

DIAGNOSTYKA WRZECION OBRABIAREK NA PODSTAWIE POMIARÓW BŁĘDNYCH RUCHÓW WIRUJĄCYCH OSI

Robert JASTRZĘBSKI*, **Tadeusz KOWALSKI****, **Paweł OSÓWNIAK***, **Anna SZEPKE***

*Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Sp. z o.o., ul. Staszica 1, 05-800 Pruszków

**Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, ul. Narbutta 86, 02-524 Warszawa

jastrzebski@cbko.pl, kowalski.tad@gmail.com, osowniak@cbko.pl, obic@cbko.pl

Streszczenie: Opisano metodykę pomiarów błędnych ruchów wirujących osi. Przedstawiono możliwości wykorzystania tej metodyki do oceny i diagnostyki pracy wrzecion obrabiarek w zakresie dokładności geometrycznej łożysk i oprawek narzędzi, przemieszczeń wirującej osi, przemieszczeń drgań i przemieszczeń temperaturowych końcówki narzędzia oraz wykrywania nieprawidłowości pracy wrzecion. Przedstawiono przykładowe wyniki diagnostyki elektrowrzecion obrabiarek CNC i wykrytych błędów będących przyczyną nieprawidłowej obróbki (błędów kształtu, podwyższonej chropowatości, łamania i szybkiego zużycia ostrzy płytek skrawających).

1. OPIS METODYKI

Stosowane zazwyczaj do oceny wrzecion obrabiarek metody badań opierają się na pomiarach dokładności geometrycznej: bicia promieniowego i osiowego, równoległości i prostopadłości osi wrzeciona do osi maszyny). Stosuje się również diagnostykę wibracyjną poprzez pomiar prędkości i przyspieszeń drgań korpusów, w których osadzone jest wrzeciono. Metody te nie odpowiadają na pytania, jak zachowuje się obracająca się końcówka narzędzia, jakie są dokładności łożysk przy obrotach po zmontowaniu, jak błędy te przekładają się na dokładność obróbki.

Dostępne obecnie systemy akwizycji danych oraz dokładność i szybkość działania bezstykowych czujników przemieszczeń umożliwiają szersze zastosowanie opisanej metodyki do oceny precyzyjnych szybkoobrotowych wrzecion obrabiarek.

Przy określaniu osi obrotu elementów wirujących można wyznaczyć obliczeniowo statyczne osie poszczególnych powierzchni walcowych jako prostą określoną przez minimum sumy kwadratów odległości punktów powierzchni walcowej od tej prostej. Reprezentuje ona wtedy teoretyczną oś obrotu dla określonej powierzchni walcowej. Natomiast oś obrotu wrzeciona określona przez osie czopów łożysk jest wyznaczana najczęściej przez różne powierzchnie walcowe. Odchyłki kształtu tych powierzchni powodują, że oś ta przyjmuje różne położenia chwilowe w zależności od pozycji kątowej i prędkości obrotowej.

Dodatkowo powstające przy obrotach siły (tarcia, niewyważenia, itp.) powodują drgania korpusu, w którym osadzone jest wrzeciono. Wskutek tego, podczas ruchu, nawet w tym samym położeniu kątowym, oś chwilowa może nie być w tym samym położeniu względem przyjętej bazy – najczęściej przedmiotu obrabianego. Chwilowe zmiany położenia osi podczas obrotu nazywane dalej błędnymi ruchami osi są trudne do wyodrębnienia, gdyż nakładają się na nie błędy geometrii (wykonania i montażu poszczególnych elementów). Mierząc bicie promieniowe

mierzmy sumę różnych błędów, w tym geometrycznych, jak mimośrodkowość powierzchni pomiarowej względem osi obrotu, błędy nieokrągłości powierzchni pomiarowej oraz zmiany statyczne położenia osi obrotu na kierunku pomiaru podczas ustawiania wrzeciona w różnych pozycjach kątowych. Opisowana metodyka przedstawiona w pracy Jemielniaka (2004) została także wdrożona do przepisów badań obrabiarek (ISO 230-7, 2006). Polega na takim sposobie pomiaru całkowitych ruchów promieniowych i osiowych wirującej osi, który eliminuje błędy geometryczne oraz pozwala na pomiar tych ruchów dla dowolnej prędkości obrotowej. Mierzone są całkowite przemieszczenia promieniowe i osiowe w wybranym punkcie wzdłuż osi obrotowej w trzech prostopadłych kierunkach. Pomiaru dokonuje się bezstykowymi czujnikami przemieszczeń o dużej szybkości działania, względem wirującego trzpienia wzorcowego (Rys.1).

