

Łukasz ŻURAWSKI

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD MONITOROWANIA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH,
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

Ocena dokładności stolika liniowego i obrotowego z silnikiem krokowym

Dr inż. Łukasz ŻURAWSKI

Autor jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2003 r.). Od 2007 r. jest pracownikiem Zakładu Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej. W 2013 r. obronił swoją pracę doktorską i obecnie zajmuje stanowisko specjalisty naukowo-technicznego. Jego zainteresowania naukowe dotyczą technik wytwarzania, systemów wizyjnych, metrologii mechanicznej oraz zastosowania komputerowych technik przetwarzania i analizy obrazu.



e-mail: lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę wyznaczenia błędów przesuwu i obrotu stolików z silnikiem krokowym. W badaniach wykorzystano mikrokontroler AVR ATmega 16-16PI do sterowania stolikami oraz stanowisko optyczne do obserwacji i akwizycji obrazów cyfrowych przesunięcia wzorców kreskowych o długości 1 mm i wartości działki elementarnej 0,01 mm. Błąd pomiaru oceniano dla prędkości przesuwu stolika liniowego (10, 30, i 66 mm/min) oraz prędkości obrotowej dla stolika obrotowego (0,22, 0,65, 2,14 obr/min). Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie i podano częstość występowania błędów pomiaru.

Słowa kluczowe: silnik krokowy, mikrokontroler, monitorowanie, błąd pomiaru.

Assessment of accuracy of a linear and rotary table with step motor

Abstract

Contemporary machine tools used for materials machining are made of a number of modules featuring modern kinematic and structural solutions. They provide relatively quick, effective and accurate performance of the shaping of surfaces of manufactured machinery and device part processes. The modular structure has been defined as a system of units and single parts that make the entire technological machine. The modules occur in various mounting and intended machining combinations depending on the machining process performed [1]. Numerically controlled machines NC/CNC comprise modules based on guide rolling, guide ball screws and direct gears [2], which have a variable number of fixed headstocks with additional independent drive control devices [3, 4]. To drive the modules a wide range of direct and alternating current electrical motors, electrospindles (used as main drives), servo-drives as well as linear and rotating step motors (used in feed drives) are used [1]. Similar structural and driving solutions can be seen in mini machine tools, milling and engraving machines as well as small-size table machine tools. Step motors with wide range of the turning moment are used in such machine tools to shift the units or modules. Such solutions are applied mainly to enhance technological possibilities of machine tools and to achieve high accuracy of the manufactured machined objects [5]. In this paper selected results concerning assessment of positioning errors of two precise measuring tables equipped with step motors performing linear and rotary movements have been presented. Measurements were performed for three various shift and rotation speeds. A specially arranged stand to monitor the performed movement using digital vision technique and digital images acquisition for shifting of 1 mm stage objects micrometer was used. AVR microcontroller ATmega 16-16PI for table control operations was used. A methodology of error determination was developed and the most important acquired results were presented in form of bar charts. The measurement method can be applied in those machine tools that have step-type drives.

Keywords: step motor, microcontroller, monitoring, error of measurement.

1. Wstęp

Współczesne obrabiarki przeznaczone do ubytkowej obróbki materiałów zbudowane są z szeregu modułów o nowoczesnych rozwiązaniach kinematycznych i konstrukcyjnych. Zapewniają one stosunkowo szybkie, efektywne i dokładne przeprowadzenie procesu kształtowania powierzchni wytwarzanych części maszyn i urządzeń.

Konstrukcja modułowa zdefiniowana jest jako układ podzespołów i pojedynczych części stanowiących całość maszyny technologicznej. Moduły występują w różnych kombinacjach zamocowania i przeznaczenia, zależnie od wykonywanej obróbki mechanicznej [1].

W obrabiarkach sterowanych numerycznie NC/CNC występują moduły bazujące na prowadnicach tocznych, śrubowo-tocznych i przekładniach bezpośrednich [2], które posiadają różną liczbę wrzecienników z dodatkowym niezależnym sterowaniem napędów [3, 4].

