

dr inż. Stefan Krajewski  
Politechnika Poznańska  
mgr inż. Maciej Pijanowski, mgr inż. Bogdan Konradowski  
Ster.-Projekt Poznań

## ZAUTOMATYZOWANA ZATA CZARKA DO POWIERZCHNI ZEWNĘTRZNYCH I WEWNĘTRZNYCH

*Referat prezentuje nowe rozwiązanie konstrukcyjne zautomatyzowanej zataczarki, umożliwiającej wykonywanie nieokrągłych powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych narzędziami tokarskimi, usytuowanymi w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś obrotu przedmiotu. Ruch obrotowy przedmiotu jest głównym ruchem roboczym, natomiast ruchy posuwowe w kierunkach równoległym (oś Z) oraz prostopadłym (oś Y) do osi wrzeciona wykonuje suport narzędziowy w kształcie pionowej płyty z trzpieniowymi imakami nożowymi: górnym – tokarskim, usytuowanym ponad powierzchnią obrabianą oraz dolnym – wytaczarskim, usytuowanym pod powierzchnią obrabianą (wewnątrz przedmiotu). Każda składowa ruchu posuwowego posiada własny elektryczny układ serwonapędowy. Oś Y otrzymuje napęd od elektrycznego silnika liniowego. Komputerowy układ sterowania umożliwia interpolację liniową wszystkich sterowanych osi.*

## THE AUTOMATED RELIEVING LATHE FOR INNER AND OUTER SURFACES

*The content of the paper is the presentation of a new constructional solution for relieving lathe, enabling working of out-of-round inner and outer surfaces with the turning tools, situated in vertical plane which includes the axis of rotation of the workpiece. Rotation of the workpiece is the main working motion, and the feed motions in directions parallel (axis Z) and perpendicular (axis Y) to the spindle are processed by the slide shaped in vertical plate with the arbor cutter holders: turning – outer and boring – inner. Each feed component has its own electric servo drive. The Y axis gets the drive from electric linear induction motor. The computerizing control system enables linear interpolation of all controlled axes.*

## 1. WSTĘP

Istotną cechą zataczarek jako grupy klasyfikacyjnej obrabiarek w dziale tokarek [5] jest dodatkowy napęd suportu narzędziowego w kierunku prostopadłym do osi Z obrabiarki, powiązany kinematycznie z ruchem obrotowym wrzeciona, tzn. z osią C. Stwarza to możliwość toczenia przedmiotów nieokrągłych. W zataczarkach konwencjonalnych członem wykonawczym dodatkowego napędu jest z reguły mechanizm krzywkowy. Występujące w nim zjawiska fizyczne, typowe dla mechanicznych powiązań kinematycznych, takie jak: podatność, tarcie, luzy, stwarzają naturalną barierę dla wydajności i dokładności obróbki. Ta bariera nie pozwala na wykorzystanie zdolności skrawnych współczesnych ostrzy skrawających metale, a przez to zmniejsza wydajność procesu toczenia nieokrągłego. Innym czynnikiem ograniczającym efektywność ekonomiczną obróbki jest długi czas przebrojenia obrabiarki, spowodowany koniecznością wykonania krzywki i jej wymianą, zmianą przełożenia przekładni pośredniczących między wrzecionem a krzywką, wynoszący od kilku do kilkunastu godzin. Potrzebę kształtowania rysów nieokrągłych na tokarkach dyktuje w głównej mierze przemysł motoryzacyjny. Zarówno tłoki jak i pierścienie tłokowe silników spalinowych wymagają operacji toczenia nieokrągłego, stawiając suportowi poprzecznemu tokarki najwyższe, niespotykane w innych operacjach obróbki skrawaniem, wymagania dynamiczne [4]. Szybki postęp jaki dokonał się w ostatnich latach w technice cyfrowej i w automatyzacji napędu elektrycznego stwarza możliwość zastąpienia mechanicznych powiązań kinematycznych funkcyjnymi zależnościami programowymi, realizowanymi w technice cyfrowej, a mechanizmu krzywkowego programem tzw. krzywki elektronicznej i elektrycznym serwomechanizmem liniowym. Taki serwomechanizm z elektrycznym silnikiem liniowym zastosowano w konstrukcji poprzecznego suportu tokarskiego, wykonanego i przebadanego w byłym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Obrabiarek i Urządzeń Specjalnych w Poznaniu w latach 1997-1998 w ramach tematu finansowanego przez KBN [1]. Temat był prezentowany na konferencji AUTOMATION 2000 oraz w miesięczniku naukowo-technicznym PAR [3]. Suport jako człon wykonawczy elektrycznego serwomechanizmu liniowego, można było stosować na tokarce o dowolnym stopniu automatyzacji, wyposażonej w układ pomiarowy kąta położenia wrzeciona (osi C). Suport odznaczał się delikatną budową (jego masa wraz z biegnikiem silnika liniowego nie przekraczała 1,5 kg) i nie znalazł zastosowania w przemyśle.

