ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 198
MECHANIKA z. 83 Nr kol. 87

Tadeusz TYRLIK

WAŻNIEJSZE PRACE NAUKOWE PROWADZONE W ZESPOLE OBRABIAREK W DZIESIĘCIOLECIU 1974-84

Głównym kierunkiem działania Zespołu Obrabiarek w zakresie naukowym jest konstrukcja obrabiarek do skrawania metali, zarówno jako jednostek ob róbczych, jak i zespołów obrabiarek służących do automatycznej realizacji złożonych procesów obróbczych. Ze względu na to, że obrabiarka stanowi złc żony megaukład konstrukcyjno-eksploatacyjny, w którym muszą współdziałać różne typy urządzeń, zakres tematyczny zagadnień naukowych potrzebny do prawidłowej konstrukcji i projektowania obrabiarek jest bardzo szeroki. Jest on tak szeroki, że włączanie go w całości do działalności naukowej jednego zespołu jest niemożliwe. Z tego też powodu stworzono główne kryte ria doboru tematyki naukowej do realizacji w ramach zespołu, oparte na n stępujących zasadach:

- tematyka powinna przyczyniać się do rozwoju postępu technicznego w budo wie obrabiarek,
- powinna być zbieżna z tendencjami światowymi,
- powinna być ściśle powiązana z potrzebami konkretnych krajowych zakładó przemysłowych, zwłaszcza regionu śląskiego,
- powinna stanowić kanwę do rozwijania prac doktorskich i habilitacyjnych będących podstawą do rozwoju kadry naukowej dla potrzeb Wydziału.

Opierając się na takich przesłankach dobór tematyki prac naukowo-badaw czych - stosownie do możliwości wewnętrznych i zewnętrznych oraz zainter sowań indywidualnych - pracownicy Zespołu Obrabiarek w minionym okresie p wadzili prace w następujących grupach tematycznych:

1. Konstrukcja zespołów mechanicznych obrabiarek, ich elementów i urze dzeń związanych z obrabiarkami.

2. Napęd i sterowanie hydrauliczne w zastosowaniu do obrabiarek, ale również i innych urządzeń.

3. Sterowanie adaptacyjne obrabiarek.

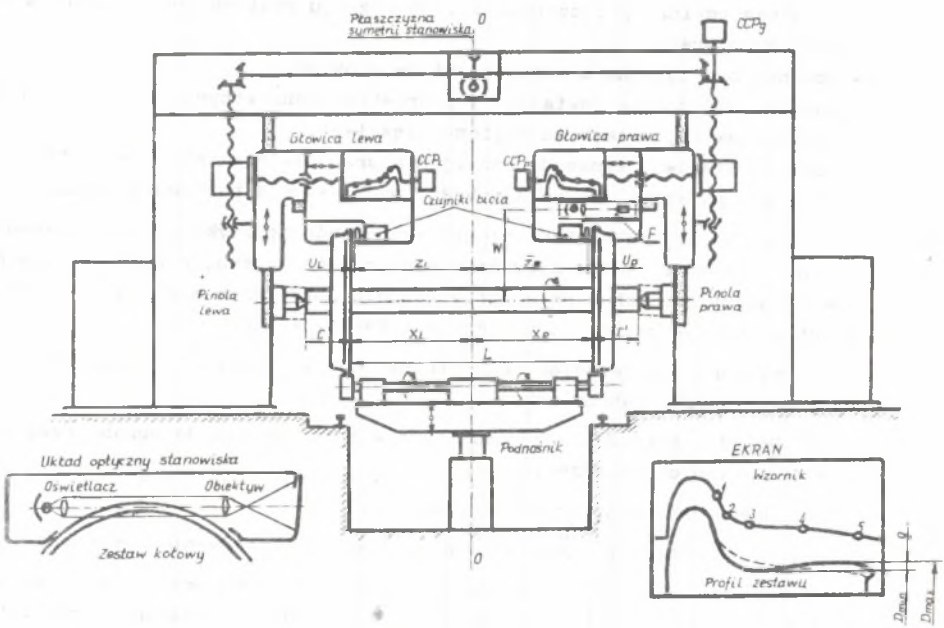
4. Zastosowanie pneumatyki w konstrukcji i sterowaniu obrabiarek.

Przegląd najważniejszych prac naukowo-badawczych prowadzonych na prze strzeni ostatnich lat przez pracowników Zespołu Obrabiarek - wraz z ich krótkim naukowo-merytorycznym uzasadnieniem - przedstawia poniższy opis.

1. Konstrukcja części mechanicznych obrabiarek, ich zespołów i urządzeń

Wiodącym kierunkiem Zespołu Obrabiarek, z uwagi na profil kształcenia studentów - konstruktorów w głównej mierze - jest konstrukcja obrabiarek oraz ich zespołów, takich jak napędy główne, posuwowe itp. Zainteresowania konstrukcyjne Zespołu pozwoliły na nawiązanie ścisłych kontaktów z poważnymi zakładami budowy obrabiarek, jak np. Fabryka Obrabiarek "Rafamet" w Kuźni Raciborskiej, "Defum" w Dąbrowie Górniczej i in.

Efektem kilkuletniej współpracy z F.O. "Rafamet" był projekt konstrukcyjny specjalnego stanowiska do kompleksowych geometrycznych cyfrowych pomiarów kolejowych zestawów kołowych [2]. Stanowisko to jest (rys. 1) najważniejszym elementem linii technologicznej przeznaczonej do zautomatyzowanej regeneracji zestawów kołowych. Zasadniczą rolę w procesie pomiaru zestawu kołowego spełniają głowice pomiarowe wyposażone w optyczne układy projekcji profili obręczy oraz układy fotoelektryczne rozmieszczone wzdłuż zarysu



Rys. 1. Projekt stanowiska do kompleksowych geometrycznych cyfrowych pomiarów kolejowych zestawów kołowych

wzorników tych profili. Cykl pomiarowy zestawów kołowych na opisywanej maszynie metrologicznej jest zautomatyzowany, z możliwością wyświetlania charakterystycznych wielkości zestawu względnie wydruku danych na taśmie.

