościowe techniki pomiarowe (CMM) oraz systemy CAD umożliwia identyfikację i odtwarzanie geometrii kół zębatych, natomiast systemy RP dają możliwość wykonania prototypu zrekonstruowanego koła zębatego.

SŁOWA KLUCZOWE: koła zębate, przekładnie lotnicze, współrzędnościowe techniki pomiarowe, szybkie prototypowanie

This paper presents a reconstruction methodology of the transmission airline gears connected systems using CMM /CAD /RP. The use of coordinate measuring techniques (CMMs) and CAD systems enables to identify and reconstruct gear geometry. In contrast, while the RP systems make it possible to create a prototype with the reconstructed gear.

KEYWORDS: gear, aircraft gearbox, coordinate measuring technique, rapid prototyping

1. Wprowadzenie

Współcześnie, pomimo bardzo szerokiego rozwoju technologicznego ogólna koncepcja funkcjonowania urządzeń mechanicznych nie uległa zmianie. Obszar stosowania przekładni zębatych jest nadal szeroki, ze szczególnym uwzględnieniem kół zębatych przekładni lotniczych. Literatura w większości poświęcona jest temu jak projektować przekładnie zębate, a pomija się zagadnienia dotyczące

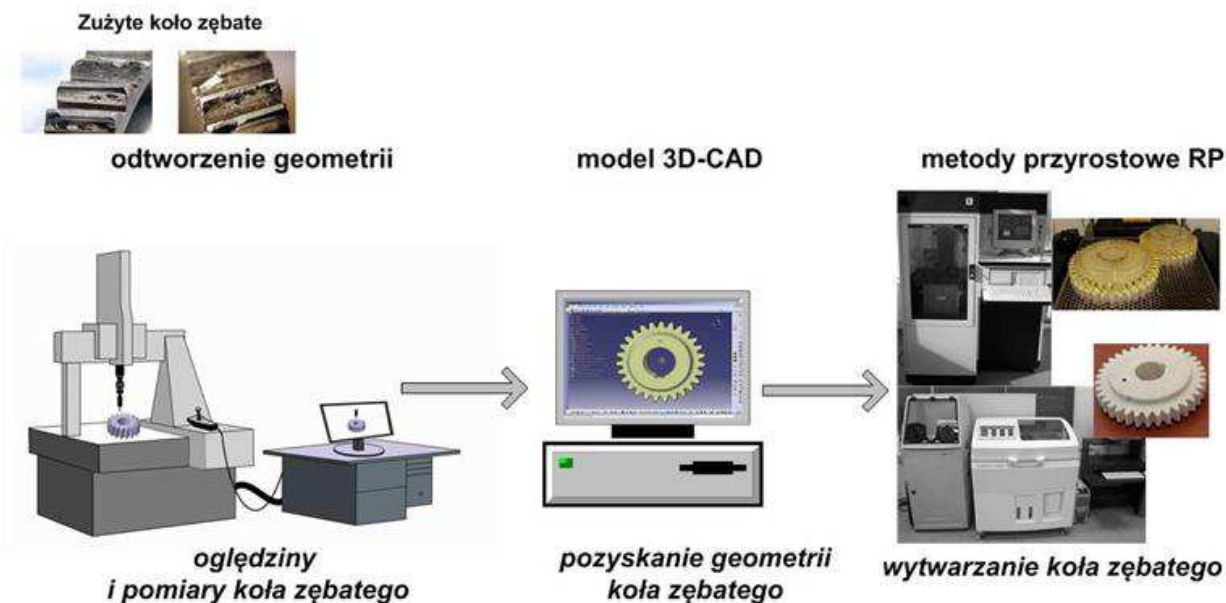
tematyki rekonstrukcji kół zębatych.

Za rekonstrukcją przekładni zębatych przemawiają względy technologiczne lub historyczne (pojazdy zabytkowe). Dotyczy ona w głównej mierze takich kół, które są częściami zamiennymi w maszynach i urządzeniach, gdzie producent danego urządzenia albo już nie istnieje, albo na danym rynku ponoszone są zbyt duże koszty serwisowania tych urządzeń. Z zagadnieniem odtwarzania kół zębatych szczególnie boryka się przemysł elektromaszynowy. Jest to również ważne w rekonstrukcji przekładni w maszynach dla przemysłu wydobywczego. Urządzenia takie stanowią wyroby jednostkowe, przy czym często brak jest dokumentacji technicznej. Tematyka rekonstrukcji znajduje zastosowanie również w opracowywaniu ekspertyz sądowych.

Zastosowanie współrzędnościowych technik pomiarowych (CMM) oraz systemów CAD umożliwia identyfikację i odtwarzanie geometrii kół zębatych, które uległy eksploatacyjnemu zużyciu lub uszkodzeniu. Natomiast systemy RP dają możliwość wykonania prototypu zrekonstruowanego koła zębatego.