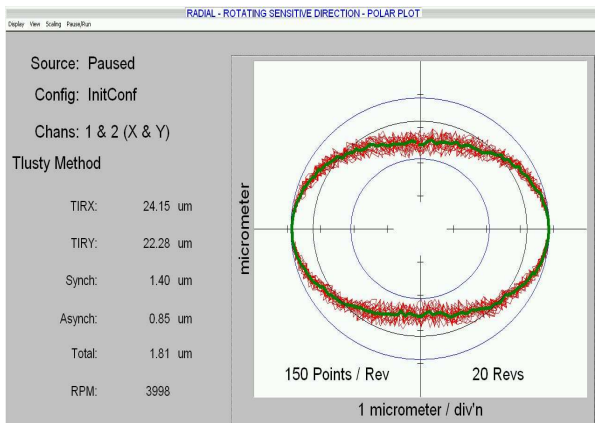


Rys. 1. Pomiar błędów wirującego wrzeciona

Aby określić błędne ruchy osi wrzeciona w czasie obrotu, należy wyeliminować z pomiaru błędy geometryczne, których głównymi składnikami są nieokrągłość powierzchni, względem której wykonujemy pomiary i mimośrodkowość tej powierzchni względem osi obrotu. Nieokrągłość powierzchni pomiarowej eliminowana jest przez stosowa-

nie trzpieni wzorcowych o wysokiej okrągłości. Błąd okrągłości kulistej końcówki trzpienia wzorcowego, widocznej na Rys.1, wynosi 18nm, co redukuje błąd nieokrągłości powierzchni do wartości w praktyce pomijalnych. Natomiast mimośrodowość powierzchni pomiarowej względem osi obrotu jest eliminowana obliczeniowo – wynikiem pomiaru błędu mimośrodu osi powierzchni pomiarowej względem osi obrotu jest sinusoida – każda odchyłka od tej sinusoidy, pomijając błędy techniki pomiarowej, oznacza zmianę pozycji osi obrotu wrzeciona, dla danego położenia kąтового.

Na Rys.2 przedstawiono symulowany wykres ruchów osi wrzeciona we współrzędnych biegunowych oraz wyznaczone błędy ruchu osi na podstawie używanego przez Laboratorium CBKO oprogramowania.



Rys. 2. Wykres dynamicznych błędów promieniowych w ruchu obrotowym wrzeciona

Algorytm postępowania przy eliminacji mimośrodu i wyznaczaniu błędów ruchu osi jest następujący:

1. Z wyników wskazań czujników (X' , Y') (jako wektorów X' i Y') wyznaczany jest okrąg odpowiadający średniemu ruchowi osi wrzeciona w ten sposób, by suma kwadratów odchyłek punktów od okręgu była minimalna (tzw. okrąg najmniejszych kwadratów):

$$\sum_{i=1}^N [(x'_i - x_0)^2 + (y'_i - y_0)^2 - r_0^2] = \min \quad (1)$$

gdzie: r_0 – promień okręgu odpowiadający mimośrodu powierzchni pomiarowej, x_0 , y_0 – współrzędne środka okręgu, x'_i , y'_i – wyniki kolejnych pomiarów (wskazania czujników przeliczone na μm).

Współrzędne środka okręgu wynikają z ustawienia czujników i nie są błędem, lecz wyznaczają rzeczywisty środek układu współrzędnych, względem którego zostają przeliczone wyniki pomiarów.

$$X = X' - x_0 \quad Y = Y' - y_0$$

gdzie: X' – wektor wskazań czujnika w osi x , Y' – wektor wskazań czujnika w osi y , X – wektor przemieszczeń osi wrzeciona w kierunku x , Y – wektor przemieszczeń osi wrzeciona w kierunku y .