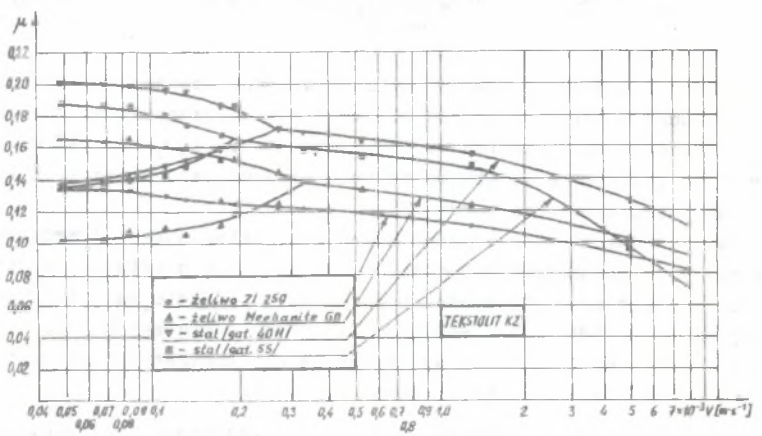
Maszyna dokonuje pomiaru takich wielkości charakterystycznych, jak:

- zużycia profili tocznych obręczy,
- rozstaw osadzenia kół na osi,
- bicie osiowe obydwu kół zestawu,
- wartość średnic tocznych obydwu kół zestawu,
- klasyfikacja zestawów do trzech grup, tj. dobre nadające się do dalszej eksploatacji, do regeneracji, złe, tzn. nie nadające się do dalszej regeneracji.

Na podstawie opracowanej dokumentacji dla "Rafametu" produkcję rozpoczęły Kolejowe Zakłady Maszyn i Sprzętu Drogowego "Kolzam" w Raciborzu. Maszyny metrologiczne oznaczone symbolem BZB-112 produkowane będą zarówno dla potrzeb krajowych, jak i wszystkich krajów RWPG. W ten sposób Polska stała się jedynym producentem tego typu maszyn w krajach RWPG.

W zespole Obrabiarek zajmowano się również konstrukcją połączeń prowadnicowych, a w szczególności doborem materiałów na te połączenia. Nowoczesnym obrabiarkom, a zwłaszcza sterowanym numerycznie, stawia się wysokie wymagania eksploatacyjne, przede wszystkim dokładnościowe. Z punktu widzenia połączeń prowadnicowych, na dokładność obróbkową przedmiotów wpływają:

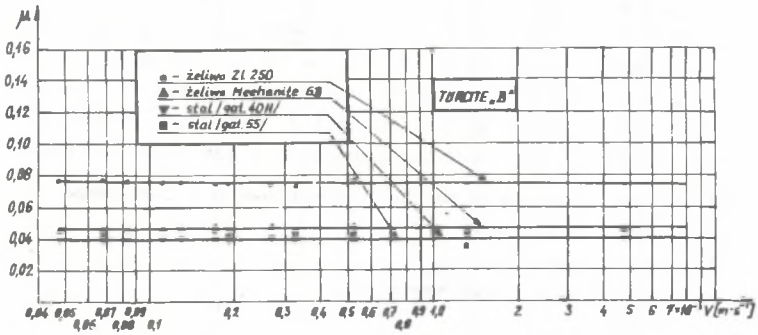
- wartość różnicy współczynników tarcia spoczynkowego i ruchowego,
- płynność ruchu zespołu posuwowego,
- zdolność tłumienia drgań,
- szywność stykowa połączeń prowadnicowych,
- odpowiednia żywotność.



Rys. 2. Wykres zmian współczynników tarcia ruchowego w funkcji prędkości posuwowej dla tworzywa Tekstolit K2 w skojarzeniu z podanymi materiałami metalowymi

W ostatnim dziesięcioleciu wyraźnie zarysowała się tendencja powrotu do połączeń prowadnicowych o styku bezpośrednim, przy równoczesnym wykorzystaniu korzystnych właściwości ślizgowych i tłumiących specjalnych tworzyw sztucznych (SKC-3, Turcite "B", Graplast, Tarflen i innych). Przeprowadzone w Zespole Obrabiarek - głównie dla F.O. "Rafamet" - badania różnych kombinacji materiałów metalowych (stale 55, 40H, żeliwa Meechanite GD, Żl250) z wymienionymi tworzywami sztucznymi, pozwoliły na:

- określenie właściwości ślizgowych,
- pomiar dokładności pozycjonowania,
- pomiar odkształceń stykowych,
- pomiar zużycia.



Rys. 3. Wykres zmian współczynników tarcia ruchowego w funkcji prędkości posuwowej dla tworzywa Turcite "B" w skojarzeniu z podanymi materiałami metalowymi

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wybrane wykresy zależności współczynnika tarcia w funkcji prędkości ruchu dla wyjątkowo niekorzystnych par ślizgowych (μ duże oraz duża różnica współczynników tarcia $\Delta\mu$ - rys. 2) oraz skojarzeń materiałowych o wyjątkowo dobrych własnościach ślizgowych (μ małe oraz brak ruchu skokowego - rys. 3).

Wyniki wymienionych czterech grup badań materiałów połączeń prowadnicowych pozwoliły na zgromadzenie bogatego materiału dla praktycznych potrzeb konstruktorów obrabiarek. Opisywane badania były przedmiotem pracy naukowo-badawczej dla F.O. "Rafamet" oraz podstawą pracy doktorskiej [1].

Z innych prac konstrukcyjnych wykonywanych dla konkretnych potrzeb przemysłowych i wdrożonych do praktyki można wymienić:

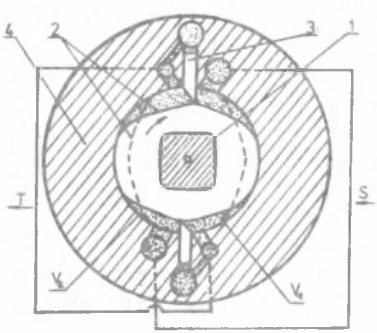
- Konstrukcja specjalnej obrabiarki do rowków w zestawach kołowych, dla Huty 1 Maja w Gliwicach. Wykonana wg tego projektu frezarka pozwoliła wydatnie skrócić czas obróbki, oraz zwiększyć dokładność.

- Badania doświadczalne oraz opracowanie zaleceń konstrukcyjnych i technologicznych układów hydraulicznych i skrzynek napędowych dla polepszenia cichobieżności wiertarko-frezarek. Praca dla F.O. "Defum" w Dąbrowie Górniczej.
- Kilka prac związanych z modernizacją głównie napędów głowic pomiarowych maszyny metrologicznej typu BZB-112, produkowanej przez KZMiSD "Kolzam" w Raciborzu.
- Konstrukcja czujników pomiarowych momentu skręcającego dla F.O. "Defum" oraz siły skrawania dla F.O. "Rafamet".