Do napędu modułów stosowana jest szeroka gama silników elektrycznych prądu stałego i przemiennego, elektrowrzecion (wykorzystywanych jako napędy główne), serwonapędów oraz liniowych i obrotowych silników krokowych (wykorzystywanych w napędach posuwu) [1].

Podobne rozwiązania konstrukcyjne i napędowe można spotkać w mini obrabiarkach, frezarko-grawerkach oraz małogabarytowych obrabiarkach stołowych. Do przesuwu podzespołów lub modułów wykorzystywane są silniki krokowe o szerokim zakresie momentu obrotowego.

Takie rozwiązania stosowane są głównie w celu zwiększenia możliwości technologicznych obrabiarek oraz uzyskania wysokiej dokładności wykonywanych przedmiotów obrabianych [5].

W niniejszej pracy zaprezentowano wybrane wyniki dotyczące oceny błędów pozycjonowania dwóch precyzyjnych stolików pomiarowych wyposażonych w silniki krokowe, realizujące ruchy liniowe i obrotowe. Pomiar przeprowadzono dla trzech różnych prędkości przesuwu i obrotu. Zastosowano specjalnie zestawione stanowisko do monitorowania realizowanego ruchu z wykorzystaniem cyfrowej techniki wizyjnej. Opracowano metodykę wyznaczania błędów oraz przedstawiono w postaci wykresów słupkowych najważniejsze z uzyskanych rezultatów. Metodę pomiaru można zastosować dla obrabiarek, które mają napędy o charakterze krokowym.

2. Zakres i metodyka badań

Stanowisko pomiarowe zbudowano z wykorzystaniem dwóch stolików o posuwie liniowym i o ruchu obrotowym wyposażonych w silniki krokowe typ 42BYG020 o kącie skoku 1,8°. Ruch przesuwu odbywał się wzdłuż osi OX, a ruch rotacyjny wzdłuż osi OZ o 360°.

Do sterowania silnikami wykorzystano mikrokontroler AVR ATmega 16-16PI z wyświetlaczem cyfrowym podającym wartość przesuwu stolika liniowego w μm , a obrotowego w stopniach kąta płaskiego.

Nawiązanie połączenia między mikrokontrolerem, a komputerem PC umożliwił standardowy port RS-232. Wykorzystując program HyperTerminal systemu Microsoft Windows wpisywano określone komendy. Dla przykładu: wpisanie komendy „x+1000”, powodowało przesunięcie stolika o 1000 μm względem osi X). Inne stosowane komendy podano w tab. 1.

Tab. 1. Komendy użyte do sterowania silnikami krokowymi
 Tab. 1. The commands used to control of stepper motors

x+"wartość liczbowa"	przesunięcie stolika liniowego o dodatnią wartość liczbową względem osi X
x-"wartość liczbowa"	przesunięcie stolika liniowego o ujemną wartość liczbową względem osi X
o+"wartość liczbowa"	obrót o dodatnią wartość liczbową stolika obrotowego
o-"wartość liczbowa"	obrót o ujemną wartość liczbową stolika obrotowego
spee="wartość liczbowa"	ustawienie prędkości od 0 do 255, standard 220 (wartości umowne)
reset	wyzerowanie stolika, aktualne ustawienie otrzymuje współrzędne 0,0
stop	zatrzymanie stolika
back	cofanie do położenia zerowego (ostatni reset)

Za pomocą kamery cyfrowej CCD CAM620C z kompletem tubusów i obiektywem optycznie monitorowano obraz przemieszczenia wzorca kreskowego 1 mm. Do zapisu cyfrowych obrazów opracowano aplikację w środowisku LabVIEW [6, 7].

