



Artykuł promocyjny

Certyfikacja oprogramowania do pomiaru kół zębatach

Carl Zeiss mierzy na współrzędnościowych maszynach pomiarowych koła zębata od zarania współrzędnościowej techniki pomiarowej w 1975 r. Pierwszym celem opanowania tej techniki pomiarowej było zautomatyzowanie przebiegów pomiarowych. Koło zębata potraktowane zostało podobnie jak standardowy element geometryczny (np. walec). Kolejną fazą rozwojową było wprowadzenie algorytmów automatycznej oceny zmierzonych stykowo punktów pomiarowych, co wcześniej wykonywano metodami ręcznymi. Odpowiednio do zadanych tolerancji wyznaczane były parametry linii zęba, profilu, podziałki i bicia. Równolegle opracowany został protokół graficzny, umożliwiający przedstawienie wszystkich uzyskanych wyników pomiarów na jednym arkuszu. W ubiegłym roku oprogramowania do pomiaru kół zębatach Gear pro i GON UX uzyskały nowo ustanowiony certyfikat niemieckiego PTB^{*)}

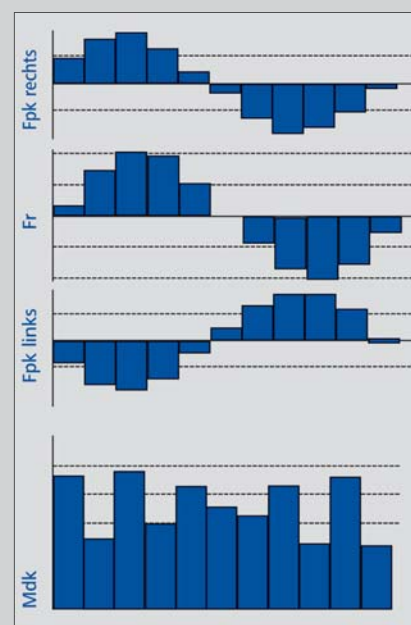
Wdrożenie automatycznej oceny wyników pomiarów pozwoliło na porównywanie rezultatów uzyskiwanych na różnych urządzeniach. Wyniki pomiarów różniły się między sobą bardziej, niż oczekiwano, co, jak sądzono, wynikało w głównej mierze z przyjmowania różnych baz pomiarowych. Podczas gdy konwencjonalne urządzenia pomiarowe mierzyły w odniesieniu do osi kłów centrujących i konika, współrzędnościowe maszyny pomiarowe bazują na użytkowych osiach funkcyjnych (np. na osi czopów łożyskowych). Przeprowadzone w 1984 r. pomiary porównawcze na różnych urządzeniach, w których zastosowano specjalne koła testowe o konstrukcji pozwalającej na jednoznaczne określenie elementów bazowych, również nie dały wystarczająco porównywalnych wyników w odniesieniu do wymaganych tolerancji parametrów uzębienia.

■ Porównywalność pomiarów. W grupie roboczej VDI^{**)} „Pomiary kół zębatach i przekładni” prowadzone były – m.in. przy współdziałaniu Carl Zeiss – prace nad zagadnieniami porównywalności pomiarów. Rozdzielono kwestie samych pomiarów (sondowania punktów pomiarowych) i oceny wyników mierzonych parametrów. W kwestii mocowania mierzonych części i techniki sondowania punktów pomiarowych przyjęto takie same zasady, jakie obowiązują przy pomiarach innych części na współrzędnościowych maszynach pomiarowych. Czynniki wpływające na wynik pomiaru podzielone zostały w zależności od charakteru ma ogólne oraz specyficzne dla sposobu sondowania punktów pomiarowych. Do czynników ogólnych zalicza się warunki otoczenia, z których najistotniejsza jest temperatura. Czynniki ogólne nie są zależne od specyfiki koła zębatego. Ich wpływ na wynik pomiaru może być oceniony poprzez badania podatności urządzenia pomiarowego na czynniki zewnętrzne. Do czynników specyficznych dla sposobu sondowania punktów pomiarowych należą: nacisk pomiarowy, kierunek natarcia na powierzchnię mierzoną, prędkość pomiaru oraz gęstość punktów pomiarowych. W kwestii tych czynników panuje dość powszechna opinia, że są one w pełni specyficzne dla typu i wielkości uzębienia. Wynika to z faktu, że początkowo do pomiarów kół zębatach stosowane były tylko specjalizowane urządzenia pomiarowe, w których końcówka pomiarowa prowadzona była po mechanicznie odwzorowanej, ewolwentowej powierzchni śrubowej, wyznaczonej z teoretycznych zależności matematycznych.

