

Piotr KRAWIEC

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, KATEDRA PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

Zastosowanie metody optycznej w ocenie cech geometrycznych nieokrągłych kół pasowych

Dr inż. Piotr KRAWIEC

Jest zatrudniony w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Poznańskiej na stanowisku adiunkta. Jego zainteresowania obejmują zagadnienia projektowania, wytwarzania, pomiarów oraz badań eksperymentalnych napędów cięgowych. Jest kierownikiem pracowni Komputerowego Wspomagania Projektowania i Zapisu Konstrukcji. Prowadzi zajęcia z zakresu Podstaw Konstrukcji Maszyn CAD, CAM, CAE.



e-mail: piotr.krawiec@put.poznan.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę oceny dokładności odwzorowania zaprojektowanych cech geometrycznych nieokrągłych kół pasowych stosowanych w nierównobieżnych przekładniach cięgowych. Badania przeprowadzono za pomocą optycznego systemu pomiarowego ATOS. Scharakteryzowano procedurę pomiaru i aparaturę badawczą zastosowaną w procesie digitalizacji przykładowych kół nieokrągłych. Zilustrowano przeprowadzone badania eksperymentalne oraz zawarto przykładowe wyniki pomiarów. W podsumowaniu opisano uzyskane wyniki badań optycznych kół pasowych nieokrągłych wykonanych różnymi metodami kształtowania.

Słowa kluczowe: pasowe koła nieokrągłe, pomiary optyczne, dokładność wykonania.

The application of optical method in estimation of geometrical features of non-circular cogbelt pulleys

Abstract

The issue of estimation of mapping accuracy of designed geometrical features of non-classical machine elements, such as non-circular cogbelt pulleys, is presented in the paper. Such elements are applied in uneven-running strand transmissions with cogbelt. The characteristic feature of these transmissions is the possibility of obtaining the periodically variable kinematic features such as velocity, gear ratio. The genesis of origin of transmissions and illustration of designed and manufactured test stand are given in introduction (Fig. 1). Next manufacturing methods of exemplary non-circular cogbelt pulleys are presented (Fig. 2). The measuring procedure and testing equipment used in digitalization process of exemplary non-circular gears are described in the next part of paper (Fig. 3). Presented illustrations show the result of comparison of solid model, which was a basis for elaboration of manufacturing process of cogbelt pulleys, and shell model, which was obtained as a result of digitalization with the use of ATOS scanner - GOM manufacturer (Fig. 4-6). Applied research method of geometrical features distinguishes itself by many advantages in comparison with contact methods in scope of delivery time of results of measurement. The results of investigation will be used for analysis of manufacturing accuracy of transmission elements, which are produced with the use of manufacturing methods mentioned in paper.

Keywords: non-circular belt pulleys, optical measurements, manufacturing accuracy.

1. Wstęp

W technice napędu i sterowania stosowane są powszechnie przekładnie cięgnowe z pasem zębatym. Zastosowanie pasów zębatych w różnych precyzyjnych przekładniach np.: rozrząd w silniku samochodowym, kopiarkach, sprzęcie informatycznym, napędach obrabiarek i manipulatorów jest powszechne i konkurencyjne do cięgien łańcuchowych.

W tradycyjnych przekładniach z pasem zębatym występuje nierównobieżność biegu cięgna pasa. Jest to spowodowane dwoma zjawiskami:

- właściwościami materiału pasa, którego odkształcenia zależą silnie nieliniowo od naprężenia i są odmienne, co do ilości i jakości dla koła czynnego i biernego. Zależą one także od kierunku spadku lub wzrostu obciążenia w cięgnię pasa,
- efektem wieloboku związanym z liczbą czynnego ząbienia kształtowo-ciernego pasa z kołem.

Pierwsza przyczyna w mniejszym stopniu wpływa na nierównomierność biegu pasa. Natomiast efekt wieloboku ma istotne oddziaływanie na synchroniczny bieg cięgna pasa w przekładni.