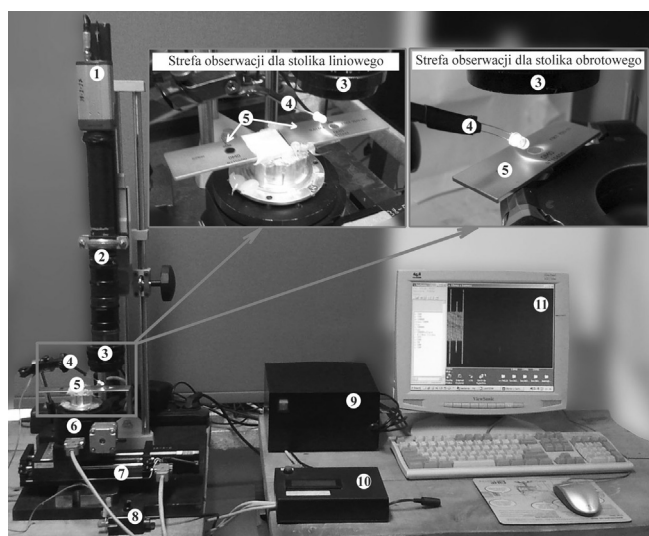
3. Stanowisko badawcze

Jako elementu wzorcowego użyto wzorca kreskowego firmy LOMO (Rosja), wykonanego zgodnie z normą (GOST 7513-55). Wzorec miał postać metalowej płytki z wygrawerowaną podziałką 1 mm podzieloną na 100 części. Wartość działki elementarnej wynosi 10 μm [8]. Widok ogólny wykorzystywanego wzorca kreskowego firmy LOMO przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wzorec kreskowy 1 mm
 Fig. 1. Stage object micrometer 1×0,01 mm reflected light

Pomiary dokładności obu stolików odbywały się na stanowisku przedstawionym na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko badawcze do wyznaczenia dokładności przesuwu liniowego i obrotowego stolika
 Fig. 2. Laboratory set-up for the feed rate uncertainty evaluation of the linear and rotary table

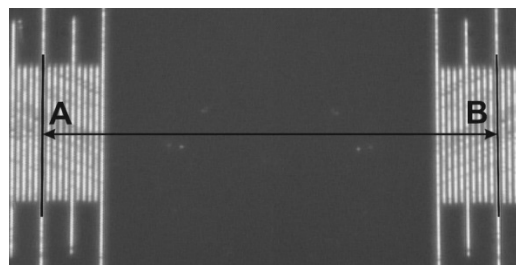
Stanowisko badawcze zbudowane było z układu wizyjnego w skład którego wchodziła kamera CCD (1), tubus, zestaw tulejek dystansowych (2) oraz obiektyw (3) do uzyskania wysokiej rozdzielczości rejestrowanych obrazów cyfrowych.

Do sterowania stolikiem liniowym (6) i obrotowym (7) wykorzystano mikrokontroler AVR (10), a komendy były wpisywane z klawiatury i widoczne na monitorze (11) komputera PC. W przypadku wyznaczenia błędów przesuwu na stoliku liniowym zamocowano dwa wzorce kreskowe 1 mm (5) równolegle do kierunku przesuwu stolika. Jeden wzorec zamontowano na obwodzie stolika obrotowego. Wzorce były oświetlane diodą elektroluminescencyjną LED (4). Natężeniem światła diody LED sterowano potencjometrem obrotowym (8) przez stabilizowany zasilacz prądu stałego (9).

4. Badania własne

Dla trzech różnych prędkości posuwu, każdy pomiar wykonano 30-krotnie w odległości między ustalonymi punktami A i B wzorców (rys. 3). Podczas badania dokładności przesuwu stolika liniowego zakres pomiaru wynosił 74628 kroków, co po przeliczeniu (1 krok- przesunięcie o 1,25 μm) dało długość 93,285 mm na odcinku A-B. Stolik obrotowy poruszał się zgodnie z ruchem wskazówek zegara i jako jeden pomiar zaliczano wykonanie 5 pełnych obrotów, tj. 1800°.