Doświadczenia zdobyte przy realizacji w/wym. zadania badawczo-konstrukcyjnego KBN wykorzystano przy realizacji tematu konstrukcyjnego, zgłoszonego przez Fabrykę Pierścieni Tłokowych „PRIMA” w Łodzi, dotyczącego opracowania i wykonania zautomatyzowanej zataczarki specjalnej do obróbki pierścieni uszczelniających tłoki w cylindrach silników spalinowych lokomotyw.

## 2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

### 2.1. Przeznaczenie maszyny

Prezentowana zataczarka przeznaczona jest do toczenia nieokrągłego powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych rysów pierścieni tłokowych o średnicach od  $\phi_{zmin} = 150$  mm do  $\phi_{zmax} = 280$  mm z żeliwa ciągliwego, ukształtowanych wstępnie przez odlewanie tulei, jej cięcie i szlifowanie powierzchni czołowych. Kształtowanie właściwego rysu pierścienia przez toczenie i wytaczanie dokonuje się w jednym przejściu. Przed

wprowadzeniem do strefy obróbki półfabrykaty podlegają pakietowaniu na specjalnym urządzeniu orientującym, zespolonym z korpusem maszyny i obsługiwanym przez człowieka.

## 2.2. Wymagania kinematyczne i energetyczne dotyczące napędu głównego

Określono je na podstawie obliczeń według zależności obowiązujących w obróbce wiórowej dla okresu trwałości ostrza  $T = 90$  min. Uzyskana wartość ekonomicznej prędkości  $v_{sk}=140$  m/min wymaga od napędu głównego odpowiednio:

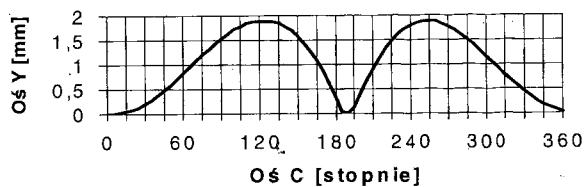
- dla pierścieni o średnicy  $\phi 280$  mm prędkości obrotowej wrzeciona  $n_{280}=159$   $\text{min}^{-1}$ ,

- dla pierścieni o średnicy  $\phi 150$  mm prędkości obrotowej wrzeciona  $n_{150}=297$   $\text{min}^{-1}$ .

Tak więc rozpiętość obrotów wrzeciona obrabiarki wynosi  $150$   $\text{min}^{-1} < n < 300$   $\text{min}^{-1}$ . Wymagane wartości posuwu wzdłużnego są zawarte w granicach  $0,05 \div 0,10$  mm/obr. Porównanie wymiarów półfabrykatów i gotowych przedmiotów pozwoliło na określenie maksymalnej wartości naddatku zdejmowanego jednocześnie przez noże tokarskie i wytaczarskie w jednym przejściu. Ta wielkość oraz maksymalna wartość posuwu umożliwiły obliczenie wartości sił oraz mocy skrawania. Na podstawie tych obliczeń dobrano do napędu głównego obrabiarki silnik firmy Rexroth Indramat [6] typu 2AD164C-B350R1-FS26-D2V1 o mocy  $N = 15$  KW, napędzający wrzeciono poprzez przekładnię z pasem zębatym o przełożeniu  $i = 1/3$ .