Nierównobieżność biegu cięgna jest w wielu dziedzinach techniki niepożądana szczególnie tam, gdzie napędy mają zapewnić stałe przełożenia, prędkości i przyspieszenia. Pojawiły się, zatem dwa nurty badawcze. Pierwszy kierunek badań związany jest z ograniczeniem i minimalizacją nierównobieżności biegu pasa (cięgna w przekładni). Drugi polega na wykorzystaniu tej cechy w praktyce przemysłowej do budowy przekładni nierównobieżnych. W tym celu niezbędne jest opracowanie metod kształtowania nierównobieżności kinematycznej i dynamicznej napędów. Oznacza to potrzebę zaprojektowania odmiennych funkcji i cech konstrukcyjnych przekładni takich jak: wywołania i kontrolowania zmiennego przełożenia, zmiennej prędkości i przyspieszenia pasa w przekładni podczas jednego obiegu.

Temu właśnie celowi służy budowa przekładni cięgnowej z kołami których obwody wieńców mają zarys elipsy, owalu, tarcz nieokrągłych. Ważny problem w upowszechnieniu tego typu napędów stanowi opracowanie niezawodnych metod projektowania, wytwarzania, pomiarów cech geometrycznych i stereometrii powierzchni oraz badań eksploatacyjnych. Zagadnienia projektowania nieokrągłych kół pasowych opisano w pracach [1, 2]. Eksperymentalną, stykową metodę pomiarów cech geometrycznych i stereometrii powierzchni pasowych kół nieokrągłych zawarto w pracy [3]. Natomiast ocenę zjawisk cieplnych zachodzących w przekładniach nierównobieżnych zaprezentowano w pracy [4]. Popularność, stosunkowo niskie koszty oraz czas wykonywania procedur pomiarowych metod optycznych wskazują na celowość ich zastosowania w ocenie cech geometrycznych nieokrągłych kół pasowych.



Rys. 1. Dwukołowa nierównobieżna przekładnia cięgnowa z pasem zębatym
Fig. 1. Two pulleys uneven strand transmission with cog-belt

2. Charakterystyka problematyki badawczej

Podstawowym celem pracy jest dobór optymalnej metody oceny cech geometrycznych nietypowych elementów maszyn, jakimi są nieokrągłe koła pasowe. Jako kryterium oceny tego wyboru przyjęto dokładność pomiaru, czas oraz koszty badań i aparatury pomiarowej. Rzetelność wyników pomiarów ma bezpośredni wpływ na procesy i zjawiska zachodzące podczas sprzężenia pasa zębatego z nieokrągłymi kołami pasowymi. W przekładni takiej proces sprzężenia kształtowo-ciernego cechuje się istotnymi różnicami wynikającymi z odmiennych cech geometrycznych kół (eliptycznych, owalnych) (rys. 2) oraz odmiennych cech kinematycznych [5].



Rys. 2. Przykładowe nieokrągłe koła pasowe wykonane na uniwersalnej frezarce CNC

Fig. 2. Exemplary non-circular cogbelt pulleys manufactured with the use of versatile NC milling machine

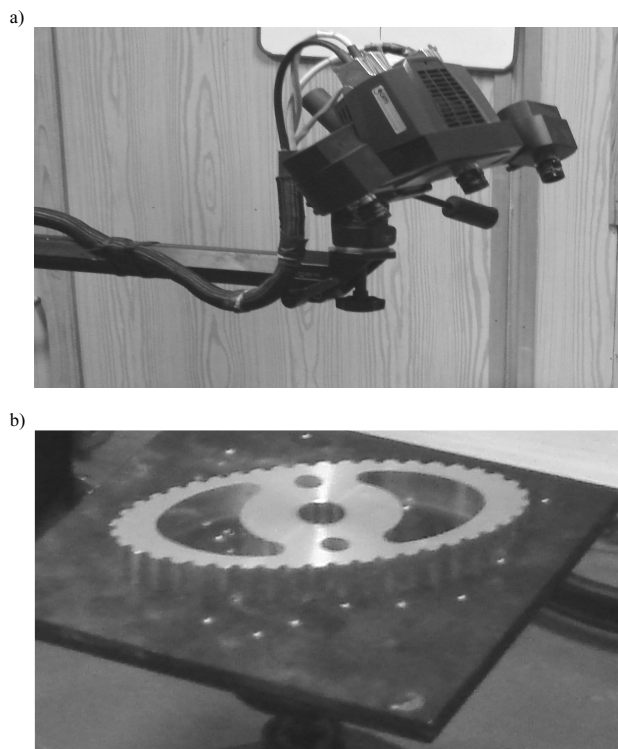
W wyniku zastosowania numerycznych metod obliczeniowych wyznaczone zostały zarisy podziałowe kół nieokrągłych. W procesie tym musiało zostać spełnionych kilka warunków poprawnej pracy przekładni, wśród których można wymienić: zapewnienie stałej długości opasania równej długości pasa zębatego, długości obwodów kół przekładni muszą być wielokrotnościami podziałki pasa, stosunek obwodów kół przekładni dwukółowej musi być liczbą całkowitą. Kolejny etap opracowania procesu technologicznego to wyznaczenie współrzędnych środków wrębów kół. Zadanie to można wyznaczyć drogą całkowania numerycznego. Tak przygotowany wektorowy model dwuwymiarowy koła nieokrągłego przekształca się w parametryczną, bryłową reprezentację 3D (rys. 4a).

