

## AUTOMATYCZNIE STEROWANY SUPORT POPZRZECZNY TOKARKI Z ELEKTRYCZNYM SILNIKIEM LINIOWYM

Artykuł omawia nowe rozwiązanie konstrukcyjne suportu narzędziowego tokarskiego wyposażonego w elektryczny bezpośredni serwonapęd liniowy oraz wyniki obliczeń kinematycznych, badań dynamicznych i technologicznych suportu modelowego w zastosowaniu do toczenia wykańczającego owalnych tłoków silnikowych. Zadania te wykonano w ramach projektu badawczego - grantu KBN nr 7 T07D-034-12 [L.2]. Zastosowanie współczesnej techniki CNC i nowoczesnego elektrycznego liniowego napędu bezpośredniego umożliwiło toczenie zarysu owalnego z programu NC z prędkością obrotową przekraczającą 2000 min<sup>-1</sup>, przy której suport narzędziowy wykonuje ruchy o małej amplitudzie <0,5 mm z przyspieszeniem ok. 70 ms<sup>-2</sup>.

## AUTOMATICALLY CONTROLLED A LATHE CROSS SLIDE WITH ELECTRIC LINEAR MOTOR

A new designing of a lathe tool slide equipped with electric servo drive is discussed as well as results of dynamic and technological test of model slide, used for noncircular workpieces turning, were presented in the work. The work has been carried out, as an example, for accuracy (finishing) turning of oval pistons. The research is within the grant of KBN nr 7 T07 D-034-12 [L.2]. Using a modern control CNC and up-to-date direct electric drive for linear feed made it possible to form a noncircularshape without a template. The rotational speed of a spindle was higher than 2000 rpm. In such condition the move of the lathe cross slide has amplitude <0.5 mm and acceleration 70 ms<sup>-2</sup>.

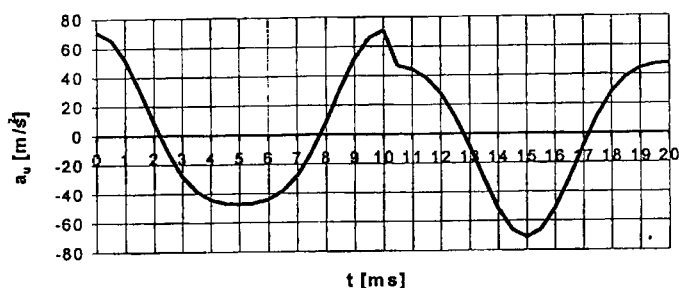
### 1. WSTĘP

Zwiększanie elastyczności technologicznej jest dominującą aktualnie tendencją w automatyzacji obrabiarek. Jest ona na tyle silna, że zaciera dotychczasowe granice podziału możliwości technologicznych nie tylko między poszczególnymi grupami obrabiarek w danym dziale np. tokarek, lecz także między obrabiarkami z różnych działów. Prezentowany w niniejszym referacie suport narzędziowy wraz z układem

serwonapedowym umożliwia wykonywanie operacji zataczania na każdej tokarce wyposażonej w impulsowy układ pomiaru kąta obrotu wrzeczona przy znacznie mniejszych kosztach uruchomienia produkcji i wyższych parametrach obróbki niż na zataczarkach.

## 2. WYMAGANIA DOTYCZĄCE DYNAMIKI RUCHU SUPORTU PODCZAS TOCZENIA PRZEDMIOTÓW NIEOKRĄGLYCH

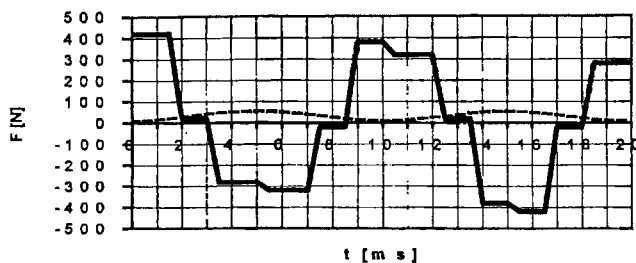
Podczas toczenia przedmiotów nieokrągłych serwonapęd suportu poprzecznego musi zapewnić uzyskanie przyspieszeń ok. 10-krotnie większych od spotykanych w serwonapędach obrabiarek sterowanych numerycznie. Na rys. 1 przedstawiono wykres zmian przyspieszenia suportu podczas toczenia powierzchni zewnętrznej owalnego tłoka silnika spalinowego [L.2].



Rys. 1. Wykres przyspieszenia suportu dodatkowego (osi U) podczas toczenia tłoka o zarysie owalu niesymetrycznego (owal 0,6 mm,  $n=3000 \text{ min}^{-1}$ )

Uzyskanie tak znacznych przyspieszeń przekracza możliwości konwencjonalnych serwonapędów z przekładniami śrubowo tocznymi [L.1]. W konstrukcji suportu zastosowano więc serwonapęd z elektrycznym silnikiem liniowym.