2. Napęd i sterowanie hydrauliczne w zastosowaniu do obrabiarek i innych urządzeń technologicznych

Prace naukowo-badawcze [3] prowadzone w tej grupie tematycznej dotyczyły podstawowych badań oraz konstrukcji elementów i zespołów hydraulicznych, przeznaczonych do budowy nowoczesnych obrabiarek, pras, wtryskarek i maszyn odlewniczych. Elementami tymi są: pompy, rozdzielacze zaworowe, zawory proporcjonalne i serwomechanizmy hydrauliczne. Większość prac z tej tematyki wykonywana była dla Fabryki Elementów Obrabiarkowych "PONAR-WADOWICE" w Wadowicach. Zakład ten jest wiodący w kraju i specjalizuje się w produkcji różnego typu elementów i zespołów hydraulicznych.

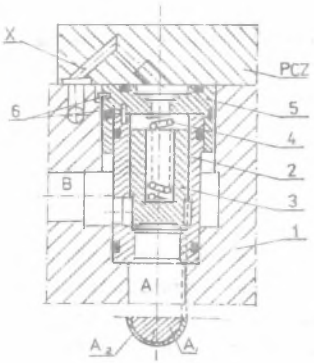
Pompy wymagają takich podstawowych walorów użytkowych, jak: cichobieżność, małe zużywanie się części trących oraz mała pulsacja wydajności. Prowadzone w Zespole Obrabiarek badania dotyczyły pompy łopatkowej, dla której ze względu na zwiększenie żywotności przyjęto odwróconą zasadę budowy, tzn. wirnik kształtowy, a łopatki wykonują ruch posuwisto-zwrotny w stojanie o okrągłym kształcie bieżni. Zasadę pracy zaprojektowanych pomp ilustruje rys. 4. Prace projektowe obejmowały szeroki zakres badań oraz konstrukcję pełnego typoszeregu pomp, o wydajności od 2,5 dm^3/min. do 63 dm^3/min. Przewidziano również możliwość łączenia kilku pomp w jednostki wielostrumieniowe, odciążanie łopatek oraz optymalizację zarysu krzywkowego wirnika z uwagi na minimum pulsacji wydajności.



Rys. 4. Zasada pracy pompy krzywkowo-łopatkowej:
1 - wał, 2 - wirnik, 3 - łopatki, 4 - korpus (stojana)

Rozdzielacze zaworowe, zwane również logicznymi, stanowią nowy element sterujący stosowany w nowoczesnych maszynach. Odznaczają się one wieloma zaletami, takimi jak: prosta budowa, małe opory przepływu, regulowane otwieranie i zamykanie przepływu, większe nominalne wartości przepływu, mała wrażliwość na zanieczyszczenia oleju oraz możli-

wość budowania - na bazie rozdzielaczy zaworowych - typowych elementów regulujących (zawór dławiący, przelewowy i proporcjonalny ciśnienia lub przepływu). Konstrukcję tego zaworu [4] ilustruje rys. 5. Dla potrzeb F.E.O. "Ponar-Wadowice" zaprojektowano rozdzielacze zaworowe o wielkościach nominalnych 16, 20 i 32.



Rys. 5. Rozdzielacz zaworowy:
1 - korpus, 2 - tuleja gniazda, 3 - grzybek, 4 - sprężyna, 5 - tuleja górna, 6 - pokrywa sterująca PCZ, A_1 - powierzchnia dolna grzybka, A_2 - powierzchnia pierścieniowa

Stan otwarty lub zamknięty rozdzielacza zaworowego jest uzależniony od wielkości sił opisanych nierównością:

$$A_1 \cdot p_A + A_2 \cdot p_B \gtrless (A_1 + A_2) \cdot p_x + S_o \qquad (1)$$

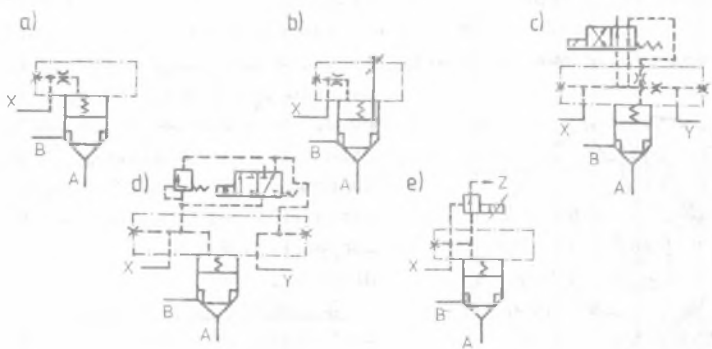
gdzie:

p_A, p_B - ciśnienia od strony A lub B,

p_x - ciśnienie w komorze sterującej,

S_o - siła napięcia sprężyny.

Pokrywa PCZ (rys. 5) zamyka od góry - wbudowany do korpusu - zawór oraz steruje położeniem grzybka przez wprowadzenie kanałem x odpowiedniej wartości ciśnienia do komory sterującej. W tym ujęciu pokrywa jest wyposażeniem specjalnym rozdzielacza zaworowego, decydującym o jego funkcjonalności.



Rys. 6. Rodzaje pokryw sterujących rozdzielacza zaworowego.

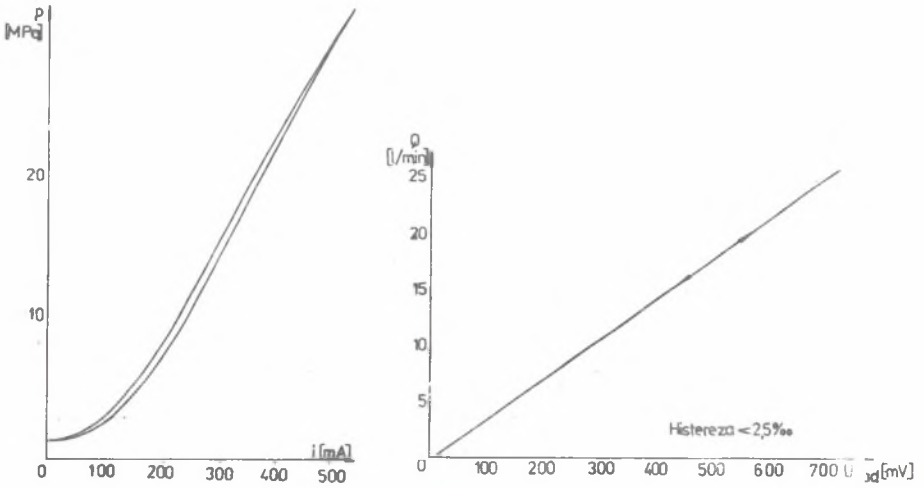
Dla określenia funkcji odpowiedniego rozdzielacza zaworowego, przewidziane są następujące rodzaje pokryw sterujących (rys. 6):

- podstawowa PCZ...A (rys. 6a),
- z ograniczeniem skoku PCZ...B (rys. 6b),
- z zaworem drogowym PCZ...C (rys. 6c),
- z zaworem ciśnieniowym i drogowym PCZ...E (rys. 6d),
- z zaworem proporcjonalnym ciśnienia PCZ...P (rys. 6e).