Jest to środkowy okrąg na Rys. 2. Przy bezbłędnym ruchu obrotowym wrzeciona (i braku błędów wynikających

z techniki pomiarowej) wykres ruchów promieniowych osi pokrywałby się z wyliczonym okręgiem, reprezentującym mimośród. Skalę wykresu dobiera się tak, aby uwidocznić odchyłki od tego okręgu – przy rzeczywistych pomiarach mimośród jest najczęściej znacznie większy od występujących błędów ruchów osi. Podstawą do wyznaczania promieniowych błędów ruchu osi jest kołowy wykres chwilowych odchyłek odległości osi wrzeciona od środka układu współrzędnych. (Warto zwrócić uwagę, że odchylenia prostopadłe do chwilowego promienia powinny być ignorowane, jako nie mające wpływu na dokładność obróbki, a zakłócające obraz przebiegu ruchów promieniowych).

2. Po określeniu środka układu współrzędnych reprezentującego teoretyczną oś obrotu, sposób wyznaczania błędnych ruchów promieniowych wirującej osi jest następujący:

Dla każdego pomiaru wyznaczana jest odległość osi wrzeciona od środka układu, mierzona wzdłuż aktualnego promienia:

$$r_{ij}(\varphi_i) = X_{ij}(\varphi_i) \cos \varphi_i + Y_{ij}(\varphi_i) \sin \varphi_i \quad (2)$$

gdzie: $i = 1..i_{max}$ - numer położenia kąowego w danym obrocie, $j = 1..j_{max}$ - numer obrotu dla ilości obrotów j_{max} , φ_i - kąt obrotu wrzeciona (reprezentuje chwilowe położenie wrzeciona podczas ruchu względem przyjętego zera położenia kąowego), $X_{ij}(\varphi_i)$ - wskazanie czujnika x w i -tym położeniu kąowym, w j -tym obrocie, $Y_{ij}(\varphi_i)$ - wskazanie czujnika y w i -tym położeniu kąowym, w j -tym obrocie.

Wzór (2) opisuje tzw. biegunowy wykres chwilowych położen osi powierzchni pomiarowej względem wyznaczonego wg wzoru (1) środka okręgu, reprezentującego położenie „idealne” osi. Różnica promieni okręgu opisanego na tym przebiegu i okręgu wpisanego w ten przebieg, wykreślone na Rys. 2 jako okrąg zewnętrzny i wewnętrzny definiowana jest jako Błąd Całkowity Ruchów poprzecznych osi (Total Error Motion). Błąd ten reprezentuje maksymalną różnicę chwilowych odchyłek odległości osi wrzeciona od środka układu współrzędnych zdefiniowanego w (1). Różnica promieni eliminuje mimośród. Na Rys. 2 wartość tego błędu wynosi 1,81 μm .

3. Określenie błędu asynchronicznego. Metodyka zakłada ocenę powtarzalności chwilowych położen osi, stąd wynik jest uśredniany z co najmniej z kilku obrotów. Jeśli dla każdego położenia kąowego (φ_i) obliczymy maksymalną i minimalną wartość promienia: $r_{imax}(\varphi_i)$, $r_{imin}(\varphi_i)$, otrzymamy minimalne i maksymalne odchylenia osi wrzeciona odpowiadające każdemu położeniu kąowemu. Linie poprowadzone przez zbiory tych odchyłek w każdym położeniu kąowym mają pewien rozrzut od $r_{imin}(\varphi_i)$ do $r_{imax}(\varphi_i)$ (Na Rys. 2 widoczne jako rozrzut cienkich linii, stanowią chwilowe położenia ruchów asynchronicznych – nie związanych z obrotami wrzeciona). Maksymalna szerokość tego rozrzutu jest definiowana jako Błąd Asynchroniczny Ruchów promieniowych osi (Asynchronous Error Motion). Można go też interpretować jako maksymalną amplitudę drgań poprzecznych wirującej osi odniesioną do położenia kąowego. Na Rys. 2 wartość tego błędu wynosi 0,89 μm .

4. Określenie błędu synchronicznego. Jeśli dla każdego położenia kąowego (φ_i) obliczymy średnią wartość promienia $r_{is}(\varphi_i)$, to zbiór tych wartości określi synchroniczne

(skorelowane z obrotami) przemieszczanie się osi wrzeciona. Na Rys. 2 wykreślono je grubą linią. Różnica promieni okręgów opisanego i wpisanego na średniej wartości odległości osi wrzeciona od środka układu, definiowana jest jako Błąd Synchroniczny Ruchów promieniowych osi (Synchronous Error Motion). Na Rys. 2 jego wartość wynosi 1,40µm. Podobnie wyznaczane są błędy ruchów wzdłużnych osi.