## 2.3. Wymagania kinematyczne i energetyczne dotyczące suportu poprzecznego

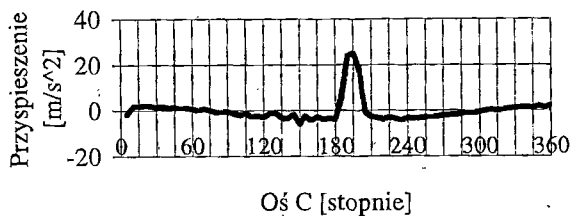
Wynikają z zarysu pierścienia oraz sił technologicznych i dynamicznych działających na suport podczas obróbki. W literaturze technicznej brakuje opisu matematycznego zarysu pierścienia tłokowego. Dokonano więc pomiarów pierścienia gotowego, przyjętego w charakterze wzorca, zapisując uzyskane wartości cyfrowe we współrzędnych biegunowych.



Rys. 1. Zarys pierścienia tłokowego i wykres drogi suportu poprzecznego w funkcji kąta obrotu wrzeciona zataczarki

Dla uzyskania przestrzennie zwartej bryły całej maszyny zamocowano silnik liniowy poziomo z tyłu jej korpusu. Biegnik silnika wykonuje ruchy nawrotne w kierunku równoległym do osi wrzeciona, a połączona z nim płyta posiada listwę prowadniczą kulkowej, usytuowaną ukośnie względem toru ruchu biegnika, zamieniając poziome ruchy silnika na pionowe ruchy płyty suportu wraz z przymocowanymi do niej imakami noży do toczenia zewnętrznego oraz wytaczadła z nożami do obróbki otworu. W efekcie dwukrotnego różniczkowania drogi suportu, wynikającej z cyfrowego zarysu jak na rys. 1, uzyskano wykres wymaganych przyspieszeń suportu poprzecznego

(rys. 2). Maksymalna chwilowa wartość przyspieszenia, widoczna w środkowej części wykresu wynosi  $25 \text{ ms}^{-2}$  i wykracza poza możliwości napędów konwencjonalnych [1].



Rys. 2. Wykres przyspieszeń suportu przy toczeniu pierścieni tłokowych z prędkością  $140 \text{ m/min}$  dla  $n = 300 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

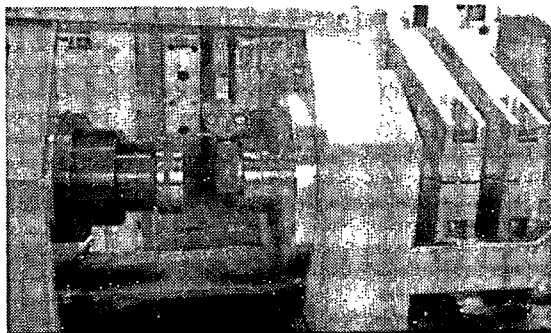
Wartość masy elementów suportu, wykonujących ruch w osi X oszacowano na  $60 \text{ kg}$ , a konieczne do jej przyspieszania wartości siły dynamicznej  $F_a$  zamieszono w tablicy 1.

**Tablica 1**

Podstawowe parametry eksploatacyjne suportu przy toczeniu pierścieni tłokowych

$n \text{ [1/min]}$	150	300
$a_{\text{max}} \text{ [m/s}^2\text{]}$	6,25	25
$F_a \text{ [N]}$	375	1500
$F_r \text{ [N]}$	2014,3	2014,3
$F_s \text{ [N]}$	2389,3	3514,3

### 3. ELEKTRYCZNE SERWONAPĘDY SUPORTU ZATA CZARKI



Rys. 3. Fotografia strefy roboczej zataczarki

Wjazd i wyjazd zespołu noży toczących oraz posuw w osi Z wykonuje serwonapęd z silnikiem firmy INDRAMAT typu MHD093B-035-PG0-LA poprzez śrubę toczną firmy STAR typu FEM-E-C 50x5R [6].