Z uwagi na budowę układów napędowych i normalizację elementów hydraulicznych, które mogą spełnić funkcje zarówno sterujące, jak i regulujące, istnienie rozdzielaczy zaworowych jest bardzo korzystne i ukierunkowujące ich przyszły rozwój.

Zawory proporcjonalne - przez doprowadzenie prądu do przetwornika elektromagnetycznego - umożliwiają zdalne sterowanie ciśnieniem lub natężeniem przepływu. Zawory te realizują proporcjonalność pomiędzy elektrycznym sygnałem wejściowym o małej mocy a hydraulicznym sygnałem wyjściowym o znacznie większej mocy (ciśnienie lub natężenie przepływu). Opracowana w Zespole Obrabiarek i sprawdzona konstrukcja pilota (stopnia wstępnego) proporcjonalnego, wykorzystuje parę sterującą w postaci "dysza-przysłona". Podstawową zaletą tego rozwiązania jest beztarciowa i samonastawna przysłona z hydraulicznym tłumieniem drgań.

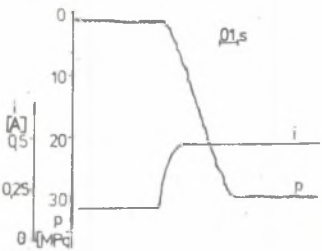
Podstawowe charakterystyki statyczne omawianych zaworów proporcjonalnych zilustrowano na rys. 7. Rozwiązanie proporcjonalnego przepływu w tym samym zaworze ciśnieniowym jest oryginalne i niespotykane w światowej technice



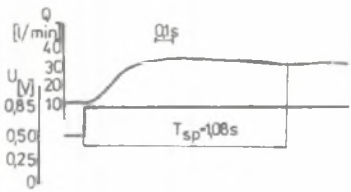
Rys. 7. Charakterystyki statyczne zaworów proporcjonalnych:
a) ciśnienia, b) przepływu

proporcjonalnej. Z uwagi na zasadniczą zaletę tego rozwiązania, a mianowicie wyczuwanie obciążenia silnika hydraulicznego, jest to nowy rodzaj sterowania, który można nazwać sterowaniem proporcjonalnym z adaptacją ciśnienia do obciążenia.

Następstwem beztarciowego rozwiązania przysłony jest nietypowy dla zaworów ciśnieniowych przebieg dynamiczny ciśnienia, charakterystyczny dla elementów inercyjnych (rys. 8).



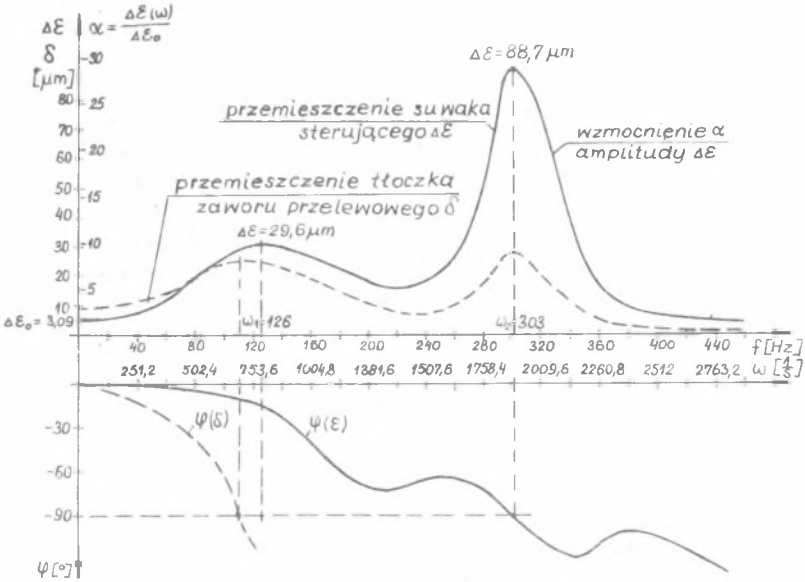
Rys. 8. Stan przejściowy zaworu proporcjonalnego ciśnienia przy wymuszeniu prądowym



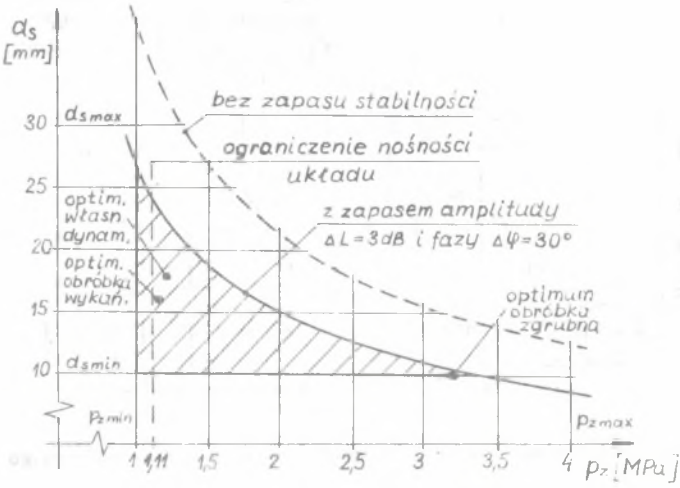
Rys. 9. Stan przejściowy nowego zaworu proporcjonalnego przepływu z adaptacją ciśnienia do obciążenia

Przykładowy oscylogram stanu przejściowego nowego zaworu proporcjonalnego przepływu (rys. 9) ilustruje przebieg natężenia przepływu w funkcji wymuszenia skokowego zadanego napięcia. Opracowane w Zespole Obrabiarek zawory proporcjonalne posiadają parametry - ciśnienia i natężenia przepływu - znacznie korzystniejsze od elementów produkowanych przez przodujące w tej dziedzinie firmy takie jak Rexroth, Abex Denison, Vickers i inne.