W tab. 1 podano umowny zakres możliwych do ustawienia wartości prędkości "spee". Przeliczono te wartości z wielkości przemieszczenia lub obrotu stolika w czasie jednej minuty. Dla stolika liniowego prędkość była następująca: 150=10 mm/min, 220=30 mm/min i 245=66 mm/min, a dla stolika obrotowego: 150=0,22 obr/min, 220=0,65 obr/min i 245=2,14 obr/min.



Rys. 3. Przykładowy tor ruchu na odcinku A-B z wykorzystaniem dwóch wzorców 1 mm dla przesuwu stolika liniowego
 Fig. 3. Exemplary view of the two stage micrometer 1 mm location on the trajectory of the linear table

Uzyskane dane pomiarowe poddano analizie statystycznej. Jej wyniki, dla stolika liniowego i obrotowego, podano (odpowiednio) w tab. 2 i 3.

Tab. 2. Analiza statystyczna wyników pomiarów dla stolika liniowego
 Tab. 2. Statistical analysis of the measurement results for the linear table

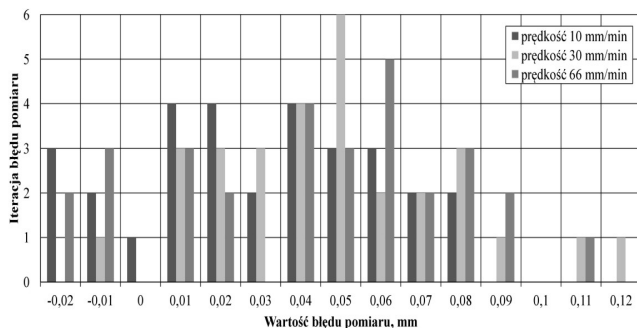
mm	Błąd przesunięcia stolika liniowego podczas prędkości 10 mm/min	Błąd przesunięcia stolika liniowego podczas prędkości 30 mm/min	Błąd przesunięcia stolika liniowego podczas prędkości 66 mm/min
Średnia arytmetyczna	0,0296	0,0483	0,0426
Wariancja	0,00087	0,00088	0,00123
Odchylenie standardowe	0,0294	0,0296	0,035
Min.	-0,02	-0,01	-0,02
Max.	0,08	0,12	0,11

Tab. 3. Analiza statystyczna wyników pomiarów dla stolika obrotowego
 Tab. 3. Statistical analysis of the measurement results for the rotary table

minuta kątowa [°]	Błąd przesunięcia stolika obrotowego podczas prędkości 0,22 obr/min	Błąd przesunięcia stolika obrotowego podczas prędkości 0,65 obr/min	Błąd przesunięcia stolika obrotowego podczas prędkości 2,14 obr/min
Średnia arytmetyczna	-0,3487	-0,5693	-1,9113
Wariancja	7,7191	5,1034	7,0346
Odchylenie standardowe	2,7783	2,259	2,6522
Min.	-4,96	-4,4	-7,18
Max.	4,96	3,85	4,4

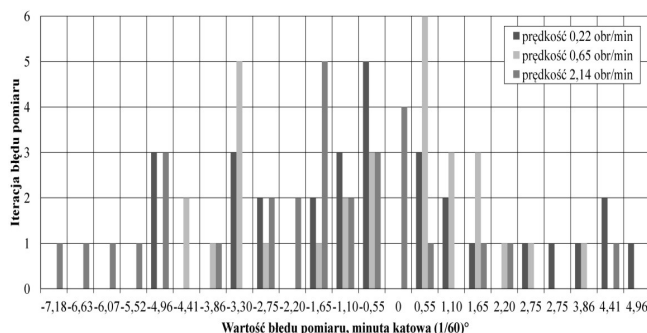
Analiza obejmowała wyznaczenie średniej arytmetycznej, wariancji i odchylenia standardowego.