Proces rekonstrukcji kół zębatych jest procesem wieloetapowym, który pozwala na odtworzenie istniejących obiektów (rys. 1). W procesie pomiarowym otrzymane zostają dane pomiarowe (współrzędne punktów), które znajdują zastosowanie w tworzeniu modeli numerycznych 3D-CAD. Następnie otrzymany model 3D-CAD może zostać wykorzystany w procesie wytwarzania prototypu koła zębatego (RP) [2,4].

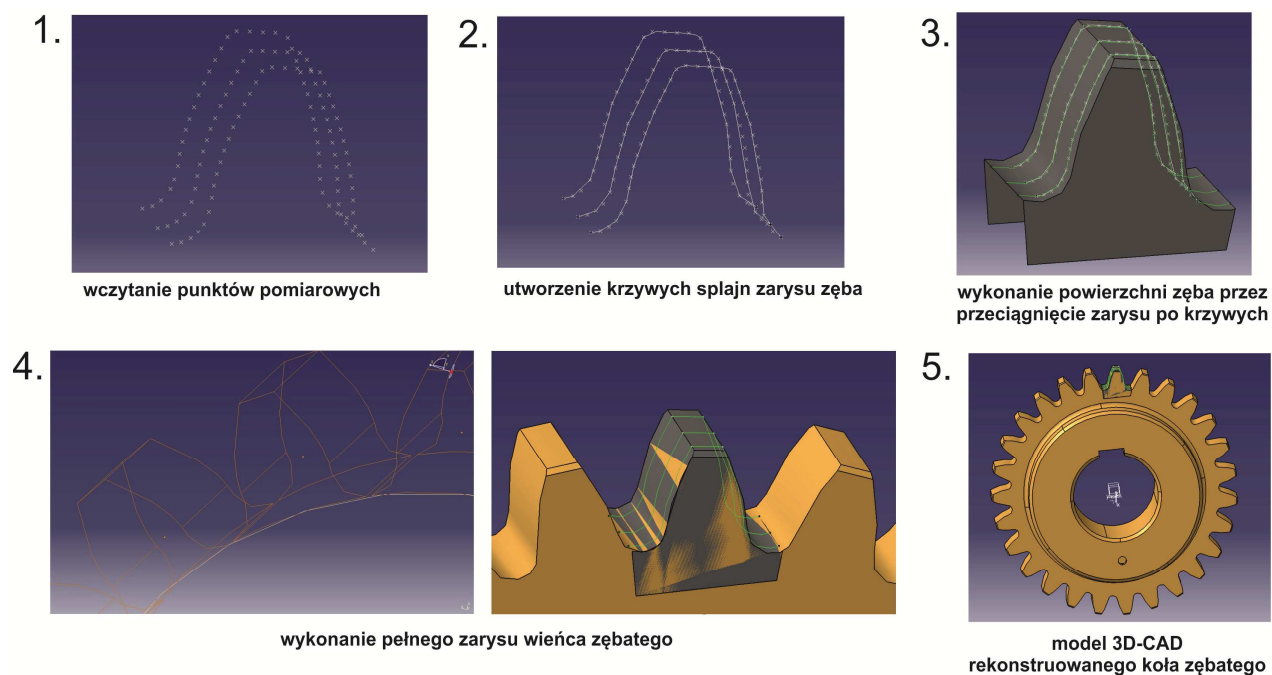
Prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl), dr inż. Tomasz Dziubek (tdziubek@prz.edu.pl), dr inż. Bogdan Kozik (bogkozik@prz.edu.pl), dr inż. Małgorzata Zaborniak (mzab@prz.edu.pl)



Rys. 1. Proces rekonstrukcji kół zębatach z wykorzystaniem powiązanych systemów CMM/CAD/RP

2. Transformacja punktów pomiarowych do postaci modelu powierzchniowego koła zębatego w oparciu o współrzędnościowe systemy pomiarowe

Przykładowa metodyka rekonstrukcji numerycznej koła zębatego w oparciu o dane pomiarowe przedstawiona została na rysunku 2. Do wykonania modeli 3D-CAD wykorzystano oprogramowanie CATIA. W poszczególnych systemach CAD proces rekonstrukcji może przebiegać w nieco inny sposób, mimo to przedstawione etapy są uniwersalne dla większości systemów komputerowo wspomagane projektowania.



