

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ ŁÓDŹ - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Badania błędnych ruchów wrzecion szlifierek

Grindings spindle error movements' inspection

KRZYSZTOF JEMIELNIAK
 JAROSŁAW CHRZANOWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.358

W artykule opisano adaptację sprzętu i oprogramowania do badań błędnych ruchów wrzecion szlifierek bez użycia precyzyjnego wzorca. Elementem odniesienia dla czujników może być dowolna (nie dokładna) obracająca się powierzchnia wrzeciona szlifiarki. Ponieważ błędy kształtu czy chropowatość powierzchni nie są błędami ruchu, w opracowanej metodzie, dzięki specyfice pomiarów i zastosowanych algorytmów możliwe jest określenie rzeczywistej wartości błędnych ruchów wrzeciona szlifiarki. Opracowana metoda została sprawdzona w praktyce.

SŁOWA KLUCZOWE: błędne ruchy wrzeciona, dokładność obrabiarki, diagnostyka obrabiarek

This article describes the adaptation of hardware and software for grinding spindle error movements' measurement without the use of precision target. Reference for the sensor element can be any (inaccurate) rotating spindle's surface. Because the shape or surface roughness are not error movements, thanks to the specificity of measurements and applied algorithms, in developed method it is possible to determine the actual value of the real error movements of the spindle. The developed method has been tested in practice.

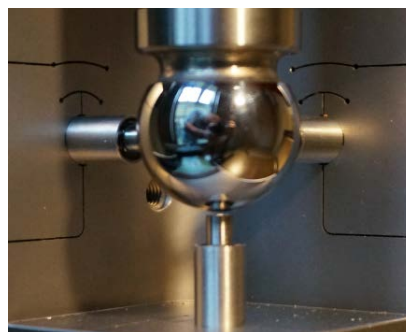
KEYWORDS: spindle error motions, machine tool accuracy, metrology

Wprowadzenie

Rzeczywistą oś elementu obrotowego, składającego się z szeregu współpracujących powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych tworzą niepokrywające się, wzajemnie nierównoległe osie poszczególnych powierzchni. Niepożądane ruchy wrzeciona szlifiarki, nazywane ruchami błędnymi, wynikające z tolerancji wykonania, błędów kształtu, wadliwego montażu czy zużycia elementów ruchomych, wpływają na proces szlifowania oraz dokładność i jakość szlifowanej powierzchni. Na wartość całkowitego błędnego ruchu składają się wartości błędnych ruchów synchronicznych i asynchronicznych.

nych i asynchronicznych.

Błędne ruchy synchroniczne związane są z położeniem kątowym wrzeciona, natomiast asynchroniczne nie zależą od pozycji kątowej wrzeciona. Pomiary błędnych ruchów wrzecion, jako jedno z badań określających stan maszyny, pomimo iż zostały znormalizowane [1,2] nie są popularne i powszechnie stosowane. W diagnostyce są wykorzystywane komercyjne urządzenia i oprogramowanie [3] ale głównie do badań wrzecion centrów frezarskich i tokarskich. Podstawowym elementem systemu pomiarowego jest precyzyjnie wykonany wzorec (kulisty lub walcowy) o minimalnych błędach kształtu i polerowanej powierzchni otoczony czujnikami.



Rys. 1. Wzorec kulisty z czujnikami pomiaru w osiach XYZ

W przypadku wrzecion szlifierek mocowanie standardowego wzorca we wrzecionie jest trudne w realizacji. Można oczywiście zamówić specjalny wzorec z kołnierzem zamiast trzpienia, ale i tak nie będzie on uniwersalnym wzorcem dla wrzecion szlifierek. Dużo korzystniejszym rozwiązaniem jest wykorzystanie powierzchni końcówki wrzeciona jako powierzchni odniesienia dla czujników pomiarowych, a następnie, podczas analizy, usunięcie z wyników pomiarów błędów geometrii powierzchni. W Zakładzie Automatyzacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem PW opracowano konkurencyjne w stosunku do oprogramowania komercyjnego, autorskie oprogramowanie do badań błędnych ruchów wrzecion [4] ABRWS (Analizator Błędných

* Prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak (k.jemielniak@wip.pw.edu.pl)
 Dr inż. Jarosław Chrzanowski (j.chrzanowski@zaoios.pw.edu.pl)