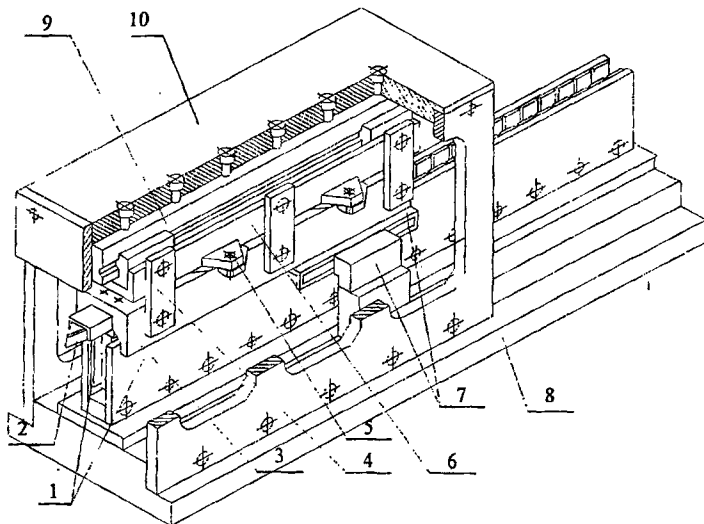
Przy niezwykle wysokich wymaganiach odnośnie dynamiki ruchu suportu w osi U podczas toczenia nieokrągłego siły bezwładności stanowią główny składnik obciążenia silnika liniowego. Na rys. 2 zaznaczono linią ciągłą przebieg sił bezwładności suportu o masie  $m=6 \text{ kg}$  i przyspieszeniach jak na rys. 1 z uwzględnieniem stałej siły tarcia  $F_t = 20 \text{ N}$  w prowadnicach. Linia przerywana obrazuje zmienność składowej promieniowej siły skrawania.



Rys. 2. Wykresy obciążenia silnika liniowego: siłami bezwładności i tarcia (linia ciągła) oraz oporami skrawania (linia przerywana) przy toczeniu tłoka

### 3. BUDOWA SUPORTU

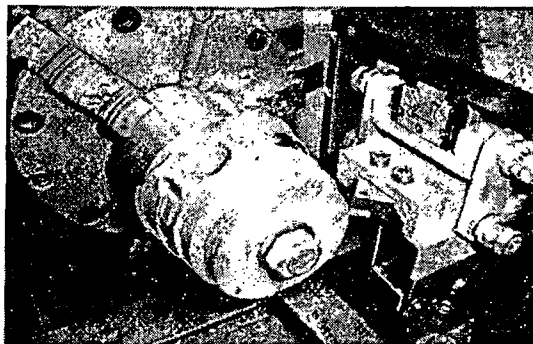
W konstrukcji suportu zastosowano synchroniczny silnik liniowy firmy ANORAD (USA) z podwójnym biegnikiem o symbolach katalogowych LEB-S-6-S [L.4]. Rys. 3 objaśnia dalsze szczegóły rozwiązania konstrukcyjnego tokarskiego suportu poprzecznego jako zintegrowanego elektromechanicznego zespołu tokarki.



Rys. 3. Suport poprzeczny do toczenia przedmiotów nieokrągłych

Oznaczenia:

1 - silnik liniowy, 2 - nóż tokarski, 3 - imak nożowy, 4 - wahacz pionowy, 5 - wahacz poziomy, 6 - przewód, 7 - linia i czujnik układu pomiaru bezpośredniego przemieszczenia w osi U, 8 - płyta dolna korpusu, 9 - przewodnica, 10 - płyta górna korpusu.



Rys. 4. Suport z rys. 3 w kontakcie z przedmiotem obrabianym stanowisku badawczym (widok od strony konika)

To nietypowe rozwiązanie konstrukcyjne suportu oparte na zasadzie inwersji [L.3] jest przedmiotem zgłoszenia wynalazczego w Urzędzie Patentowym.