5. Przy pomiarach błędów ruchu osi bezpośrednio mierzony jest parametr nazywany TIR (Total Indicator Reading), na podstawie którego wyznaczamy błędy ruchu. Pomocny jest on także do sumarycznej analizy dokładności i diagnostyki wrzecion. Reprezentuje maksymalne zarejestrowane przemieszczenia na kierunku ustawienia czujnika przemieszczeń. Wyznaczony parametr TIR zawiera w sobie:

- mimośród powierzchni pomiarowej względem wyliczonej osi wrzeciona;
- błędy geometryczne powierzchni pomiarowej;
- błędy ruchów osi, na kierunku pomiaru;
- przemieszczenia dynamiczne korpusu wrzeciennika wynikające z niewyważenia, sztywności, właściwości dynamicznych (częstotliwość drgań własnych);
- szумы pomiarowe.

Przy odpowiedniej analizie i znajomości niektórych składników TIR (np. stosując trzpienie wzorcowe o znanej geometrii), można uzyskać informacje o przemieszczeniach końcówki narzędzia, błędach geometrycznych opravek, a także wykorzystać TIR do pomiaru prędkości obrotowej.

W Laboratorium CBKO wdrożono tę metodykę do stosowania dla potrzeb badań prototypów elektrowrzecion obrabiarek (Jastrzębski, 2006; Jastrzębski i Szepeke, 2009).

2. DIAGNOSTYKA WRZECION NA PODSTAWIE OPISANEJ METODYKI

Wg opisywanej metodyki wyznaczane są następujące błędy:

- błąd synchroniczny, asynchroniczny i całkowity osi wirującej w płaszczyźnie prostopadłej do osi wirowania (promieniowe błędy ruchu osi wrzeciona),
- błąd synchroniczny, asynchroniczny i całkowity wzdłuż wirującej osi,
- błąd przemieszczania się (drgań) końcówki narzędzia na kierunkach X, Y i Z (z TIR).
- błąd przemieszczania się w czasie końcówki narzędzia na kierunkach X, Y i Z – odkształcenia cieplne.

Wyznaczane błędy pozwalają powiązać błędy pracy wrzeciona z dokładnością obróbki oraz z problemami źródłowymi mogącymi powodować błędy obróbki. Wytyczne przedstawiono w Tab. 1. Jakość obrabianej powierzchni rozumiana jest najczęściej jako chropowatość.

Przedstawiono 3 przykłady diagnostyki i badań wrzecion.

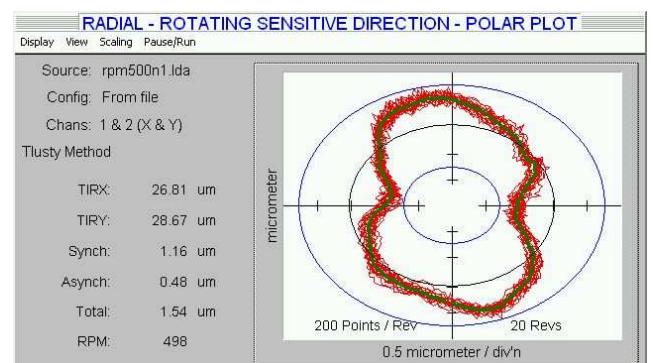
Przykład 1. Badania odbiorcze wrzeciona frezarki

Stwierdzono poprawność montażu i niewielkie błędy ruchów osi, spełniające wymagania WOT. Wyniki badań były podobne w całym zakresie sprawdzanych prędkości obrotowych. Z wykresu poniżej wynika, że błąd owalności

np. wytaczanych otworów wynikający z dokładności osi obrotu wrzeciona (błąd synchroniczny) nie powinien znacznie przekraczać ok. 1µm, a uzyskiwana chropowatość powierzchni powinna być wysoka (błąd asynchroniczny wskazuje, że wysokość nierówności $R_z < 0,5\mu\text{m}$). Parametr TIR wskazuje na błąd mimośrodowości oprawy zaciskowej narzędzia na poziomie ok. 25µm.

