

Marek PETZ

Zbigniew RUDNICKI

Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów - Warszawa

ZASTOSOWANIE ROBOTA ADAPTACYJNEGO IRb-60  
DO CZYSZCZENIA ODLEWÓW  
(INSTALACJA LABORATORYJNA)

**Streszczenie.** W laboratorium PIAP wykonano instalację z robotem adaptacyjnym IRb-60 z hydraulicznym napędem szlifierki do czyszczenia odlewów. Omówiono możliwości robota adaptacyjnego, różne wersje czujników mierzących obciążenie narzędzia, jak również wyniki badań procesu szlifowania przy użyciu robota.

Zakończono artykuł wnioskami dla instalacji przemysłowej.

1. WŁASNOŚCI ROBOTA ADAPTACYJNEGO PRZYDATNE DO CZYSZCZENIA ODLEWÓW

Adaptacyjny robot IRb ma wszystkie właściwości robota standardowego. Oprócz tego ma możliwości dodatkowe, istotne dla czyszczenia odlewów. Działanie adaptacyjne robota jest uzależnione od sygnałów czujników. Sygnały te wpływają poprzez program robota na położenie i ruchy ramion robota. Na możliwe działania adaptacyjne robota składają się następujące funkcje:

- cztery różne funkcje szukania, umożliwiające szukanie płaszczyzny, naroży wewnętrznych i zewnętrznych,
- funkcja konturowania, umożliwiająca ruch robota wzdłuż krzywej kształcie określonym przez sygnały czujnika podczas ruchu robota w zaprogramowanym kierunku. Funkcja ta umożliwia posuwanie się po nieokreślonych z góry krzywych, różniących się od krzywych zaprogramowanych,
- funkcja sterowania prędkością uzależnia prędkość robota od sygnału czujnika w czasie posuwania się po zaprogramowanej krzywej,
- funkcja korekcji ułatwia programowanie dzięki możliwości automatycznej korekcji zgrubnie zaprogramowanych pozycji zgodnie z położeniem określonym w czasie pracy robota i w pewnym sensie umożliwia samoprogramowanie,
- funkcja korekcji czasu umożliwia zmiany i optymalne dopasowywanie prędkości ruchów robota w dowolnych segmentach programu.



Podstawowe wymagania, jakie powinien spełniać robot używany do czyszczenia odlewów, są następujące:

1. Możliwość korygowania programu użytkowego:

- w miarę zużywania się narzędzia tnącego, np. tarczy szlifierskiej,
- w zakresie zmian położenia odlewów powodowanych różnicami wymiarowymi poszczególnych odlewów wykonywanych najczęściej w szerokich tolerancjach.

2. Odpowiedni zasięg, udźwieg, ruchliwość robota.

3. Możliwość reagowania na zmiany obciążenia narzędzia podczas obróbki.

## 2. STANOWISKO CZYSZCZENIA ODLEWÓW

W PIAP opracowano stanowisko czyszczenia odlewów za pomocą adaptacyjnego robota IRB-60. Przeznaczone jest ono do czyszczenia odlewów o wadze rzędu 1500-2000 N, umieszczonych w uchwycie. Narzędzie czyszczące jest noszone przez robota. W konkretnym przypadku instalacji laboratoryjnej odlewem przeznaczonym do czyszczenia jest obudowa tylnej osi autobusu o ciężarze ok. 1700 N. Przyjęto, że robot będzie czyścił główne zalewki zewnętrzne odlewu. Trudno dostępne zalewki zewnętrzna i wewnętrzna postawiono do czyszczenia ręcznego. W instalacji przemysłowej, dla zwiększenia wydajności, czynności człowieka i robota powinny przebiegać jednocześnie na dwóch stanowiskach obrotowej karuzeli. Dalsze zwiększenie wydajności wynika z krótszego czasu obróbki za pomocą robota w porównaniu z pracą człowieka.