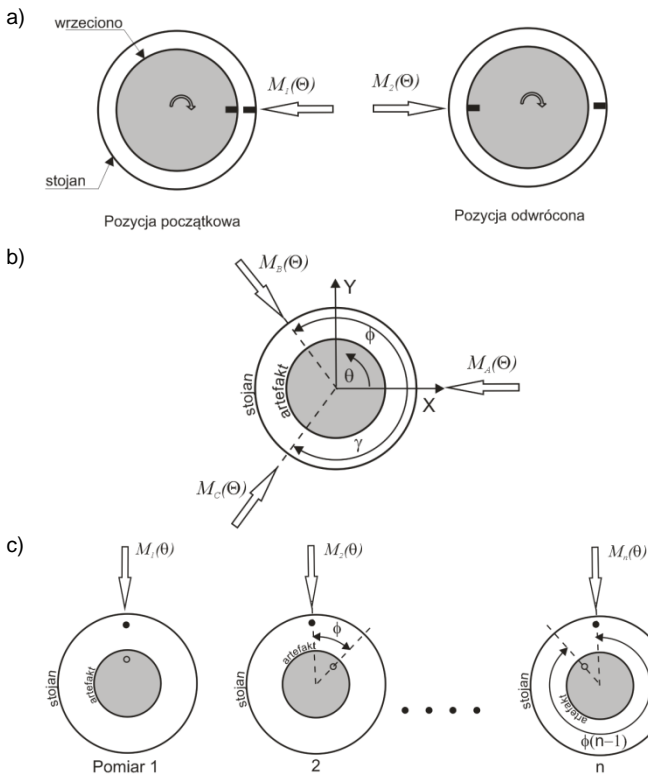
Ruchów Wrzecion Szybkoobrotowych). Oprogramowanie współpracuje z komercyjnym zestawem firmy Lion Precision, ale przystosowane jest również do praktycznie każdego oprzyrządowania pomiarowego możliwego do zastosowania w badaniach błędnych ruchów wrzecion. Algorytmy pomiarowe zostały tak zaprojektowane, aby oprogramowanie automatycznie dobierało parametry dokonywania pomiarów. Jak wykazano [4] wyniki pomiarów dokonywanych oprogramowaniem ABRWS były zgodne, w przeciwieństwie do oprogramowania komercyjnego, z zaleceniami norm ISO i ASME.

W celu zwiększenia funkcjonalności zestawu pomiarowego, do oprogramowania autorskiego dopisano opcję pomiaru błędnych ruchów wrzeciona, bez użycia dokładnego wzorca.

Pomiary błędów geometrii powierzchni wrzeciona

Pomiarów błędów geometrii wirującego przedmiotu (artefaktu) można dokonywać przy niskich lub wysokich prędkościach obrotowych. W zależności od wybranej opcji różne mogą być metody pomiaru.

Niezależnie od prędkości obrotowej, zarówno dla wrzecion szybkoobrotowych (nawet do 200k obr/min) jak i wolno obrotowych, stosowane są opracowana w latach 70 metoda Donaldsona [5] i metody pokrewne (zmodyfikowana Donaldsona), wielo-czujnikowa[6] oraz wielo-krokowa [7].



Rys. 2. Trzy różne metody pomiaru błędów geometrii artefaktu: a) Donaldsona (Donaldson Reversal); b) wieloczujnikowa (Multi-probe Error Separation); c) wielokrokowa (Multi-step Error Separation)

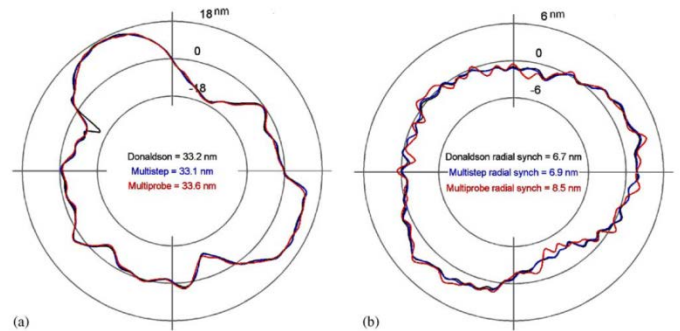
Większość stosowanych metod wymaga innego położenia czujników niż w przypadku pomiaru błędnych ruchów, a niektóre (np. Donaldson Reversal) zmiany konfiguracji czujników podczas pomiarów geometrii artefaktu.