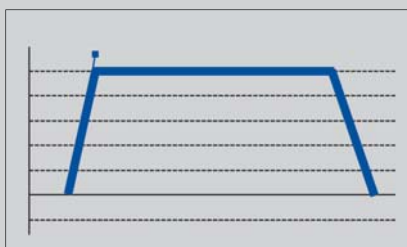
■ Optymalizacja oprogramowania do oceny wyników pomiaru. Przy pomiarze koła zębatego tylko oprogramowanie do oceny wyników pomiarów należy do grupy czynników zależnych od specyfiki uzębienia. Do testowania dokładności oprogramowania oceniającego w grupie roboczej VDI zostało zdefiniowane specjalne łącze, służące do konwertowania danych pomiarowych na format ASCII. Dane pomiarowe mogą pochodzić z rzeczywistości wykonanych pomiarów, bądź też mogą być symulowane matematycznie. Dane testowe powinny być tak zbudowane, aby za pomocą możliwie małej liczby plików można było sprawdzić dokładność jak największej liczby różnych algorytmów, służących w sprawdzanym oprogramowaniu do oceny parametrów pomiaru koła zębatego. Rys. 1 ÷ 3 przedstawiają przykładowe diagramy odchyłki linii zęba, odchyłki profilu, podziałki i bicia promieniowego. W żadnym oprogramowaniu oceniającym nie powinno raczej być problemów z obliczeniem bezbłędnych diagramów odchyłki linii zęba na podstawie plików zawierających nominalne dane testowe uzębienia.

^{*)} PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt – Federalny Urząd Fizyczno-Techniczny; polskim odpowiednikiem tej instytucji jest Główny Urząd Miar

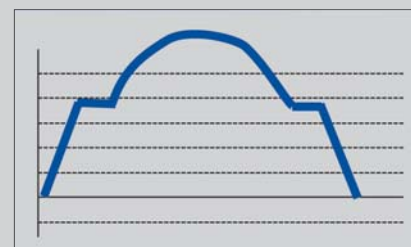
^{**)} VDI – Verein Deutscher Ingenieure – Zrzeszenie Inżynierów Niemieckich



Rys. 2. Diagram oceny odchyłek podziałki i bicia promieniowego



Rys. 1. Diagram oceny odchyłek profilu



Rys. 3. Diagram oceny odchyłek linii zęba

Do właściwej oceny sprawności oprogramowania oceniającego potrzebne są odchyłki generowane za pomocą matematycznej symulacji wyników pomiarowych. W generowanych plikach testowych można symulować zbiory punktów pomiarów, które są ekstremalnie „niewygodne” dla algorytmów obliczeniowych sprawdzanego oprogramowania oceniającego. Celowo generowane są odchyłki na punktach pomiarowych leżących na granicach oceny, które znacząco wpływają na obliczane wyniki. Sprawdzane jest też na przykład, czy wszystkie punkty pomiarowe leżące na liniach granicznych uwzględniane są w ocenie odchyłek linii i zarysu. Oprócz tego przy wyznaczaniu odchyłki kształtu podczas oceny baryłkowatości musi być uwzględniona baryłkowatość nominalna uzębienia. Inny plik danych testowych przeznaczony jest do uzębień wewnętrznych – do sprawdzania właściwego zwrotu obliczanych odchyłek.

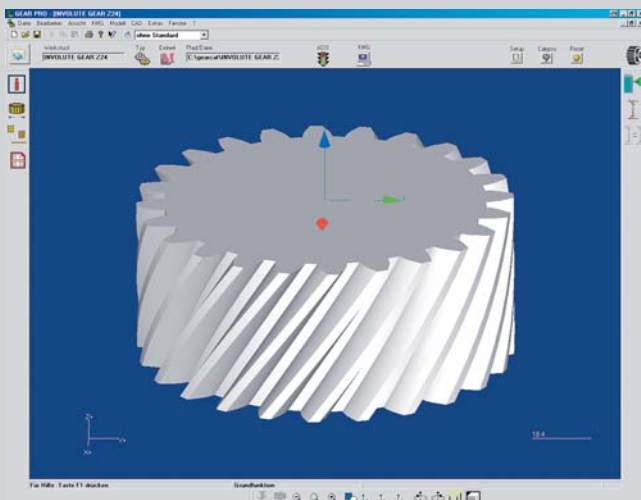
■ **Ocena poszczególnych parametrów koła zębatego.** Ocena podziałki nie budzi zastrzeżeń. Przy biciu promieniowym powstają błędne wyniki, ponieważ niewłaściwie skorygowane zostały: grubość zęba lub przesunięcie pozycji kulki pomiarowej wskutek występującej odchyłki podziałki. Te błędy oceny uwidaczniają się szczególnie przy kołach zębatych o nieparzystej liczbie zębów, dużym module i ponadprzeciętnym poziomie odchyłek wykonawczych. Do testów używa się też danych dla uzębień o bardzo dużej liczbie zębów. Stosowane są dane o bardzo małych i bardzo dużych odchyłkach parametrów, aby określić przyczyny możliwych różnic w wynikach pomiarów. Do tego służy też zróżnicowany rozkład odchyłek na lewych i prawych bokach zębów. Przy podobnych tendencjach rozkładu obliczonych odchyłek na obu bokach zębów mamy do czynienia z błędem bicia promieniowego przy stosunkowo wyrównanej grubości zębów. W przeciwnym razie przyczyną błędów są różnice w grubości zębów. Procedura certyfikacyjna obejmuje łącznie obliczenie wyników z jedenastu plików testowych. Trzy z nich dotyczą poprawności obliczania odchyłek linii zęba, dwa – odchyłek profilu, sześć – odchyłek podziałki i bicia promieniowego. W sumie obliczanych jest 80 wartości parametrów, z czego 24 dotyczą linii zęba, 14 profilu oraz po 7 wartości obliczanych z każdego pliku testowego stosowanego do sprawdzania dokładności algorytmów wyznaczania odchyłek podziałki.