Na podstawie modelu 3D opracowuje się programy sterujące dla maszyn NC. Dla kół pokazanych na rysunku 2 opracowano technologie ich wykonania z zastosowaniem następujących metod:

- kształtowa,
- obwiedniowa,
- kształtująca (zestaw frezów palcowych, wycinanie drutem, wodą ze ścierniwem, cięcie gazem),
- spiekane proszki metali,
- rapid technologie.

3. Stanowisko badawcze i metodyka pomiarów

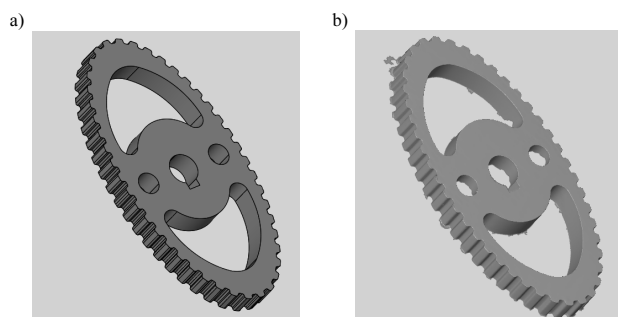
W procesie pomiaru cech geometrycznych zastosowano dwie metody: współrzędnościową i optyczną. Pierwszą z nich szczegółowo zaprezentowano w pracy [3]. Jako drugą zastosowano procedurę pomiarowo-kontrolną o nazwie Rapid Inspection. Polega ona na porównaniu wytworzonych części lub zespołów poprzez nałożenie na siebie modelu CAD oraz modelu powierzchniowego powstałego w wyniku digitalizacji. Istniejące różnice można łatwo wyznaczyć dzięki ich zobrazowaniu przez barwną mapę odchyłek. Należy pamiętać, że metoda ta jest również obciążona błędem metodycznym wynikającym zarówno z dokładności skanowania jak i poprawności dopasowania modeli. Jest to szczególnie istotne podczas analizy modeli złożonych na przykład elementów wytwarzanych w procesach obróbki plastycznej.



Rys. 3. Pomiary optyczne nieokrągłych kół pasowych: a) skaner optyczny, b) obiekt mierzony

Fig. 3. Optical measurements of non-circular cogbelt pulleys: a) optical scanner, b) measured object

Metodą optyczną można wyznaczyć dokładność odwzorowania cech geometrycznych wyrobów wykonanych dowolną techniką kształtowania (obróbka skrawaniem, obróbka plastyczna, metody przyrostowe itp.). W opisywanym przykładzie zastosowano skaner optyczny ATOS firmy GOM (rys. 3). Urządzenie to wykorzystuje zasadę triangulacji polegającą na dyslokacji złożonych modeli geometrycznych na trójkąty. Procedura pomiaru polega na wyznaczeniu współrzędnych punktu pomiarowego na podstawie znanego położenia dwóch kamer. Możliwe jest dowolne przemieszczanie kamer względem mierzonych obiektów.