Tab. 1. Wytyczne do diagnostyki wrzecion na podstawie opisanej metodyki

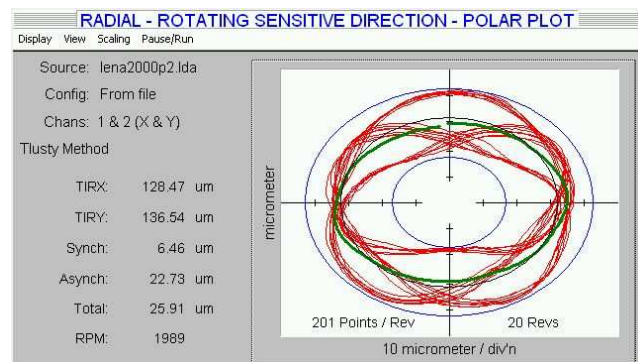
Wyznaczane parametry ruchu wrzeciona wg opisanej metodyki	Powiązane błędy dokładności i jakości obróbki	Powiązane problemy źródłowe
Błąd synchroniczny promieniowy	Błąd okrągłości obrabianej powierzchni	Błąd okrągłości - bieżni łożysk, - obsady łożysk Błąd ustawienia obsady łożysk
Błąd asynchroniczny promieniowy	Pogorszenie jakości obrabianej powierzchni przy niektórych prędkościach	Niedostateczna sztywność lub niewyważenie, częstotliwości rezonansowe maszyny, luzy promieniowe
Błąd asynchroniczny osiowy	Błąd jakości obrabianej powierzchni	Zużycie łożysk, niewłaściwe napięcie wstępne, drgania własne, luzy osiowe
Błąd asynchroniczny osiowy	Pogorszenie jakości obrabianej powierzchni przy niektórych prędkościach	Niedostateczna sztywność lub niewyważenie, częstotliwości rezonansowe maszyny
Całkowite mierzone przemieszczenie promieniowe lub osiowe (TIR)	Pogorszenie jakości obrabianej powierzchni, błędy dokładności obróbki	Znaczna mimośrodowość opravek lub szczeń uchwytych względem osi obrotu wrzecion
Znaczne zmiany całkowitego mierzonego przemieszczenia promieniowego lub osiowego (TIR) w funkcji obrotów	Pogorszenie jakości obrabianej powierzchni, szybsze zużycie płytek skrawających, błędy dokładności obróbki	Luzy osiowe i promieniowe w obsadach łożysk
Zmiana w czasie pozycji osi wrzeciona względem przedmiotu obrabianego	Błędy dokładności i powtarzalności obrabianych powierzchni od odkształceń cieplnych	Za duże napięcie wstępne łożysk, za ciasne pasowania łożysk, zbyt mała efektywność chłodzenia elektrowrzecion



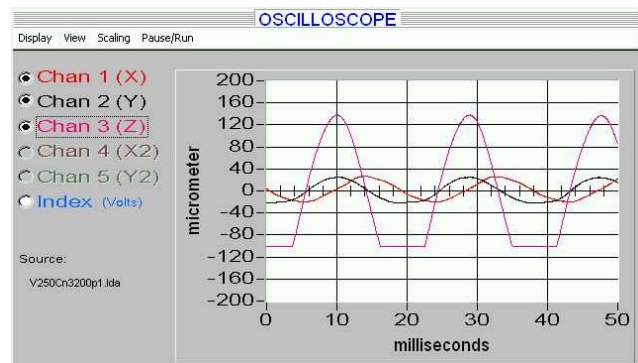
Rys. 3. Typowe błędy promieniowe osi wrzeciona frezarskiego z łożyskami wysokiej dokładności

Przykład 2. Błędy dokładności wrzeciona tokarki

Zgłoszono błędy geometrii toczonej powierzchni jako powstające w jednym miejscu wybrzuszenie w przekroju toczonego wałka ok. 0,02mm. Na podstawie wykresów dla różnych prędkości, stwierdzono luzy poprzeczne w łożyskach. Występowały w zależności od prędkości obrotowej znaczne różnice wyznaczanych błędów synchronicznych i asynchronicznych w zależności od prędkości obrotowej. Jednocześnie stwierdzono bardzo duże bicie promieniowe szczęk uchwytu (znaczny TIR), co mogło być jedną z przyczyn przyspieszonego zużycia łożysk i powstania luzów. Na Rys. 4 zamieszczono przykładowy wykres ruchów osi diagnozowanego wrzeciona dla nastawionej prędkości 2000 obr/min. Naprawa – wymiana uszkodzonych łożysk.