Zgodnie z [8] metoda rewersyjna Donaldsona jest teoretycznie lepsza od innych metod, ale wymaga najwyższej jakości urządzeń pomiarowych do osiągnięcia wyników na

poziomie nanometrów. Jest dobrym wyborem do kalibracji precyzyjnych artefaktów przy niskich prędkościach.

W metodzie wielokrokowej wymagane jest wykonanie wielu pomiarów w równych odstępach. Metoda ta jest korzystna ze względu na brak konieczności zmiany ustawienia czujników zarówno do kalibracji artefaktu jak i pomiarów błędnych ruchów wrzeciona.

Metoda wieloczujnikowa (z trzema lub czterema czujnikami) jest używana do pomiarów przy wysokich prędkościach. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów porównawczych trzema opisanymi metodami.



Rys. 3. Wykresy biegunowe błędów kształtu artefaktu i błędu synchronicznego promieniowego uzyskane trzema różnymi metodami (a) błąd kształtu artefaktu; (b) błąd synchroniczny promieniowy wrzeciona [9]

Jak można wyczytać z powyższego rysunku błędy kształtu artefaktu określone wszystkimi metodami różnią się na poziomie ułamkowych części nanometrów.

Implementacja pomiarów z niedokładnym artefaktem w programie ABRWS

W programie ABRWS zaimplementowano zmodyfikowaną metodę wielokrokową, głównie ze względów na brak konieczności zmian położenia czujników. Warto zauważyć, że każda zmiana położenia czujników (inne położenie do określania błędów geometrii a inne do pomiarów błędnych ruchów) powoduje błędy pomiaru. Praktycznie nie możliwe jest ustawienie czujników, po zmianie ich miejsca, na tym samym pasie mierzonej wcześniej powierzchni artefaktu. A w przypadku niedokładnego artefaktu (końcówka wrzeciona, pierścień, tarcza, kołnierz tulei), całkiem inne będą błędy jego geometrii.

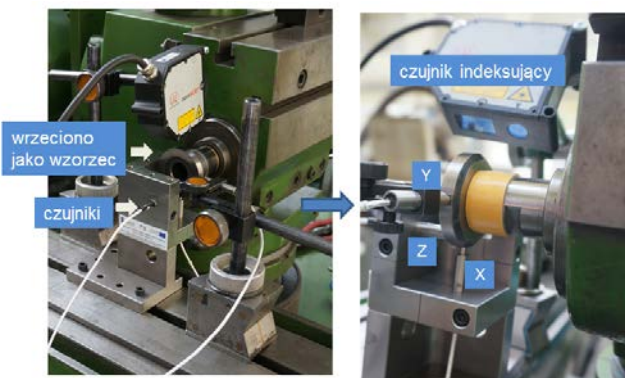
Ekran główny programu z opcjami „Uwzględnianie błędów wzorca” oraz „Niskie prędkości < 600 obr/min” pokazano na rys 4.



Rys. 4. Widok głównego ekranu programu ABRWS

W badaniach wykorzystano precyzyjne czujniki pomiarowe wraz z zasilaczami z będącego na wyposażeniu Zakładu zestawu do badań błędnych ruchów wrzecion.

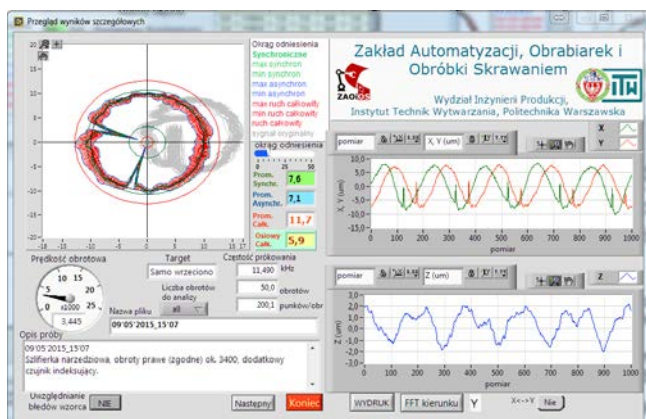
Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Stanowisko pomiarowe na szlifierce narzędziowej PFUM

W badaniach zastosowano dodatkowy czujnik indeksujący. Sygnał wyzwalający kąt „0” generowany był przez wycięcie na tulei wrzeciona. Program umożliwia również wykorzystanie jednego z czujników pomiarowych jako czujnika indeksującego gdy na powierzchni odniesienia można wykryć sygnał wyzwalający (np. rysa, mimośrodowość).