Serwomechanizmy hydrauliczne i elektrohydrauliczne to dalszy kierunek działania Zespołu Obrabiarek w zakresie hydrauliki, realizowany zarówno w zakresie prac naukowo-badawczych, jak i własnych. Dotyczyły one szerokich rozważań teoretycznych i badań doświadczalnych jednoosiowego układu kopiującego z czujnikiem jednokrawędziowym stosowanym w tokarkach uniwersalnych. Badania te pozwoliły na ocenę wpływu poszczególnych parametrów układu na jego własności kinematyczne, statyczne i dynamiczne. Parametrami zmiennymi w badaniach były: ciśnienie robocze, pojemność wewnętrzna układu, wartości ruchomych mas, siły tarcia w zespole wykonawczym i średnica suwaka sterującego [6]. W ramach badań analogowych wyznaczono m.in. charakterystykę amplitudowo-fazową układu, pokazaną na rys. 10. Przeprowadzone badania modelowe umożliwiły określenie tych parametrów układu, które mają decydujący wpływ na jakość serwomechanizmu w kontekście określonych wymagań. Badania doświadczalne miały na celu weryfikację badań teoretycznych oraz ocenę wpływu warunków rzeczywistych na dokładność obróbki kopiowaniem.



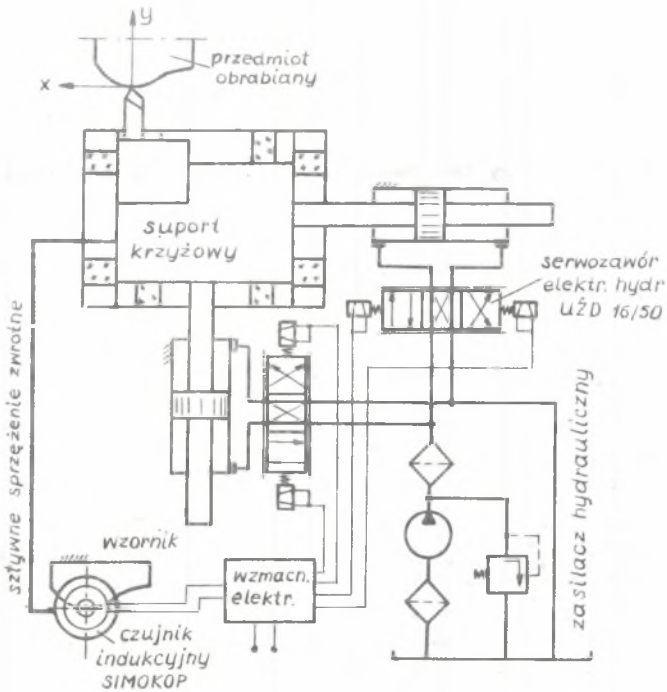
Rys. 10. Charakterystyka amplitudowo-fazowa badanego układu



Rys. 11. Optymalizacja układu z czujnikiem czterokrawędziowym

W ramach dalszych rozważań teoretycznych własności serwomechanizmów kopiujących przeprowadzono analizę układu kopiującego z czujnikiem czterokrawędziowym, posiadającym element stabilizacji dynamicznej oraz kompensator błędu statycznego [7].

Dalsze prace z zakresu serwomechanizmów hydraulicznych dotyczą opracowania metodyki projektowania tego typu układów, posiadających jednocześnie najkorzystniejsze własności kinematyczne, statyczne i dynamiczne. Rozważaniami w tym zakresie objęto serwomechanizmy z czujnikami jedno- i czterokrawędziowymi. Przyjmując odpowiednie zmienne decyzyjne w postaci parametrów układu mających największy wpływ na własności kinematyczne, statyczne i dynamiczne oraz różne postacie funkcji celu, określono parametry zapewniające optymalne własności oraz wymaganą dokładność pracy [8]. Rozwiązanie problemu optymalizacji układu z czujnikiem czterokrawędziowym pokazano na rys. 11.



Rys. 12. Projektowany układ kopiowania elektro-hydraulicznego

W ramach pracy naukowo-badawczej dla F.O. "Rafamet" przeanalizowano koncepcje oraz zaprojektowano elektro-hydrauliczny układ kopiujący z przeznaczeniem dla tokarko-kołówek oraz tokarek podtorowych stosowanych do obróbki kolejowych zestawów kołowych. Zaprojektowany układ kopiujący jest ukła-

dem dwuosiowym sterowanym za pomocą elektrycznego czujnika kopiującego oraz wykonawczymi siłownikami hydraulicznymi, sterowanymi za pomocą serwozaworów (rys. 12). W pracy przeanalizowano również przyspieszeniowy sposób stabilizacji dynamicznej na drodze elektrycznej [8].

W ostatnim okresie, w ramach współpracy z Centrum Mechanizacji Górnictwa "Komag" w Gliwicach, prowadzona jest praca mająca na celu identyfikację własności dynamicznych i energetycznych hydrostatycznych napędów maszyn górniczych, na przykładzie kolei linowych. Praca ta ma również na celu opracowanie metodyki projektowania tego typu napędów z uwzględnieniem zaostrzonych specyficznych wymagań energetycznych i górniczych [9].

3. Sterowanie adaptacyjne obrabiarek

Sterowanie adaptacyjne w obrabiarkach jest dziedziną stosunkowo młodą. Pierwsze doniesienia literaturowe na ten temat dotyczą lat sześćdziesiątych. Sterowanie adaptacyjne związane było wówczas z przemysłem kosmicznym i lotniczym. W miarę rozwoju elektroniki przemysłowej oraz układów pomiarowych (z sensorami) o charakterze ogólnodostępnym właśnie w latach sześćdziesiątych sterowanie adaptacyjne zaczyna pojawiać się w obrabiarkach uniwersalnych.

Naukowe podstawy sterowania adaptacyjnego [10] w obrabiarkach związane są z takimi dziedzinami nauki i techniki, jak: teoria skrawania, teoria regulacji automatycznej, konstrukcja obrabiarek i miernictwo warsztatowe. Jest to więc dziedzina o charakterze interdyscyplinarnym.