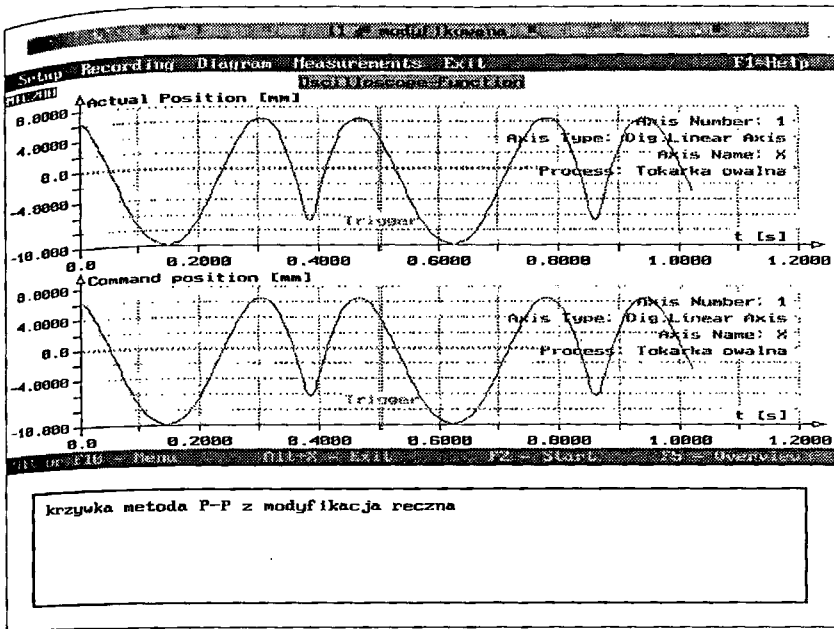
W serwonapędzie ruchu poprzecznego (pionowego) zataczarki zastosowano silnik liniowy typu LSP160U-RU2-BN [6] chłodzony wodą.

#### 4. OPIS UKŁADU STEROWANIA ZATACZARKI

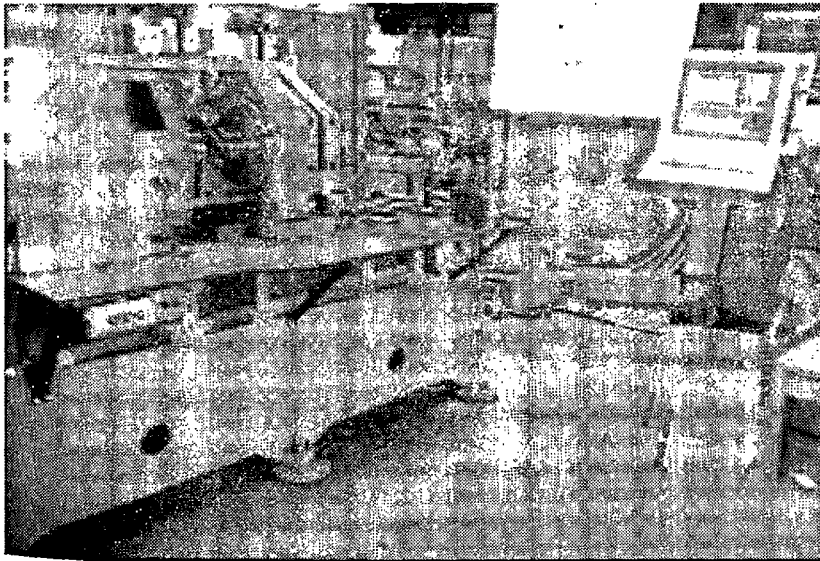
Automatyzację zataczarki oparto na sterowaniu numerycznym firmy INDRAMAT, typu MTC200. System ten posiada bowiem funkcje bardzo szybkiej krzywki elektronicznej. Zapewnia ona wystarczającą dynamikę zadawania pozycjonowania osi Y w zależności od kąta położenia wrzeciona. Drugim czynnikiem decydującym o wyborze sterowania był dobór odpowiednich silników. Firma INDRAMAT produkuje silniki liniowe synchroniczne o bardzo wysokiej dynamice, zastosowane przez autorów już wcześniej, w automatycznej szlifierce. Silniki te łączone są z procesorem za pomocą światłowodowego łącza typu SERCOS i zapewniają właściwą dynamikę ruchów oraz reakcji na sygnały zadające. Funkcja krzywki elektronicznej jest realizowana wewnątrz napędu osi Y. Program sterujący poprzez łącze SERCOS pobiera w czasie rzeczywistym aktualne informacje o chwilowym położeniu kątowym wrzeciona. Następnie porównuje odczytaną wartość z tabelą, która zawiera kolejne wartości położenia osi Y. Realizacja przesuwu odbywa się już automatycznie. Widać z tego, że proces realizacji krzywki odbywa się jakby w tle, musi być jedynie zainicjowany. Polega to na powiązaniu osi Y z osią C wrzeciona. Funkcja ta musi zostać zrealizowana z zachowaniem pewnych specyficznych wymogów, np. w punkcie startowym oś Y musi mieć zadane zerowe przesunięcie. Dlatego np. wartości w tabeli podaje się najczęściej jako względne wartości przesunięć osi Y ( $\Delta Y$ ). Rozwiązanie to umożliwia między innymi przesuwanie strefy wykonywania oscylacji na osi Y. Ujemną cechą tego rozwiązania jest konieczność uaktywniania krzywki elektronicznej zawsze w ten sam sposób. W przypadku zerwania synchronizacji w czasie obróbki (np. ze względu na przeciążenie) nie jest możliwa kontynuacja jej działania od miejsca przerwania, lecz należy wykonać cały cykl synchronizacji.