Rys. 4. Przykładowy wykres błędnych ruchów promieniowych osi przy luzach w łożysku



Rys. 5. Wykresy czasowe parametru TIR dla trzech kierunków ruchów, pokazujący nietypowo wysokie ruchy wzdłużne osi wrzeciona (Z)

Przykład 3. Błędy jakości obróbki tokarki

Zgłoszono znaczny wzrost drgań wrzeciona przy wzroście prędkości, oraz znacznie szybsze zużywanie się płytek skrawających, niż wcześniej, kłopoty z utrzymaniem odpowiedniej jakości powierzchni obrabianej. Przy wolnych obrotach błędy obrotu wrzeciona były niewielkie, przy wzroście prędkości stwierdzono (max. dla prędkości ok. 3200obr/min) nawet stukrotny wzrost ruchów wzdłużnych osi wrzeciona, z 3 do ok. 300µm, z częstotliwością obrotów wrzeciona. Po analizie konstrukcji wrzeciona stwierdzono, że przyczyną wzrostu drgań wrzeciona może być luz wzdłużny na zewnętrznym pierścieniu oporowym łożyska. Pierścień odkształcił się i wgniótł częściowo

(po kolizji) w miękki korpus wrzeciennika. Błąd ujawniał się dopiero przy znacznym wzroście sił dynamicznych przewyższających masę wrzeciona i opory tarcia w obudowie. Nie było potrzeby wymiany łożysk, wystarczyło wymienić pierścieni na grubszy i odpowiednio napiąć łożyska. Na Rys. 5 przedstawiono wykresy rejestrowanego parametru TIR dla n=3200obr/min (na osi Z przekroczony ustalony zakres pomiarowy czujnika – 0,25mm).

3. SZACOWANA NIEDOKŁADNOŚĆ POMIARÓW I WERYFIKACJA METODYKI W LABORATORIUM

Bardzo duże znaczenie dla jakości i dokładności wyników badań błędnych ruchów wirujących osi ma stosowane wyposażenie. Wynika to z faktu, że dla dokładnych łożysk odchyłki te są bardzo często mniejsze od 1µm, oraz szczególnie przy dużych prędkościach obrotowych, mierzone są przemieszczenia o dużych częstotliwościach rzędu kilku kHz. Wysokie wymagania dotyczą zarówno dokładności trzpieni wzorcowych, bezstykowych czujników przemieszczeń, jak i szybkości działania i rozdzielczości układu rejestracji sygnałów pomiarowych.

Stosowany w Laboratorium CBKO zestaw pomiarowy ma następujące parametry:

- trzpień wzorcowy kulowy o okrągłości 0,018µm,
- trzpień wzorcowe walcowe o okrągłości do 0,25µm i współosiowości powierzchni chwytowej i pomiarowej do 0,15µm;
- czujniki pomiarowe pojemnościowe o dokładności do 0,03µm/zakres pomiarowy i paśmie przenoszenia częstotliwości 15kHz;
- zestaw rejestrujący, pozwalający na pomiary z rozdzielczością do 0,001µm (dla zakresu 50µm) i > 200 punktów/obrót dla prędkości obrotowej do 50000obr/min.



Rys. 6. Jednoczesne pomiary przemieszczeń drgań korpusu i przemieszczeń wirującej osi

Wyznaczona niepewność całkowita pomiaru parametrów określających błędne ruchy, dla opisanego zestawu pomiarowego, nie przekracza $0,1\mu\text{m}$, przy stosowaniu trzpienia kulowego. Przy ocenie błędów geometrycznych chwytów narzędzi lub przedmiotu względem osi obrotu, niepewność pomiaru nie przekracza $0,5\mu\text{m}$.

W ramach weryfikacji wytycznych do diagnostyki wg Tab. 1, wykonano (poza próbami obróbki) badania porównawcze drgań korpusu wrzeciennika frezarki i przemieszczeń wirującej osi (Rys. 6).

W Tab. 2 zestawiono wyniki wykonanych jednocześnie pomiarów przemieszczeń drgań korpusu na kierunku Y (interferometrem laserowym) z wybranymi błędami ruchu wrzeciona (parametrem TIR i błędami asynchronicznymi osi wrzeciona), dla różnych prędkości obrotowych. Na trzpieniu wzorcowym ustawiono mimośród na $25\mu\text{m}$. Sumaryczne bicie promieniowe statyczne wynosiło $28\mu\text{m}$.