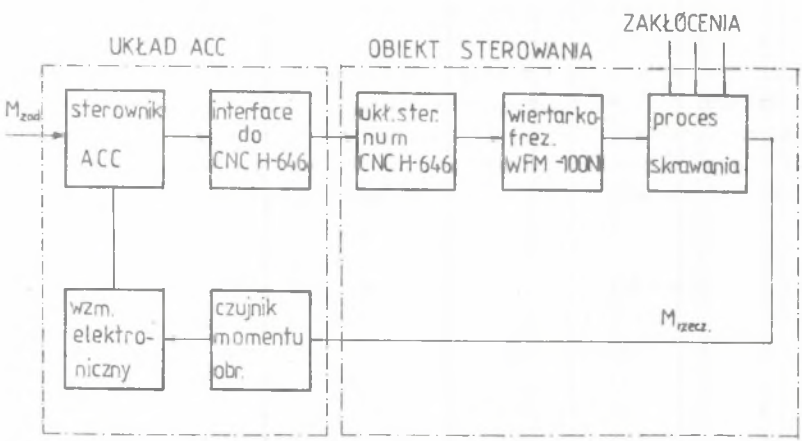
Mówiąc najogólniej, sterowanie adaptacyjne ma zapewnić automatyczny (samoczynny) dobór parametrów skrawania, takich jak: posuw, prędkość skrawania, głębokość skrawania i to w sposób optymalny, w trakcie trwania procesu skrawania. Dobroć sterowania adaptacyjnego polega na tym, że na bieżąco korygowane są parametry obróbki, w zależności od aktualnego stanu procesu (od występujących zakłóceń). Obróbka przebiega więc w sposób zbliżony do optymalnego. Z drugiej strony, sterowanie adaptacyjne pełni funkcję zabezpieczającą układ OUPN przed zniszczeniem, a nawet przedwczesnym zużyciem narzędzia. Sterowanie adaptacyjne w najpełniejszym zrozumieniu posiada charakter układu optymalizującego (ACO). W tym przypadku na bieżąco wyliczana jest wartość wskaźnika kryterialnego i stosownie do tego odpowiednio korygowane parametry skrawania.

W wykonaniach przemysłowych, jak dotąd, spotyka się uproszczone wersje sterowania adaptacyjnego, tzw. sterowanie stałowartościowe lub graniczne (ACC). Są to stosunkowo proste układy automatycznej regulacji, które zapewniają przebieg procesu skrawania z pełnym wykorzystaniem mocy obrabiarki lub możliwości skrawnych narzędzia. Takie układy sterowania adaptacyjnego pozwalają osiągnąć wzrost wydajności obróbki przeciętnie o ok. 20%.

Doniesienia literaturowe wskazują, że sterowanie adaptacyjne wpierw znalazło zastosowanie przede wszystkim w tokarkach. Tokarki są bowiem jednymi z prostszych obrabiarek. Jednakże z punktu widzenia wzrostu efektywności, najbardziej celowe jest zastosowanie sterowania adaptacyjnego dla wiertarko-frezarek. Wiertarko-frezarki obejmują bowiem większość typowych operacji jak: frezowanie, wytaczanie, wiercenie i planowanie. W związku z tym, spotykamy się z szerokim zakresem zmian parametrów skrawania, znaczną różnorodnością przedmiotów obrabianych i ich materiałami oraz różnorodnością materiałów narzędziowych.

W zespole Obrabiarek Instytutu Budowy Maszyn w latach 1976 do 1980 opracowano prosty układ sterowania adaptacyjnego dla wiertarko-frezarki WFM-100N na zlecenie Fabryki Obrabiarek "Defum" w Dąbrowie Górniczej. Zaprojektowany układ sterowania adaptacyjnego zapewniał przebieg procesu skrawania z maksymalnym momentem obrotowym na wrzecionie. W skład układu sterowania adaptacyjnego, jako podstawowe, wchodzą następujące zespoły funkcjonalne (rys. 13):

- układ sterowania typu ACC (regulator),
- czujnik (momentomierz),
- blok wejściowy do układu sterowania CNC-NUCON.



Rys. 13. Podstawowe zespoły funkcjonalne sterowania ACC

Omawiany układ sterowania adaptacyjnego steruje prędkością posuwu stołu. Wartość jej jest dobierana w taki sposób, aby moment obrotowy na wrzecionie utrzymywał się na zadanym poziomie M_{zadane}. W związku z tym wartość momentu obrotowego jest ciągle kontrolowana za pomocą czujnika (momentomierza). Oryginalny indukcyjny czujnik momentu obrotowego opracowany w Zespole Obrabiarek Instytutu Budowy Maszyn pozwala na bezdotykowy pomiar statyczny i dynamiczny momentu na wrzecionie.

Zagadnienie sterowania adaptacyjnego wiertarko-frezarek zostało włączone do podproblemu węzłowego P.W. 05.1.1. a następnie do P.W.05.1.6. W ramach tego podproblemu w Instytucie Budowy Maszyn tworzone są naukowe podstawy sterowania adaptacyjnego procesem wytaczania otworów na wiertarko-frezarkach.

Opracowany został teoretyczny model matematyczny procesu wytaczania, który wiąże siły skrawania przy wytaczaniu z posuwem. Posiada on następującą postać:

$$F_i(s) = \frac{m_i + W.(m_i.n_r + m_r.n_i)}{M} \cdot \frac{1 - e^{-sT}}{s} \cdot p_t(s)$$

gdzie:

$F_i(s)$	- i-ta składowa siły skrawania,
$p_t(s)$	- prędkość posuwu,
T	- czas obrotu wrzeciona,
m_i, n_i, m_r, n_r,	- wzmocnienia w procesie skrawania,
W	- zastępcza podatność układu OUPN,
M	- złożona funkcja wzmocnienia w procesie skrawania i zastępczej podatności.

Model matematyczny procesu skrawania musi być zweryfikowany doświadczalnie. W związku z tym przeprowadzone zostały obszerne badania identyfikacyjne wiertarko-frezarki WFM-100. Wyniki tych badań w postaci charakterystyk podatności obrabiarki zebrano w sprawozdaniu z pracy naukowo-badawczej.

Oddzielnym zagadnieniem jest dobór struktury i nastaw regulatora. Regulator posiada strukturę specjalną, co uniemożliwia wykorzystanie typowych metod doboru regulatora, jakie zaleca teoria regulacji.

W badaniach symulacyjnych wykorzystywane są w Instytucie Budowy Maszyn metody analogowe. Modeluje się bowiem cały układ sterowania adaptacyjnego na maszynie analogowej. Tam też prowadzi się optymalizację struktury i nastaw regulatora. Obszerne wyniki tych badań zawarte zostały m.in. w pracy doktorskiej,której temat wiązał się ze sterowaniem adaptacyjnym [10].