Rys. 2. Metodyka modelowania CAD koła zębatego na podstawie pozyskanych danych pomiarowych

Opracowana metodyka modelowania 3D-CAD kół zębatach została przeprowadzana w oparciu o punkty pomiarowe uzyskane z pomiaru geometrii koła zębatego. Polegało to na zastosowaniu procesu kolejnych iteracji w odniesieniu do wzorcowego parametrycznego modelu 3D-CAD i na jego podstawie wyznaczeniu poszczególnych wielkości opisujących geometrię koła zębatego. Pomiary przeprowadzane były z wykorzystaniem Współrzędnościowej maszyny pomiarowej WENZEL LH87 wyposażonej w standardowe oprogramowanie Metrosoft.

Dostępne obecnie na rynku oprogramowania CAD umożliwiają przestrzenne, w większości przypadków parametryczne, modelowanie bryłowe oraz powierzchniowe, a także modelowanie zespołów części. Systemy te często posiadają bazy części znormalizowanych, które konstruktor może wykorzystać jako gotowe komponenty przy tworzeniu zespołu. Przykładowo oprogramowanie Autodesk Inventor posiada program generujący znormalizowane koła zębate.

W opracowanej metodyce wykorzystywano modele numeryczne kół zębatach tworzone w oprogramowaniu CATIA oraz Autodesk Inventor. Wybór odpowiedniego programu uzależniony był między innymi od możliwości programu oraz jego specjalizacji w danym zakresie modelowania. Z uwzględnieniem, że proces modelowania CAD jest obciążony również niedokładnościami wynikającymi z zastosowanych metod i procedur modelowania. W procesie rekonstrukcji jest to bardzo istotny etap, w którym możliwe było uzyskanie modelu nominalnego 3D-CAD z określonym przybliżeniem do badanego koła zębatego poddanego procesowi rekonstrukcji. Ważnym zagadnieniem była identyfikacja czynników wpływających na dokładności poszczególnych etapów procesu rekonstrukcji kół zębatach. Na uzyskiwane dokładności wpływały nie tylko użyte metody, ale i stosowane narzędzia. A jakość przeprowadzonych analiz i odniesienie ich do warunków rzeczywistych zależna była nie tylko od możliwości użytego oprogramowania ale również umiejętności i doświadczenia samego użytkownika.

W przedstawionej metodyce modelowania CAD koła zębatego wczytywanie otrzymanych punktów pomiarowych, odbywało się przy wykorzystaniu specjalnie opracowanego makra w programie Microsoft Excel. Odpowiednio dostosowana instrukcja pętli pomogła zaoszczędzić czas i zwiększyć wydajność pracy, a przede wszystkim pozwoliło to na wczytanie danych do środowiska CATIA.

Dalsza „obróbka” punktów pomiarowych polegała na uzyskaniu zbioru krzywych, pomiędzy którymi mogą zostać „rozpięte” poszczególne płyty powierzchni. Ograniczono się do zastosowania metod uproszczonych. Uzyskane punkty zarysu połączone przybliżając zarys odcinkami, bądź krzywymi. W przypadku łączenia krzywymi wykorzystywane były krzywe typu splajn.

Następnie wygenerowane zostały powierzchnie zęba koła zębatego za pomocą narzędzi programowych modułu Generative Shape Design.

Modelowanie koła zębatego polegało na powieleniu w szyku kołowym kompletnej geometrii powierzchni jednego zęba. W ten sposób otrzymano model powierzchniowy koła zębatego. Ciągłość tej powierzchni jest zarówno geometryczna jak i programowa (gdy umożliwia się istnienie „szczelin” o kreślonych parametrach). Istnienie ciągłości powierzchni modelu jest warunkiem koniecznym utworzenia modelu bryłowego kół zębatach (moduł Part Design).

Numeryczny model 3D-CAD stał się językiem komunikacji w środowisku konstruktorów oraz technologów. Jest on

nośnikiem informacji o realizowanym projekcie od etapu koncepcji po wyrób finalny. Na podstawie odtworzonych modeli numerycznych możliwe jest wykonanie modeli fizycznych zrekonstruowanych kół zębatach. Zrekonstruowane walcowe koła zębata o zarysie ewolwentowym wykonane zostały przyrostowymi metodami szybkiego prototypowania – 3DP (Three Dimensional Printing - Drukowanie 3D na proszku – rys. 3) oraz metodą SLA (Stereolithography – Stereolitografia – rys. 4) [1,3,5].



Rys. 3. Zrekonstruowane koło zębate – model 3DP



Rys. 4. Zrekonstruowane koło zębate – model SLA

Za stosowaniem przyrostowych metod wytwarzania przemawia wiele aspektów, do których można zakwalifikować eliminację dodatkowych narzędzi, czy konieczność stosowania dodatkowych uchwytów obróbkowych. Ponadto dzięki temu, że przedmiot wytwarzany jest w wyniku jednej operacji eliminuje się konieczność tworzenia procesu technologicznego. Zastąpiony jest on przez wygenerowanie programu sterującego urządzeniem RP, jako zadanie programowe. Jednak największą zaletą technik RP jest praktycznie brak ograniczeń pod kątem tworzonej geometrii.