Badania przeprowadzono dla czterech różnych prędkości obrotowych standardowo ustawianych przełącznikiem (2200, 3400, 4400, 6800 obr/min) na badanej szlifierce. Rzeczywiste, zmierzone prędkości obrotowe były inne i są widoczne na ekranie podczas przeglądania wyników szczegółowych. Przykładowy plik z danymi zebranych w trakcie badań przedstawiono na rysunku 6.

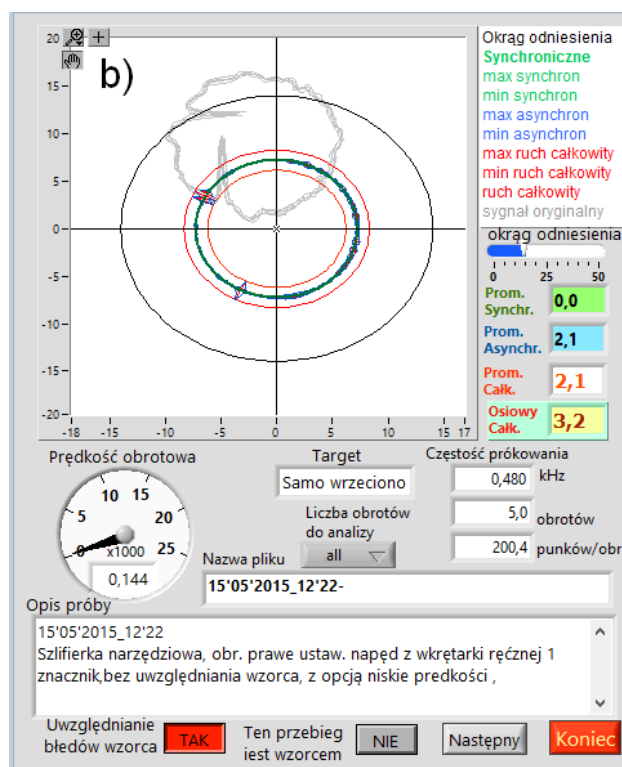
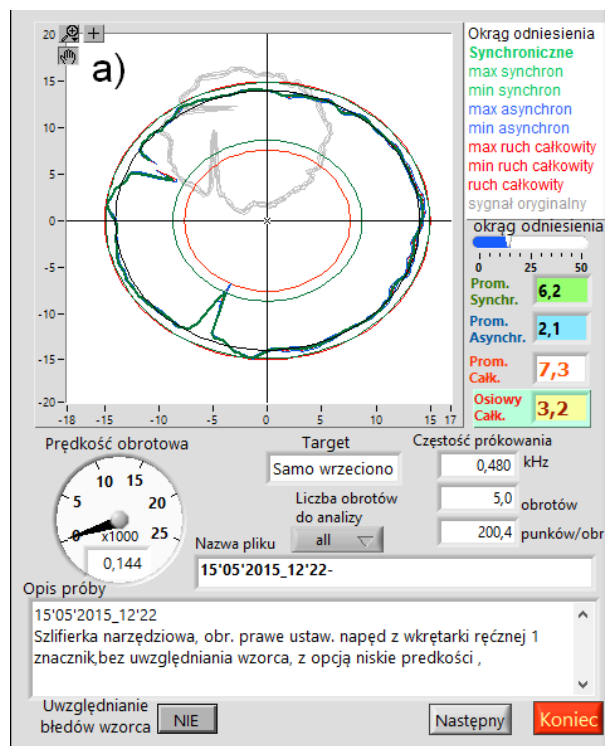


Rys. 6. Ekran programu w opcji „przegląd wyników szczegółowych”