■ **Dokładność oprogramowania.** Federalny Urząd Fizyczno-Techniczny (PTB) w Brunzwicku jest kompetentną i neutralną jednostką naukowo-badawczą, która w ramach zdefiniowanego projektu badawczego stworzyła referencyjne oprogramowanie do badania dokładności oprogramowań do oceny wyników pomiaru kół zębatych. Wytyczne dotyczące dokładności oceny linii zęba i profilu bazują na normie DIN 3960 oraz dyrektywie VDI 2607, zaś podziałki i bicia promieniowego – na normie DIN 3960 i dyrektywie VDI 2613. Wyniki obliczone za pomocą oprogramowania do pomiaru i oceny kół zębatych nie mogą różnić się od właściwych im wartości nominalnych o więcej niż 0,0001 mm. Taki warunek dotyczy dokładności oceny wyników pomiaru i stawiany jest też certyfikowanym oprogramowaniom do pomiarów geometrii regularnych (np. okrąg). Wymagania PTB w zakresie certyfikacji oprogramowań do oceny wyników pomiarów współrzędnościowych maszyn pomiarowych zmuszają ich twórców do tworzenia algorytmów gwarantujących dokładność obliczeniową w zakresie nanometrycznym.

Oprogramowania pomiarowe do pomiarów kół zębatych **Gear pro** (rys. 4) i **GON UX** wyposażone są w łącza, które umożliwiają wczytywanie danych testowych PTB. Wyniki pomiarowe wyznaczane są w protokole z dokładnością do pięciu miejsc dziesiętnych. Oba te pakiety oprogramowania, stworzone przez firmę **Carl Zeiss**, uzyskały wymagane przez PTB wyniki oceny pomiarów kół zębatych; dla wszystkich przypadków testowych uzyskano wymagane dokładności. We wrześniu 2004 r., podczas konferencji *Accurate Gear Metrology* zorganizowanej przez PTB, producent oprogramowań **Gear pro** i **GON UX** uzyskał pierwszy certyfikat wśród producentów współrzędnościowych maszyn pomiarowych na oprogramowanie do pomiaru kół zębatych. Pierwszą stroną certyfikatu przedstawia rys. 5.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt		PTB
Braunschweig und Berlin		
		
Bericht Report		
Gegenstand: Objekt	Testdaten für evolventische Zylinderauswertungen Testdata for evolventic involute gear geometry	
Hersteller: Hersteller	Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH 73447 Oberkochen	
Typ: Type	GearPro Revision 2.4	
Gerätenummer: Serial number	—	
Antragsteller: Applicant	Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH 73447 Oberkochen	
Anzahl der Seiten des Berichtes: Number of pages of the report	4	
Geschäftszeichen: Reference No.	PTB-5.33-04.050	
Prüfzeichen: Test mark	—	
Datum der Prüfung: Date of test	2004-09-08	
Im Auftrag In order	Braunschweig, 2004-09-24	Bearbeiter: Examined:
 Dr.-Ing. Franz Wöckle Director and Professor		 Dr.-Ing. Frank Härtig
<small>Berichte ohne Unterschrift und ohne Siegel haben keine Gültigkeit. Dieses Bericht darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Reports without signature and seal are not valid. This report may not be reproduced other than in full except with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.</small>		

Rys. 5. Certyfikat PTB przyznany za oprogramowanie **Gear pro** jego producentowi, firmie Carl Zeiss



Dr. Karl Buschhoff,
Carl Zeiss IMT GmbH, Oberkochen, D&R Software
Opracowanie wersji polskiej – Marek Nocun,
Carl Zeiss Sp. z o.o., Warszawa

Carl Zeiss Sp. z o.o.
Segment Industrielle Messtechnik
ul. św. Andrzeja Boboli 8/4, 02-525 Warszawa
tel. (22) 881 02 49, 881 02 50
fax (22) 848 23 53, e-mail: imt@zeiss.pl
www.zeiss.pl www.zeiss.de/imt