

Eksperymentalna weryfikacja współpracy przekładni stożkowej wykonywanej na uniwersalnej 4-osiowej frezarce CNC

Experimental verification of tooth contact pattern in bevel gear transmission produced on universal 4-axis CNC milling machine

PIOTR BŁAZUCKI
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.40

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Opisano sposób badania śladu współpracy przekładni stożkowych wykonywanych na uniwersalnych obrabiarkach CNC. Zaproponowano taką metodę, by uniknąć demontażu zębniaka z obrabiarki. Przedstawiono projekt, wykonanie i testowanie specjalnego oprzyrządowania potrzebnego do realizacji zaproponowanej metody kontroli przekładni.

SŁOWA KLUCZOWE: koła zębate stożkowe, CNC, ślad współpracy

Described is method of examination of tooth contact in bevel gears machined on universal CNC machines. Innovative in the method is in that the gear in process needs not to be unloaded from the milling machine. Presented are engineering design, production process and test procedure for the special tool set as required to perform the examination.

KEYWORDS: bevel gears, CNC, tooth contact pattern

Projektowanie i wytwarzanie przekładni stożkowych jest bardzo złożone. Wynika to z konieczności prowadzenia spójnych obliczeń konstrukcyjno-technologicznych oraz ze złożoności układów kształtujących, które zazwyczaj mają charakter hipoidalny [1]. Konwencjonalne metody wykonywania kół stożkowych o zębach krzywoliniowych musiały zatem umożliwić zbudowanie takiego układu na podstawie obliczeń ustawczych maszyny.

O jakości przekładni i poprawności przebiegu procesu produkcyjnego świadczy szereg parametrów. Najważniejszym z nich jest tzw. ślad współpracy. Określa się jego kształt, położenie i wielkość bez obciążenia (TCA – *tooth contact analysis*) oraz pod obciążeniem (LTCA – *loaded tooth contact analysis*). Można go oceniać różnymi metodami. Podczas procesu projektowego przydatne są narzędzia CAD i MES [2]. Pozwalają one na wyznaczenie teoretycznego śladu współpracy wynikającego z nominalnej geometrii przekładni i na wstępną ocenę jej jakości. Jednakże, ze względu na złożoność procesu nacinania przekładni (składającego się często z frezowania i ze szlifowania), najdokładniejszą ocenę otrzymuje się na podstawie badania rzeczywistego obiektu na urządzeniach do kontroli par zębatych. Najprostsze badanie śladu współpracy można przeprowadzić za pomocą tzw. kontrolerki (rys. 1).

Badanie polega na pokryciu kół tuszem, a następnie odtaczaniu przekładni w ustawieniu zerowym (tzn. nominalnym – bez odchyłek związanych z montażem). Miejsca, w których tusz wyciera się na skutek kontaktu, określane są śladem współpracy. Jest to badanie bez obciążenia. Jeśli ślad współpracy jest niezadowolający, możliwe jest wprowadzenie poprawek w procesie nacinania i skorygowanie uzyskanego śladu. Jeżeli korekta wymaga przeprowadzenia obróbki z nieznacznie zmienionymi nastawami



Rys. 1. Badanie śladu współpracy na kontrolerce [2]

obrabiarki, zębniak jest ponownie bazowany w obrabiarce i obrabiany. Metoda ta znajduje zastosowanie jedynie w produkcji przekładni na obrabiarkach mechanicznych i numerycznych przeznaczonych do obróbki przekładni stożkowych (Gleason, Klingenberg, Saratov). P frezowania przekładni na obrabiarkach uniwersalnych, które jest coraz częściej spotykane, zwłaszcza w przypadku dużych przekładni, wprowadzenie korekt po kontroli jest praktycznie niemożliwe. Ze względu na charakter obróbki (zastosowanie interpolacji liniowych i kołowych przy frezowaniu) w razie uzyskania negatywnego wyniku kontroli śladu współpracy konieczne jest ponowne obrobienie zębniaka.

W klasycznych obrabiarkach ponowne ustawienie elementu w obrabiarce odbywa się przez zazębienie głowicy nożowej z obrabianym detalem, tak jak był on obrabiany pierwotnie. W przypadku obróbki frezami uniwersalnymi [3] zdjęcie detalu z obrabiarki powoduje, że konieczne jest jego wykonanie od nowa. Możliwość przeprowadzenia badania śladu współpracy bez zdejmowania detalu z obrabiarki przyniosłaby więc znaczne korzyści.