Należy zwrócić uwagę na znajdujące się po prawej stronie rysunku 6, przebiegi sinusoidalne sygnału zarejestrowanego czujnikami X i Y. Występujący na nich pik pochodzi z rysy na powierzchni mierzonego kołnierza. Nie może być bezpośrednio wykorzystany do określenia pozycji kąta „0”, jako że jego amplituda jest znacznie niższa niż amplituda sinusoidy. Aby go wykorzystać, należy odfiltrować sygnał sinusoidalny. Po lewej stronie ekranu znajduje się wykres biegunowy wykonany zgodnie z zaleceniami norm europejskiej i amerykańskiej. Wzory i procedurę generowania wykresów biegunowych w przypadku badań błędnych ruchów wrzecion szczegółowo opisano w [4]. Porównanie tego wykresu z omówionymi sygnałami z czujników dobitnie ilustruje różnicę między błędami wzorca a błędami kształtu (biciem). Błąd kształtu występuje w jednym miejscu powierzchni. Jeśli sygnał z czujników miałby być interpretowany jako wynik błędów ruchu, wystąpiłby dwukrotnie, dla każdej osi oddziel-

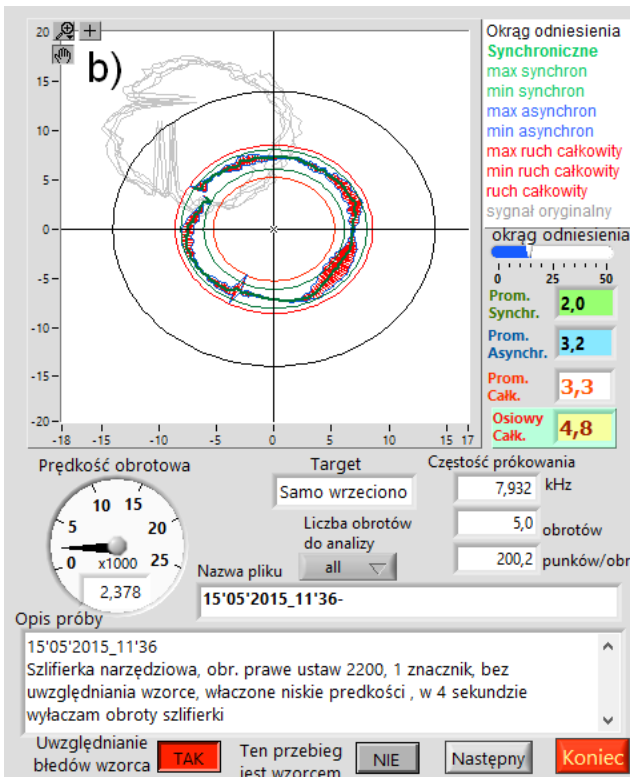
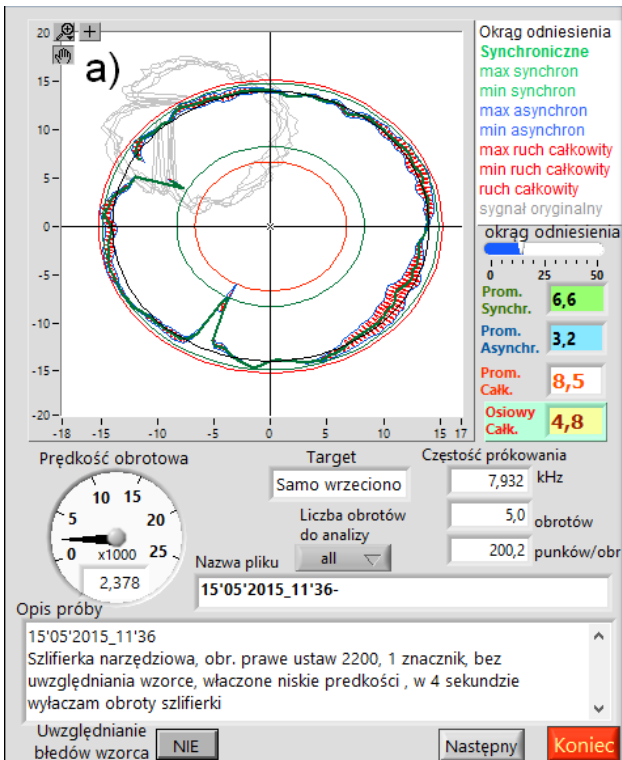
nie z przesunięciem fazowym 90° . Idealny, a przynajmniej dokładny wzorzec nie ma takich błędów. Chcąc wykorzystać wzorzec niedokładny należy te pozorne ruchy błędne wyeliminować.