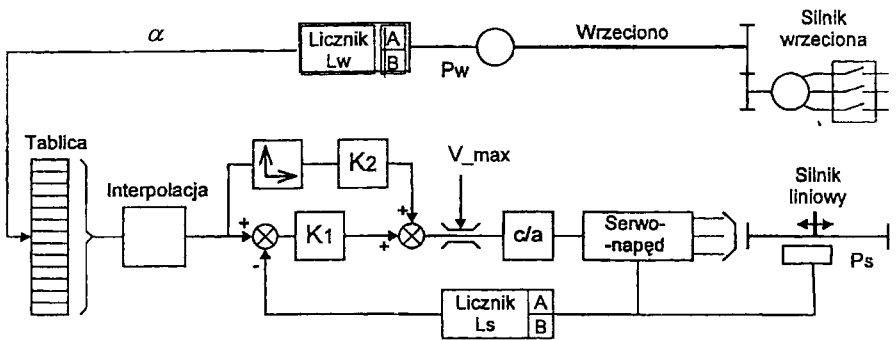
#### 4. UKŁAD STEROWANIA SUPORTEM

##### 4.1. Struktura sprzętowa

Jako jednostkę centralną układu sterowania wykorzystano typowy komputer osobisty kompatybilny z IBM-PC, z procesorem 386DX, bez koprocatora. Analiza takich czynników jak: czas budowy, dostępność, oprogramowanie narzędziowe, rozmiary, odporność na warunki pracy, możliwość obróbki wyników, wykazała przewagę takiego rozwiązania nad specjalizowanym układem mikroprocesorowym dostosowanym do realizacji zadania sterowania suportem. Wybór takiej struktury sterowania ma dodatkowe uzasadnienie badawczym i doświadczalnym charakterem suportu. W przeprowadzonych wstępnie próbach sprawdzono, że komputer osobisty nie zostaje zakłócony przez pracujący przekształtnik silnika liniowego.

##### 4.2. Sterowanie ruchem suportu

Konieczność uzależnienia położenia suportu od kątowej pozycji wrzeciona (przedmiotu) prowadzi do wyboru sterowania w trybie nadążnym (master-slave), w którym oś C (wrzeciono) jest wiodącą a suport (oś X lub U) jest członem nadążającym. Ruch suportu i narzędzia kształtującego zarys przedmiotu jest sterowany numerycznie za pomocą danych liczbowych opisujących współrzędne tego zarysu i zgrupowanych w tablicy (rys. 5).



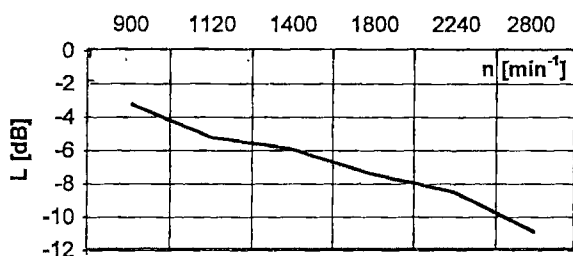
Rys. 5. Schemat blokowy układu sterowania

Na wale wrzeciona umieszczony jest przetwornik obrotowo-impulsowy Pw. Generowane impulsy zliczane są w liczniku Lw. Uzyskana w ten sposób informacja o położeniu wrzeciona  $\alpha$  wykorzystywana jest do adresowania tablicy zadanej trajektorii ruchu suportu. Wartość odczytana z tablicy wykorzystywana jest jako sygnał zadany dla obwodu regulacji położenia suportu. Dla uzyskania żądanej dokładności wykonywana jest interpolacja liniowa między sąsiednimi wartościami z tablicy. Układ regulacji składa się z dwóch torów: toru kompensacji uchybu i toru wyprzedzenia. Wartość rzeczywista położenia suportu uzyskiwana jest z przetwornika impulsowo-liniowego sprzężonego z silnikiem liniowym. Impulsy są

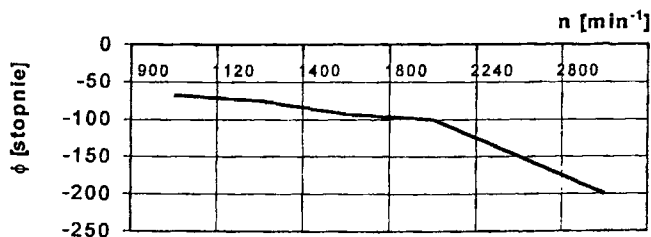
zliczane w dwukierunkowym liczniku  $L_s$ . Zależnie od kierunku ruchu suportu wartość licznika  $L_s$  jest zwiększana lub zmniejszana. Uchyb położenia, zdefiniowany jako różnica położenia zadanego i rzeczywistego, obliczany jest w bloku sumatora  $S1$ . Tak obliczony uchyb jest następnie mnożony przez współczynnik  $K1$  toru kompensacji uchybu. W torze wyprzedzenia znajduje się blok różniczkowania sygnału zadanego położenia. Zróżniczkowany przebieg położenia zadanego suportu, odpowiadający wzorcowej prędkości, mnożony jest przez współczynnik  $K2$  toru wyprzedzenia. Sygnały wyjściowe z obu torów sumowane są w bloku sumatora  $S2$ . Wynik przetworzenia zostaje ograniczony do zakresu dopuszczalnych prędkości ruchu. Po przetworzeniu cyfrowo-analogowym sygnał ten jest podawany do serwonapędu. Jest on interpretowany jako sygnał zadany prędkości. Sygnał ten jest wykorzystywany przez wewnętrzne układy regulacji serwonapędu.