W przypadku oceny przesuwu stolika liniowego uzyskane rezultaty skupione były głównie w przedziale wartości dodatnich. Dla prędkości 10 mm/min częstość wystąpienia błędu pomiaru była 4-krotna w zakresie od 0,01 do 0,04 mm. Znacznie większą powtarzalność przesuwu stolika liniowego uzyskano dla prędkości 30 mm/min, a błąd pomiaru o wartości 0,05 mm wystąpił 6-krotnie. W przypadku przesuwu stolika liniowego z prędkością 66 mm/min zaobserwowane błędy pomiaru dla 0,06 mm były 5-krotne.



Rys. 4. Częstości występowania błędów pomiaru dla stolika liniowego

Fig. 4. The frequency of measurement errors for linear table



Rys. 5. Częstości występowania błędów pomiaru dla stolika obrotowego

Fig. 5. The frequency of measurement errors for rotary table

Częstości występowania błędów przesunięcia dla stolika obrotowego zarejestrowano w przedziale wartości ujemnych. Podczas wykonywania ruchu obrotowego z prędkością 0,22 obr/min uzyskano 5-krotną powtarzalność dla błędu pomiaru -0,55' minuty kątowej. Dla prędkości 0,65 obr/min zapisane wyniki błędu pomiaru zawierały się w zakresie od -3,3' dla 5-krotnej wielokrotności do 0,55' dla 6-krotnej. Dla wyznaczania błędów pomiaru w trakcie prędkości 2,14 obr/min zaobserwowano 5-krotny stopień zdolności wyników dla wartości -1,65' minuty kątowej oraz 4-krotną iterację dla błędu pomiaru o wartości 0.

Częstość występowania wartości błędów pomiaru dla stolika liniowego i obrotowego przedstawiono w postaci wykresów słupkowych na rys. 4 i 5.

5. Wnioski

Z uzyskanych rezultatów pomiarów można stwierdzić, iż najmniejsze wartości błędów dokładności pozycjonowania uzyskano dla mniejszych prędkości przesuwu stolika liniowego i obrotowego. Dla przesuwu stolika liniowego zawierały się one w zakresie od -0,02 do 0,12 mm, natomiast dla stolika obrotowego w zakresie od -7,18 do 4,96 minut kątowych.

Z analizy stopnia zgodności błędów pomiarów można zauważyć, iż dla niższych prędkości rozrzut wyników był większy niż dla prędkości standardowej i wyższej. Świadczy to o większej powtarzalności uzyskiwanych wyników pomiaru z uwzględnieniem błędu przesuwu i obrotu.

6. Literatura

- [1] Honczarenko J.: Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 2000.
- [2] Józwick J., Kuric I., Król J., Król J. jr., Spiśak E.: Wybrane rozwiązania konstrukcyjne frezarek i centrów obróbczych sterowanych numerycznie. Postępy Nauki i Techniki, 13, 2012, 101-116.
- [3] Grzesik W., Niesłony P., Bartoszek M.: Programowanie obrabiarek NC/CNC. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 2010.
- [4] Kosmol J.: Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 2000.
- [5] Honczarenko J.: Współczesne obrabiarki a technologiczność konstrukcji przedmiotów. Mechanik, 10, 2011, 761-767.
- [6] Kapłonek W., Żurawski Ł.: Ocena mikronierówności powierzchni frezowanych z zastosowaniem optycznych metod pomiarowych i komputerowej analizy obrazu. Advances in Materials Science, Vol. 8, No. 2(16), 2008, 36-43.
- [7] Storch B., Zawada-Tomkiewicz A., Żurawski Ł.: Wspomaganie kształtowania ostrzy narzędzi skrawających systemem wizyjnym. PAK, nr 4, 2010, 334-336.
- [8] Charakterystyka wzorca 1 mm firmy LOMO (Rosja): [dostęp 06.12.2014] <http://www.laboratorium.dp.ua/item/2>

otrzymano / received: 07.06.2014

przyjęto do druku / accepted: 02.09.2014

artykuł recenzowany / revised paper