Na wstępie wykonuje się pomiar z niską prędkością obrotową, przy której nie występują, lub są bardzo małe rzeczywiste błędy ruchu. Błędy geometrii powierzchni odniesienia, do której przystawione są czujniki można interpretowane są wtedy (mylnie) jako błędy synchroniczne.



Rys. 7. Widoki fragmentów ekranu ABRWS podczas pomiarów
a. pomiar błędów geometrii kołnierza tulei
b. ten sam pomiar po odjęciu błędów kształtu

Na rys. 7a przedstawiono wyniki pomiaru wykonanego na kołnierzu tulei mocującej ściernicę szlifierki narzędziowej z prędkością obrotową 144 obr/min. Widoczne są znaczne błędy tej powierzchni. Kształt ten (przebieg pozornych błędów synchronicznych) zostaje zapamiętany i może być odejmowany od następnych pomiarów.



Rys. 8. Pomiary przy prędkości 2378 obr/min.
 a. bez uwzględnienia błędów wzorca
 b. ten sam pomiar po odjęciu błędów kształtu

Na rys. 7b przedstawiono wyniki tego samego pomiaru po odjęciu zapamiętanych błędów synchronicznych. Jak widać, występują niewielkie błędy asynchroniczne wynikają-

ce z niedokładnej prędkości obrotowej – na widocznym w tle szarym przebiegu oryginalnym widać niewielkie niezgodności fazowe poszczególnych obrotów, co powoduje zakłócenie asynchroniczne w miejscach silnego zakłócenia synchronicznego. Błędy synchroniczne są tu wyeliminowane, więc równe są 0. Na rysunku 8a przedstawiono wyniki pomiarów z prędkością obrotową 2378 obr/min bez korekcji, zaś na rys 8b po uwzględnieniu błędów powierzchni wzorca zmierzonych przy niskich obrotach. Jak widać, z całego zmierzonego błędu synchronicznego 6,6 μm możliwe okazało się wyeliminowanie błędów powierzchni, dzięki czemu można było określić rzeczywisty błąd synchroniczny równy tu 2 μm . Widoczne są także błędy asynchroniczne poza obszarami zakłócenia powierzchni wzorcowej, gdzie pochodzą głównie od niestabilnej prędkości obrotowej.

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań błędnych ruchów wrzeciona szlifierki narzędziowej potwierdzają prawidłowość przyjętej metody pomiaru oraz zastosowanych algorytmów obliczeniowych. Zaprogramowanie opcji eliminujących błędy kształtu i nierówności na powierzchni stanowiącej odniesienie dla czujników pomiarowych, pozwoliło na dostosowanie istniejącego osprzętu do pomiarów błędnych ruchów wrzecion szlifierek. W trakcie testów wykazano, że opracowane autorskie oprogramowanie jest w pełni funkcjonalne a wyniki analizy są bardziej wiarygodne niż w przypadku pomiarów dokonywanych oprogramowaniem komercyjnym.

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

- 230-7 ISO. Test code for machine tools. Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation. 15.11.2006
- B89.3.4 ASME. Axes of Rotation: Methods for Specifying and Testing. 1992..
- Advanced Spindle Error Analyzer. Version 8.5. Instruction Manual, Lion Precision.
- Jemielniak K., Chrzanowski J., Spindle error movements measurement algorithm and a new method of results analysis, Journal of Machine Engineering, vol. 15, no 1, 2015
- Donaldson RR., A simple method for separating spindle error from test ball roundness error. CIRP 1972;21(1):125–6
- Mitsui K., Development of a new measuring method for spindle rotation accuracy by three points method. In: Proceedings of the 23rd International, MTDR Conference; 1982. p. 115–21.
- Zhang GX, Zhang YH, Yang ZL., A multipoint method for spindle error motion measurement. CIRP 1997;46(1):441–5.
- Kok You Ch., Review of Machine Tool Metrology (Spindle). National University of Singapore, Department of Mechanical Engineering, report 2011/2012.
- Grejda R, Marsh ER, Vallance RR., Techniques for calibrating spindles with nanometer error motion. Precision Engineering 2005;29(1):113–23.