Prace nad sterowaniem adaptacyjnym nie byłyby kompletne, gdyby nie stniała możliwość praktycznej ich weryfikacji. W Zespole Obrabiarek Instytutu Budowy Maszyn zbudowano specjalne stanowisko laboratoryjne z układe sterowania adaptacyjnego. Na stanowisku tym można w sposób praktyczny prawi-

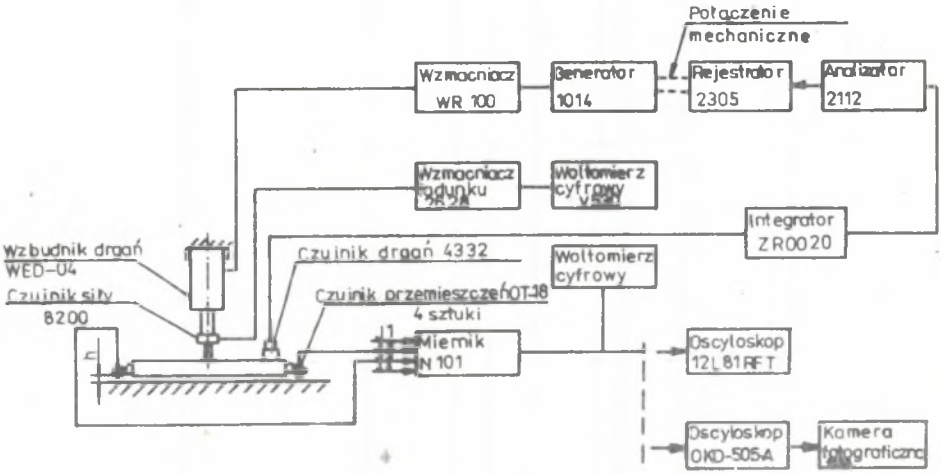
dzić działanie układu i optymalizować parametry techniczne regulatora. Stanowisko wyposażone jest w czujnik pozwalający na ciągły, statyczny i dynamiczny pomiar siły skrawania, jak również na bezstopniową zmianę posuwu. Stanowisko to posiada również charakter dydaktyczny.

Ze sterowaniem adaptacyjnym nieodłącznie związane jest zagadnienie czujników pomiarowych [12]. W Zespole Obrabiarek Instytutu Budowy Maszyn szczególną wagę przykłada się do pomiarów momentu obrotowego i sił skrawania. W tym celu do tej pory zbudowano kilka wersji czujników posiadających charakter laboratoryjny i półprzemysłowy.

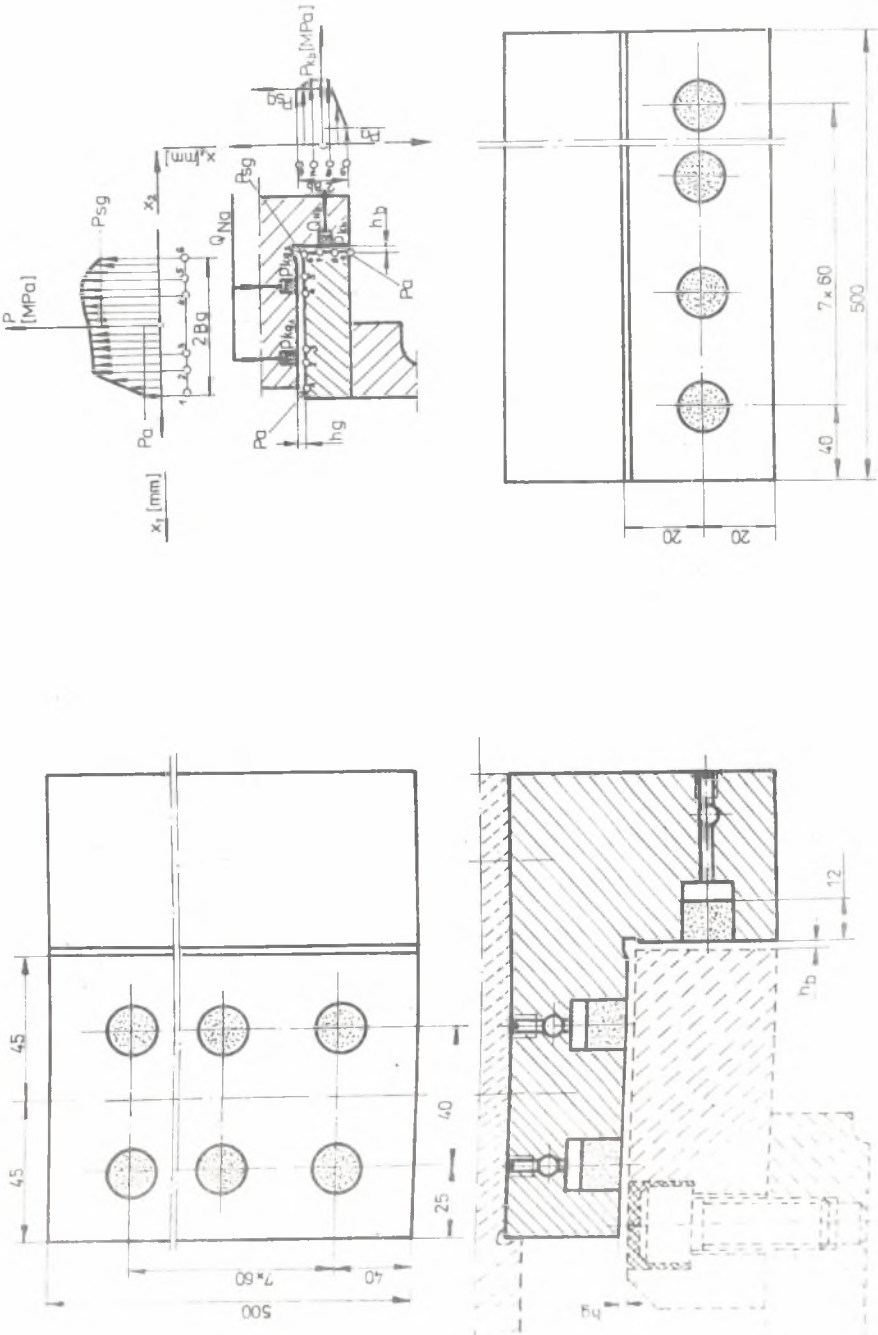
4. Zastosowanie pneumatyki w konstrukcji i sterowaniu obrabiarek

Jednym ze środków służących do mechanizacji i automatyzacji czynności obróbkowych i montażowych jest zastosowanie sprężonego powietrza do napędu i sterowania obrabiarek oraz przyrządów. Napęd pneumatyczny jest szczególnie przydatny do mechanizacji i automatyzacji czynności pomocniczych. Do ruchów roboczych jest rzadziej stosowany, głównie ze względu na ograniczone wartości uzyskiwanych sił. Należy jednak podkreślić, że pneumatyka jest jedną z najtańszych technik stosowanych w mechanizacji i automatyzacji.