## 5. WYNIKI BADAŃ DYNAMICZNYCH

Badania dynamiki suportu polegały głównie na wyznaczeniu jego charakterystyk częstotliwościowych dla wymuszeń sinusoidalnych o amplitudzie 0,3 mm przy obrotach wrzeciona w zakresie od  $900 \text{ min}^{-1}$  do  $2800 \text{ min}^{-1}$ , zmienianych skokowo w postępie geometrycznym z ilorazem  $\phi = 1,26$ . Wartości te wynikają z przewidywanych zadań technologicznych. W układzie sterowania przyjęto jednakowy współczynnik wzmocnienia prędkościowego  $K1 = 150 \text{ s}^{-1}$  (bez udziału toru wyprzedzenia, tzn. przy  $K2 = 0$ ).



Rys. 6. Logarytmiczna charakterystyka amplitudowa osi U dla  $K1 = 150 \text{ s}^{-1}$

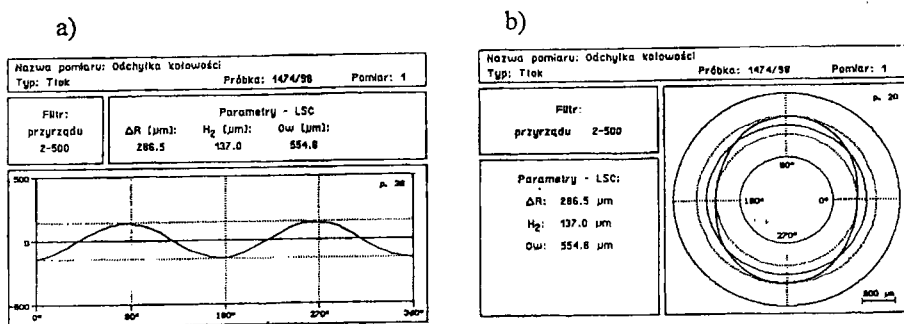


Rys. 7. Logarytmiczna charakterystyka fazowa osi U dla  $K1 = 150 \text{ s}^{-1}$

Dynamikę suportu można istotnie poprawić przez uaktywnienie toru wyprzedzenia. Na drodze doświadczalnej ustalono optymalną wartość współczynnika wzmocnienia w tym torze  $K_2 = 0,35$ .

## 6. WYNIKI BADAŃ TECHNOLOGICZNYCH

Badania technologiczne polegały na toczeniu tłoków o zarysie owalu symetrycznego oraz niesymetrycznego z prędkością obrotową wrzeczona  $n_c = 2800 \text{ min}^{-1}$ . Na rys. 8 załączono wykresy odchyłek kołowości zarysu tłoka po obróbce. Pomiarów dokonano na przyrządzie Talyrond 73 w Laboratorium Badawczym OBROiUS w dwóch przekrojach prostopadłych do osi Z tłoka i przesuniętych wzdłuż tej osi. Pomiarzy ujawniły występowanie błędów stożkowatości wykonanej powierzchni oraz skrzywienie owalu względem osi Z. Po zwiększeniu gęstości próbkowania ( $T_0 = 0,2 \text{ ms}$ ) uzyskano zmniejszenie obu błędów.



Rys. 8. Wyniki pomiarów odchyłki kołowości tłoka wykonanego na stanowisku badawczym przy  $n = 2800 \text{ min}^{-1}$  i amplitudzie  $A = 300 \mu\text{m}$   
 a) we współrzędnych prostokątnych, b) we współrzędnych biegunowych

## 7. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany w niniejszym referacie automatycznie sterowany suport poprzeczny tokarki jest obrabiarkowym zespołem funkcjonalnym o dużych możliwościach dynamicznych przy bardzo niskiej energochłonności (ok. 300 W). Przeprowadzone badania dynamiczne i technologiczne potwierdziły jego przydatność techniczną do wysokowydajnego toczenia przedmiotów nieokrągłych.

## LITERATURA

- [1] Jenrich J., Fritz H., Fahrbach H., Rudolff H., Philipp E.: *Direktantriebe im Werkzeugmaschinenbau*; Fertigungstechnisches Kolloquium, Stuttgart '94.
- [2] Krajewski S.: *Badania dynamiki i dokładności suportu narzędziowego z elektrycznym napędem liniowym w zastosowaniu do toczenia i szlifowania przedmiotów nieokrągłych*; Sprawozdanie z grantu nr T07D-03412, Poznań 98.
- [3] Wrotny L.T.: *Projektowanie obrabiarek - zagadnienia ogólne i przykłady obliczeń*; WNT, Warszawa 1986.
- [4] Katalog firmowy silników liniowych ANORAD (USA).