Wadą przedstawionej metodyki rekonstrukcji kół zębatach jest pracochłonność i niedokładność geometryczna postaci modeli 3D-CAD, rozumiana w kontekście geometrycznej dokładności odwzorowania powierzchni, technicznej użyteczności oraz technologiczności. Ponieważ proces digitalizacji zwykle zmniejsza dokładność odwzorowania postaci powierzchni modelu, dlatego też istnieje potrzeba budowy dokładniejszych modeli numerycznych kół zębatach oraz ich uzupełniania o wymagane cechy konstrukcyjne.

W przedstawionej metodyce, otrzymywane modele numeryczne kół zębatach, na podstawie punktów pomiaro-

wych stanowią idealną geometrycznie przekładnię. Sposób generowania modelu 3D-CAD koła zębatego w znacznej mierze determinuje jego dokładność [6]. Takie modele kół zębatych nie zawsze są wystarczające przy rekonstrukcji i często wymagają opracowania metod obliczeniowych tworzonego modelu geometrycznego (lub symulacji obróbki) z uwzględnieniem rzeczywistych cech geometrycznych uzębienia, które wynikają z zastosowanej obróbki i kształtu narzędzi obróbczych. W przypadku kół zębatych wiąże się to z uwzględnieniem nie tylko postaci nominalnej tego koła, jego modyfikacji, ale również i informacji o dopuszczalnych wartościach odchylek.

Zaletą opracowanej metodyki jest to, że stanowi ona kompleksowy system uwzględniający wszystkie etapy rekonstrukcji kół zębatych, począwszy od pomiarów współrzędnościowych poprzez modelowanie 3D-CAD, aż do wytwarzania RP. W opracowanej metodyce poprzez zastosowanie pętli sprzężenia zwrotnego, pomiędzy CMM – modelem 3D-CAD – urządzeniem RP, uzyskuje się znaczne skrócenie czasu rekonstrukcji, możliwe jest podwyższenie dokładności modeli 3D-CAD oraz zmniejszenie kosztów wytwarzania prototypów kół zębatych.

Podsumowanie

Zastosowanie współrzędnościowych technik pomiarowych oraz systemów CAD umożliwia identyfikację i odtwarzanie geometrii kół zębatych przekładni lotniczych. Natomiast techniki szybkiego prototypowania umożliwiają wykonywanie fizycznych modeli zrekonstruowanych kół zębatych. Jednak należy wspomnieć, że każda z metod RP posiada pewne ograniczenia stosowalności.

Opracowany system rekonstrukcji ujmuje odtworzenia geometrii w układzie globalnym i szczegółowym. W układzie globalnym to pełna rekonstrukcja numeryczna i fizyczna kół zębatych. W układzie szczegółowym to obróbka danych na dowolnym etapie rekonstrukcji. Uzyskane modele numeryczne mogą stanowić podstawę tworzenia wirtualnej biblioteki modeli kół, które mogą być wykorzystywane przy kolejnych pracach inżynierskich (zapewniając przy tym powtarzalność procesu).

PODZIĘKOWANIA

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. Budzik Grzegorz "Possibilities of Using Vacuum Casting Process for Manufacturing Cast Models of Turbocharger Impeller". *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 14, No. 3, Warszawa (2007), str. 125-130.
2. Budzik Grzegorz, Pisula Jadwiga, Dziubek Tomasz, Sobolewski Bartłomiej, Zaborniak Małgorzata „Zastosowanie systemów CAD/RP/CMM w procesie projektowania kół zębatych walcowych o zębach prostych”. *Miesięcznik Naukowo – Techniczny Mechanik* 12 (2011), s. 988.
3. Budzik Grzegorz „Metody szybkiego prototypowania” *Metale & Nowe Technologie*, styczeń-luty (2011), str. 78-80.
4. Marciniak Adam, Budzik Grzegorz, Dziubek Tomasz, Sobolewski Bartłomiej, Zaborniak Małgorzata „Determine the precision of aviation bevel gear, made by the selected incremental techniques and using an optical scanner ATOS II Triple Scan”. *Diagnostyka*. vol. 16, No. 1 (2015), s. 63-67.

5. Markowski Tadeusz, Budzik Grzegorz, Kozik Bogdan, Sobolewski Bartłomiej „Analiza możliwości wytwarzania kół zębatych o małych modułach technologią FDM”. *Mechanik* nr 02/2014.
6. Skawiński Piotr, Siemiński Przemysław, Pomianowski Stanisław: „Generowanie modeli bryłowych uzębień stożkowych za pomocą symulacji oprogramowanych w systemie 3D CAD”. *Mechanik* 11/2011 s: 922-925.