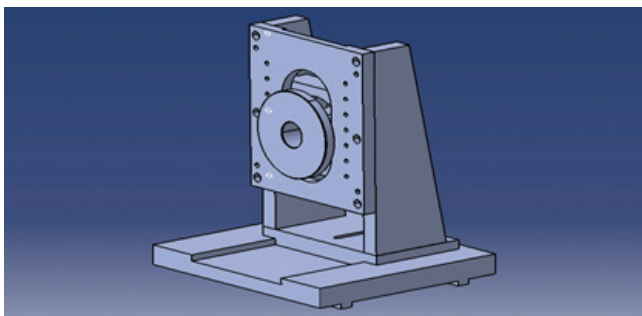
Podstawą do wykonywania kół stożkowych na uniwersalnych obrabiarkach CNC jest model 3D CAD kół [5]. Niezależnie od wybranej metody modelowania [6], można wykorzystać zbudowany model do generowania ścieżek obróbkowych w programie CAM. Niewłaściwy ślad współpracy oznacza – w uproszczeniu – że w danym miejscu na kole bądź zębniaku rozłożenie materiału jest nieprawidłowe. Mając model 3D przekładni oraz znając wynik badania śladu współpracy (wirtualny albo rzeczywisty), można na różne sposoby modyfikować geometrię uzębienia. Każda metoda modelowania (bryłowa, powierzchniowa), w której poprawę geometrii da się uzyskać przez zmniejszenie objętości modelu (tzn. usunięcie materiału), pozwala na wygenerowanie nowego kodu obróbkowego korygującego wcześniej wyfrezowany zębniak. Aby można było taką poprawkę wprowadzić, zębniak nie może zostać wymontowany z obrabiarki. Głównymi celami pracy były więc sprawdzenie, w jakim zakresie możliwe jest przeprowadzenie badania śladu współpracy

* Mgr inż. Piotr Błazucki (blazerp@o2.pl), dr inż. Przemysław Siemiński (p-sieminski@wp.pl) – Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej

przekładni bez zdejmowania zębniaka, oraz ocena wiarygodności takiego pomiaru.

Opracowanie koncepcji oprzyrządowania do kontroli przekładni w przestrzeni roboczej obrabiarki

Do weryfikacji śladu współpracy na frezarce CNC zaprojektowano przyrząd, który po zainstalowaniu we wnętrzu maszyny pozwala przekształcić ją w kontrolerkę. Projekt tego przyrządu został wykonany dla 4-osiowej obrabiarki Avia VMC 650 (rys. 2).

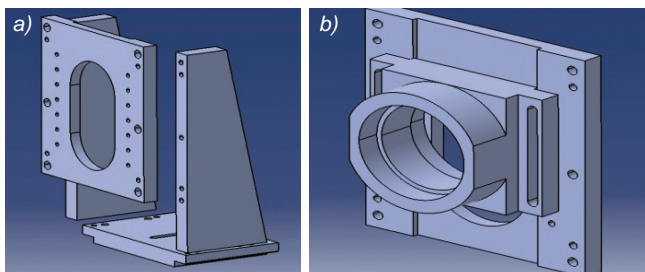


Rys. 2. Model przyrządu do badania śladu współpracy w obrabiarence

Projekt i wykonanie przyrządu

Projekt przyrządu do kontroli wykonano w programie Catia V5. Model 3D obejmował piasty kontrolerki (elementy mocujące badane koło), uchwyt piasty oraz kolejne elementy podtrzymujące konstrukcję: przednią ścianę, boczne wsporniki, podstawę bocznych wsporników (pracującą jako element przesuwny w osi Y), a także główną podstawę (rys. 3). Podstawa przyrządu stanowiła prowadnicę dla podstawy wsporników przy regulacji urządzenia w kierunku osi Y oraz zapewniała prowadzenie całości urządzenia przy regulacji położenia kontrolerki w kierunku osi X. Na dolnej stronie podstawy zamodelowano kamienie ustalające ją w kierunku osi X, dopasowane do rowków w stole obrabiarki.