Oddzielnym zadaniem jest stworzenie tabeli pozycji krzywki. Dla znanych funkcji matematycznych sprawa jest prosta. Natomiast dla funkcji składowych lub, jak w przypadku pierścieni - nie opisanych matematycznie, stworzenie odpowiedniej tabeli może być kłopotliwe. Trudność polega bowiem z jednej strony na opisaniu funkcji z drugiej na określeniu ilości i rozmieszczenia punktów zadanych dla serwonapędu. Krzywka elektroniczna jest wpisywana łącznie z programem NC.

Zastosowany system CNC posiada wiele funkcji zdecydowanie ułatwiających uruchomienie aplikacji. Składa się na niego zintegrowane oprogramowanie umożliwiające parametryzację napędów, parametryzację systemu, oprogramowanie PLC, oprogramowanie CNC, itp. - z jednego miejsca. Ponadto można archiwizować i porównywać nie tylko parametry i programy, ale również przebiegi czasowe różnych wielkości napędów osiowych. Na rys. 4 pokazano przykładowo przebiegi czasowe zadanych i uzyskanych w trakcie obróbki wartości drogi suportu w osi Y. W ten sposób możliwe jest zbadanie rzeczywistych przebiegów zadanej krzywki zarówno z obciążeniem, jak i bez niego, a co najważniejsze bez konieczności zastosowania specjalnych przyrządów pomiarowych.



Rys. 4. Wydruk przebiegów czasowych pozycji suportu poprzecznego zataczarki zapisanych w pamięci (zarchiwizowanych) układu CNC



Rys. 5. Fotografia zataczarki

## 5. PODSUMOWANIE

Zaprezentowana w referacie zautomatyzowana zataczarka (rys. 5) do obróbki powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych jest prototypem, który spełnił wszelkie wymagania dotyczące wykonawstwa pierścieni tłokowych, zarówno wydajnościowe jak i jakościowe. Została wdrożona do produkcji w Fabryce Pierścieni Tłokowych w Łodzi gdzie efektywnie pracuje od początku 2003 roku.

## LITERATURA

- [1] Kosmol J.: Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie. WNT, Warszawa 1998 r.
- [2] Krajewski S.: Badania dynamiki i dokładności suportu narzędziowego z elektrycznym silnikiem liniowym w zastosowaniu do toczenia i szlifowania przedmiotów nieokrągłych. Projekt badawczy KBN nr T07D-03412. OBROiUS Poznań, 1998 r.
- [3] Krajewski S.: Automatycznie sterowany suport tokarki. Pomiar Automatyki, Robotyka 1/2000, (s. 14-17).
- [4] Krajewski S.: Wymagania kinematyczne i dynamiczne efektywnego toczenia tłoków i pierścieni tłokowych do silników spalinowych. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, vol. 23, nr 2, (s. 139-145), Komisja Budowy Maszyn PAN – Oddział w Poznaniu, 2003 r.
- [5] Wrotny L., T.: Obrabiarki skrawające do metali, WNT, Warszawa 1974 r.
- [6] Katalogi firm: REXROTH-INDRAMAT, REXROTH-STAR, wersja CD 2000 r.