Rys. 4. Model bryłowy nieokrągłego koła pasowego zaprojektowany w systemie CAD (a), model powierzchniowy uzyskany w wyniku digitalizacji koła wykonanego na uniwersalnej frezarce CNC (b)

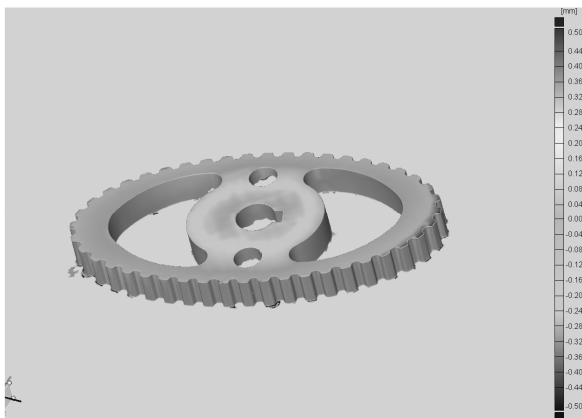
Fig. 4. Solid model of non-circular cogbelt pulley prepared in CAD system (a), shell model acquired as a result of digitalization of gear model manufactured with versatile NC milling machine (b)

Proces przygotowania danych do analizy w systemie optycznym ATOS przebiegał następująco:

- import modelu 3D koła nieokrągłego,
- dopasowanie zeskanowanego modelu koła do modelu CAD,
- porównanie modeli kół,
- przeprowadzenie analizy porównawczej i przygotowanie protokołów (rys. 6).

Dla celów analizy porównawczej z metodą opisaną w pracy [3] do modelu koła wprowadzono trzy przekroje inspekcyjne prostopadle do osi obrotu koła.

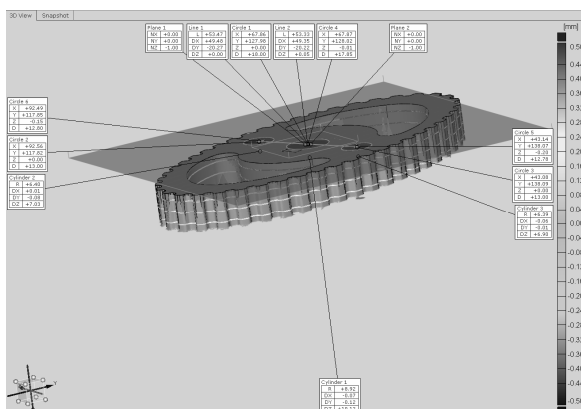
Ważnym etapem weryfikacji cech geometrycznych wykonanych kół pasowych jest wybór kryteriów cech podlegających ocenie. Z uwagi na fakt, że w dostępnym piśmiennictwie brak jest wskazówek oraz zaleceń do opracowania procedur pomiarowych odnośnie nieokrągłych kół pasowych możliwe jest tylko porównanie uzyskanych wyników z wymaganiami zawartymi w aktach normatywnych dotyczących kół pasowych okrągłych. W Polskiej Normie PN-84/M85211 zawarte są informacje dotyczące wymagań odnośnie kół pasowych okrągłych o zarysie trapezowym. W normie ISO 13050 podane są wybrane informacje dotyczące wymaganych cech geometrycznych okrągłych kół pasowych o zarysie ewolwentowym i półokrągłym. Jednakże szereg producentów kół i pasów wykonuje je według własnych niepublizowanych standardów.



Rys. 5. Porównanie modelu CAD zastosowanego w procesie programowania frezarki CNC z modelem koła eliptycznego powstałego w wyniku digitalizacji

Fig. 5. Comparison of CAD model used in NC milling machine programming and model of elliptical gear formed as a result of digitalization

Stanowi to istotne ograniczenie w ich produkcji dla potencjalnych konkurentów. Dlatego dla tych zarysów zębów niezbędne jest wypracowanie kryteriów ich oceny. W zadaniu badawczym nieodzowne stało się więc przeprowadzenie dwóch etapów. Pierwszego polegającego na wstępnym przyjęciu zakresu dopuszczalnych odchyłek cech geometrycznych kół. Natomiast drugim była weryfikacja na stanowiskach doświadczalnych z zastosowaniem nowoczesnej aparatury i aktualnych metod pomiarów, np. kamera termowizyjna, szybkorejestrująca itp. Wskazane jest również prowadzenie analiz współpracy kół z pasem zębatym z zastosowaniem metody elementów skończonych, nie jak dotychczas współpracy pojedynczych zębów koła z wrębem pasa, lecz „całej” przekładni cięgnowej. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy protokół inspekcyjny koła o zarysie elipsy. Widoczne są przekroje inspekcyjne wprowadzone do oceny dokładności odwzorowania zaprojektowanych cech geometrycznych koła.