Pneumatyka, ze względu na swe liczne zalety, znalazła szerokie zastosowanie w budowie obrabiarek w takich urządzeniach jak: pneumatyczne elementy obrabiarkowe, oprzyrządowanie pneumatyczne obrabiarek, łożyska i prowadnice



Rys. 14. Schemat blokowy stanowiska badawczego do wyznaczania charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych i podatności prowadnic aerostatycznych



Rys. 15. Przykład aerostatycznego węzła prowadnicowego

aerostatyczne, palety przesuwne na poduszce powietrznej, pneumatyczne i pneumoniczne urządzenia pomiarowe oraz sterujące, a także uchwyty podciśnieniowe.

W Zespole Obrabiarek IBM zagadnienia penumatyki obrabiarek rozwijane są od 1974 roku, głównie na zlecenie Zakładów Urządzeń Technicznych "Zgoda" w Świętochłowicach.

Badania stytyczne i dynamiczne prowadnic aerostatycznych były podstawową gałęzią rozwijaną w tej dziedzinie w Zespole Obrabiarek IBM [14]. W ramach prac naukowo-badawczych przeprowadzono analizę teoretyczną prowadnic aerostatycznych i zweryfikowano jej wyniki doświadczalnie. Na specjalnie w tym celu zbudowanym stanowisku badawczym (rys. 14) badano możliwości największej nośności i sztywności statycznej oraz minimalnego zużycia powietrza. Wykonywano także pomiary sztywności dynamicznej, głośności pracy prowadnic oraz próby pracą.

Szczególną odmianą prowadnic aerostatycznych są połączenia prowadnicowe z zastosowaniem dławików w postaci wkładek porowatych (rys. 15), w których uzyskuje się mieszane formy przepływu (laminarny i turbulentny) [15]. Wkładki porowate pozwalają zlikwidować szkodliwą objętość komory sprężania, usuwając w ten sposób główną przyczynę powstawania drgań samowzbudnych. Zastosowanie dławików w postaci wkładek porowatych - w miejsce dotychczas stosowanych dławików diafragmowych - zwiększa nośność i stabilność pracy połączeń prowadnicowych.

Badania pneumatycznej linii transportowej głowic silników okrętowych pomiędzy stanowiskami obróbkowymi to praca naukowa, która obejmowała zarówno część konstrukcyjną, jak i wykonanie oraz badania. Wykonano kilka prototypów palet przesuwnych na poduszce powietrznej w układzie linii transportowej służącej do podawania przedmiotów do gniazda obróbkowego. Przeprowadzono badania doświadczalne na prototypie pneumatycznej linii transportowej celem określenia najwłaściwszych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych [16].

Badania penumatycznych trzpieni centrujących krzywki i koła zębate to dalszy przykład wykorzystania pneumatyki w urządzeniach pomocniczych i kontrolnych. Przykładem jest tutaj projekt stanowiska kontrolno-pomiarowego przeznaczonego dla krzywek i kół zębatych, w którym zastosowanie pneumatycznych trzpieni centrujących pozwala na minimalizację błędu centrowania.

LITERATURA

[1] Kotnis G.: Wpływ materiałów konstrukcyjnych połączeń prowadnicowych ślizgowych na ich właściwości eksploatacyjne, zwłaszcza dla obrabiarek sterowanych numerycznie. Praca doktorska, Gliwice 1979.

[2] Sposób i urządzenie do pomiaru stanu geometrycznego zestawów kołowych i zużycia profilów roboczych tych zestawów. Patent Nr 86510. Warszawa 1977.

[3] Tomasiak E.: Wpływ niektórych parametrów konstrukcyjnych na charakterystyki statyczne i dynamiczne typowych zaworów przelewowych. Praca doktorska, Gliwice 1973.

[4] Tyrlik T., Tomasiak E., Potempa J.: Zawór dwudrogowy do logicznych układów hydraulicznych. Patent PRL z 1983, P-218553 z 1979.

[5] Tomasiak E.: Stopień sterujący zaworu proporcjonalnego z parą dysza-przysłona. Patent P-243180 z 1983.

[6] Bliźnicki E.: Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych hydraulicznego układu kopiującego na jego charakterystyki dynamiczne i dokładność obróbki. Praca doktorska, Gliwice 1978.

[7] Bliźnicki E., Kosmol J.: Analiza serwomechanizmu hydraulicznego ze stabilizacją i kompensacją błędów dynamicznych. Zbiór referatów z XX Sympozjum "Modelowanie w mechanice". Gliwice-Wisła 1981.

[8] Bliźnicki E.: Metoda stabilizacji wybranego elektro-hydraulicznego układu kopiującego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Mechanika, Gliwice 1980.

[9] Bliźnicki E., Tyrlik T., Reska J., Gębicki Z., Kołdras A.: Modelowanie hydraulicznego układu napędowego górniczej kolejki linowej SKL 5000 H. Zbiór referatów V Sympozjum "Dynamika Konstrukcji". Rzeszów 1983.

[10] Kosmol J.: Analiza i synteza układu sterowania adaptacyjnego procesem toczenia zgrubnego. Praca doktorska, Gliwice 1979.

[11] Kosmol J., Tyrlik T.: Synteza układu sterowania adaptacyjnego granicznego dla toczenia zgrubnego. Materiały z Międzynarodowej Konferencji "Sterowanie adaptacyjne w technologii Maszyn" AC 80. Rydzyna, 23-24.X. 1980.

[12] Kosmol J.: Czujnik momentu obrotowego w układzie sterowania adaptacyjnego wytaczarko-frezarki WFM-100N. Mechanik nr 1/1982.

[13] Kosmol J., Tyrlik T.: Dobór optymalnej prędkości skrawania i posuwu przy toczeniu zgrubnym w układzie sterowania adaptacyjnego granicznego. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń - Polska Akademia Nauk, Warszawa 1981, nr 1.

[14] Wiercioch W.: Badania statyczne i dynamiczne prostoliniowych prowadnic aerostatycznych obrabiarek. Praca doktorska, Gliwice 1978.

[15] Wiercioch W.: Konstrukcja i zastosowanie prowadnic aerostatycznych. Mechanik 4/1981.

[16] Wiercioch W.: Przemieszczanie przedmiotów na paletach z poduszką powietrzną. Przegląd Mechaniczny 9/1981.

Wpłynęło do Redakcji