Tab. 2. Porównanie amplitud (peak to peak) błędów drgań korpusu wrzeciennika, końcówki narzędzia i wybranych błędów ruchu osi

Prędkość obrotowa wrzeciona	Amplituda drgań korpusu wrzeciennika w kierunku Y	Całkowite mierzone przemieszczenie promieniowe końcówki narzędzia (TIR)	Błąd promieniowy osi wrzeciona	
			Całkowity	Asynchroniczny
[obr/min]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
500	0,7	28,67	1,54	0,48
1000	1,0	28,89	1,74	0,80
3000	1,4	29,97	2,08	1,12
4000	4,4	30,10	1,62	1,31
5000	2,6	30,24	2,88	1,64
6000	4,2	31,96	5,63	2,75
7000	1,4	30,73	5,85	2,53
8000	1,6	30,39	4,93	2,29
9000	2,1	31,94	5,92	2,90
10000	1,9	32,81	5,45	2,48
11000	7,8	34,59	6,49	2,75
12000	28,0	38,76	6,49	2,71

Z zestawienia w tabeli 2 widać, że ruchy końcówki narzędzia reprezentowane przez TIR związane są z wypadkową nakładających się na siebie błędów mimośrodowości, drgań korpusu wynikających z sił od obrotów, ale również drgań własnych konstrukcji, a także przemieszczeń wirującej osi. Wzrost błędu asynchronicznego wraz z rosnącymi obrotami potwierdza udział wpływu w ruchach osi względem przedmiotu obrabianego drgań korpusu nie związanych z obrotami. Błąd asynchroniczny promieniowy w praktyce jest taki sam, niezależnie od kierunku w którym rozpatrujemy drgania. Dla błędów całkowitego i synchronicznego promieniowego nie określamy kierunku, w którym jest największy. Błędy te rosną wraz z obrotami najczęściej w kierunku, gdzie sztywność jest najmniejsza.

Wyniki potwierdzają przedstawione w Tab. 1 wytyczne do diagnostyki problemów występujących podczas pracy wrzecion.

4. PODSUMOWANIE

- Przedstawiona metodyka badań i oceny dokładności wirujących wrzecion, poza bezpośrednią oceną dokładności jest wyjątkowo przydatna do diagnostyki problemów związanych z pracą wrzecion.
- W porównaniu z diagnostyką wibracyjną związaną z analizą drgań korpusów ułatwia wnioskowanie, gdyż uzyskiwane wyniki bezpośrednio przekładają się na wzajemne przemieszczenia przedmiotu i narzędzia.
- Na podstawie uzyskiwanych wyników można wnioskować o spodziewanej dokładności i jakości obróbki, przy zadanej prędkości obrotowej wrzeciona.
- Metodyka przeznaczona jest do oceny pracy precyzyjnych wrzecion obrabiarek, ale nie wyklucza to innych podobnych zastosowań w zakresie diagnostyki ruchu obrotowego (np. stołów obrotowych).

LITERATURA

1. **ISO 230-7: 2006** Test code for machine tools – Part 7: geometric accuracy of axes of rotation.
2. **Dzierżek K.** (2009), *Analiza mechatronicznych układów pomiaru położenia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
3. **Jastrzębski R.** (2006), *Metodyka badań elektro-wrzeciennika zabudowanego na obrabiarkę*, Sprawozdanie NH/B-05-2006, Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek.
4. **Jastrzębski R., Szepke A.** (2009), *Badanie wpływu wybranych czynników na dokładność i stabilność pracy elektrowrzeciennika na przykładzie centrum obróbkowego frezarskiego DIANA 1000*, Sprawozdanie NH/B-01-2009, Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Sp. z o.o.
5. **Jemieliński K.** (2004), *Analiza błędnych ruchów wrzecion szybkoobrotowych*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyki, Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska, Vol. 24, Nr 2.

DIAGNOSTICS OF MACHINE TOOL SPINDLES BASED ON ROTATING AXES ERROR MOTIONS

Abstract: We describe the measurement methodology of rotating axes error motions. We present the possibility of utilizing this methodology to assess and diagnose machine tool spindles in scope of geometrical accuracy of bearings and toolholders, displacement of rotating axis, displacement of vibrations, thermal deformation of spindle nose and to detect a malfunction in spindle operation. We present example results of CNC machine tool motor spindle diagnosis and detected errors that the source of machining abnormality (shape errors, breakage or increased wear of cutting inserts, increased roughness).

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego nr ID 58967 finansowanego z Funduszu Nauki i Techniki Polskiej