W osi Z prowadzenie zapewniała przednia płyta z rowkiem będącym elementem ustalającym mocowanie piasty. Ustalenie płyty względem wsporników zrealizowano za pomocą kołków $\varnothing 8$ m6. Do pozycjonowania wsporników względem ich podstawy również wykorzystano kołki. Przyrząd został zaprojektowany do współpracy z centrum frezarskim VMC 650 oraz stołem obrotowym będącym na wyposażeniu Warsztatu Instytutu Podstaw Budowy Maszyn PW. Nominalną wysokość osi piasty w zaprojektowanej kontrolerze przyjęto jako 207 mm (wysokość osi stołu obrotowego). Przewidziano możliwość regulacji położenia osi nawet o 80 mm (30 mm w dół i 50 mm w górę), aby podczas badania możliwe było skorygowanie wysokości osi koła, jak również testowanie przekładni hipoidalnych.



Rys. 3. Przednia płyta przyrządu ze wspornikami i podstawą (a). Przednia płyta (widok z tyłu) ze współpracującą z nią piastą (b)

Eksperymentalna weryfikacja zaproponowanej metody badania śladu współpracy

Aby zweryfikować postawioną tezę, że możliwe jest badanie śladu współpracy przekładni bez zdejmowania zębniaka z obrabiarki i sprawdzania działania przyrządu, zdecydowano się na wykonanie testów na przekładni z samochodu BMW o przebiegu ponad 150 000 km. Wybór taki był podyktowany dokładnością wykonania przekładni oraz długim okresem docierania. Dzięki temu ślad współpracy miał znany kształt i położenie. W tym przypadku był to wysoki ślad na całej szerokości wieńca. W celu dokładnego ustawienia przyrządu (gwarantującego zachowanie odległości montażowych) przeprowadzono pomiary obudowy testowej przekładni na maszynie współrzędnościowej [4].

Po założeniu przekładni wstępnie ją ustawiono za pomocą przyrządów suwmiarkowych (suwmiarki i wysokościomierza suwmiarkowego), następnie wprowadzono poprawki z użyciem sondy pomiarowej.

W pierwszej próbie otrzymano krzyżowy ślad współpracy. Taki ślad świadczy o niewłaściwym ustawieniu wysokości osi koła względem zębniaka podczas badania [1]. Po skorygowaniu położenia koła wykonano nowy pomiar i otrzymano ślad współpracy zgodny z oczekiwaniami.

Podsumowanie

Przeprowadzone próby wykorzystania zaprojektowanego przyrządu pokazały, że jego użytkowanie jest możliwe i względnie nieskomplikowane. Konstrukcja pozwala na przeprowadzenie testu bez konieczności zdejmowania elementu z obrabiarki. Możliwe jest wykonywanie obróbek po zamontowaniu podstawy przyrządu.

Ze względu na charakter obróbki na uniwersalnych frezarkach (generowanie obróbek dla wybranego fragmentu elementu) możliwość przeprowadzenia badania na maszynie pozwoli na stosowanie nowych rozwiązań w zakresie wprowadzania poprawek w zarysie uzębienia. Przy odpowiedniej korekcie geometrii w środowisku CAD można zmodyfikować część boku zęba bez naruszania fragmentu, na którym ślad współpracy jest akceptowalny. W Instytucie Podstaw Budowy Maszyn PW wykonany przyrząd sprawdza się również w roli tradycyjnej kontrolerki i był używany do badania prototypowych makiet przekładni wytworzonych metodami przyrostowymi z polimerów.

LITERATURA

- Skawiński P. „Integracja projektowania i wytwarzania kół zębatych stożkowych o zębach kołowo-lukowych”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010.
- Płocica P., Marciniak A., Pisula J., Połowniak P. „Doświadczalna weryfikacja symulacji obróbki i współpracy stożkowych przekładni lotniczych”. *Mechanik*. Nr 2 (2015): CD.
- Skawiński P., Siemiński P. „Modelowanie uzębienia przekładni stożkowej o kołowo-lukowej linii zęba oraz jego obróbka na frezarce sterowanej numerycznie”. *Mechanik*. Nr 11 (2004): CD.
- Błazucki P. „Modelowanie obróbki przekładni stożkowych typu Gleason z wykorzystaniem symulacyjnych modeli CAD na uniwersalnej frezarce CNC”. *Mechanik*. Nr 2 (2015): CD.
- Siemiński P. „Wirtualna analiza dokładności frezowania zębów kół przekładni stożkowych o krzywoliniowej linii zębów na uniwersalnych obrabiarkach CNC programowanych w systemie 3D CAM”. *Mechanik*. Nr 12 (2013): CD.
- Marciniak A., Pisula J., Płocica M., Sobolewski B. „Projektowanie przekładni stożkowych z zastosowaniem modelowania matematycznego i symulacji w środowisku CAD”. *Mechanik*. Nr 7 (2011): s. 602-605.