Rys. 6. Protokół pomiarowo-kontrolny z analizy nieokrągłego koła pasowego

Fig. 6. Test report from the analysis of non-circular cogbelt pulley

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono próbę zastosowania pomiarów optycznych do oceny poprawności odwzorowania zaprojektowanych cech geometrycznych przekładni nierównobieżnej z pasem zębatym. Przeprowadzone badania wykazały, celowość zastosowania tej metody pomiarów. Zaletą przyjętego rozwiązania jest znaczne zmniejszenie czasu pomiarów w stosunku do weryfikacji metodą stykową. Wyniki pomiarów zostaną wykorzystane do jednoznacznego opisu wpływu metod kształtowania uzębienia na postać geometryczną pasowych kół nieokrągłych. Wykonane różnymi metodami uzębienia kół nieokrągłych (rys. 2) zostały porównane według opracowanych kryteriów, na które składają się: poprawność odwzorowania zaprojektowanych cech geometrycznych i stereometrii powierzchni, złożoność przygotowania procesu technologicznego, koszt wytworzenia określonej partii kół. W celu przeprowadzenia tych analiz wykonano eksperymentalne sprawdzenie poprawności wykonania kół. Potrzeba prowadzenia różnych metod badań eksperymentalnych wynika bezpośrednio z braku wymagań dotyczących standaryzacji w zakresie dokładności odwzorowania cech geometrycznych jak i stereometrii powierzchni nieokrągłych kół zębatych i pasowych. Koła takie znajdują coraz szersze zastosowanie zarówno w technice sterowania jak i napędowej. Niezbędne staje się opracowanie założeń do opracowania takich standardów. Do pomiarów cech geometrycznych wykorzystano optyczny zestaw ATOS firmy GOM. Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że w zakresie cech geometrycznych niewskazane jest wykonywanie nieokrągłych kół pasowych metodą wycinania laserowego. Metoda ta cechuje się niskimi kosztami, ale z uwagi na koncentrację ciepła wytwarzanego podczas obróbki następuje deformacja zębów uniemożliwiająca poprawny montaż pasa zębatego. Formowanie obwiedni kół z zastosowaniem wycinarki drutowej odznacza się poprawnością odwzorowania cech geometrycznych, jednakże wadą tego rozwiązania jest stosunkowo wysoki koszt obróbki wynikający bezpośrednio z długości obwiedni kół. Wad tych pozbawione jest kształtowanie kół z zastosowaniem cięcia wodnego ze ścierniwem. Uzyskane w wyniku pomiarów cech geometrycznych parametry nie przekraczają wartości stosowanych w ocenie cech jakościowych okrągłych kół pasowych. W zakresie metod ubytkowych badania przeprowadzono dla procesu kształtowania zestawem frezów palcowych, metodą kształtową frezem kształtowym i narzędziem dwuostrzowym. Wyniki badań wskazują, że, zastosowanie trzech frezów palcowych pozwala uzyskać żądaną tolerancję cech geometrycznych. Obróbka kół eliptycznych z zastosowaniem jednego freza kształtowego stwarza niebezpieczeństwo niedokładności odwzorowania zaprojektowanych cech geometrycznych i wymagana jest obróbka wykańczająca. Zastosowanie narzędzia dwuostrzowego korzystniej wpływa na dokładność zachowania zaprojektowanych cech geometrycznych kół, ale wymaga zachowania wysokiej jakości sprzężenia pomiędzy obrotami wrzeciona i obrotem stołu. Nie wszystkie uniwersalne frezarki CNC zapewniają odpowiednią jakość tej korelacji. Metoda obwiedniowa np. dłutowanie Fellowsa wymaga opracowania złożonego procesu technologicznego oraz zastosowania „unikatowych” na polskim rynku dłutownic Fellowsa sterowanych numerycznie.

5. Literatura

- [1] Przegląd Mechaniczny, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, nr 4, 2005.
- [2] Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, Komisja Budowy Maszyn PAN. Oddział Poznań, nr 2, 2005.
- [3] Measurement Automation and Monitoring nr 6, 2009.
- [4] Measurement Automation and Monitoring nr 11, 2009.
- [5] Machine Dynamics Problems, Institute of Machine Design Fundamentals Warsaw University of Technology, nr 1, 2008.

otrzymano / received: 10.02.2010

przyjęto do druku / accepted: 15.03.2010

artykuł recenzowany