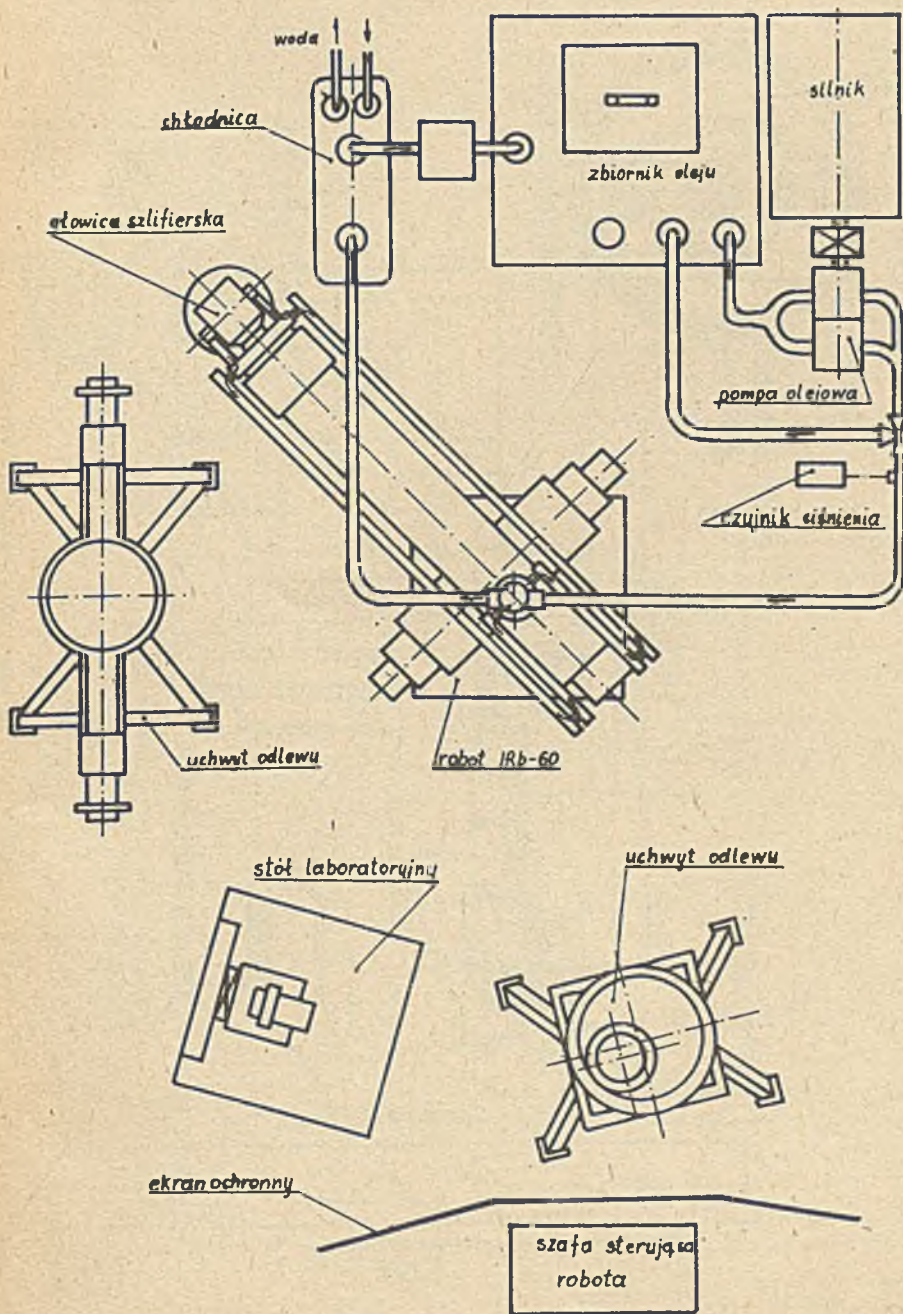
W skład instalacji przemysłowej powinny wchodzić:

- stanowisko przyjmowania i wysyłania odlewów,
- stanowisko kontroli i obróbki ręcznej,
- stanowisko pracy robota,
- układ zasilania głowicy szlifierskiej,
- urządzenie BHP.

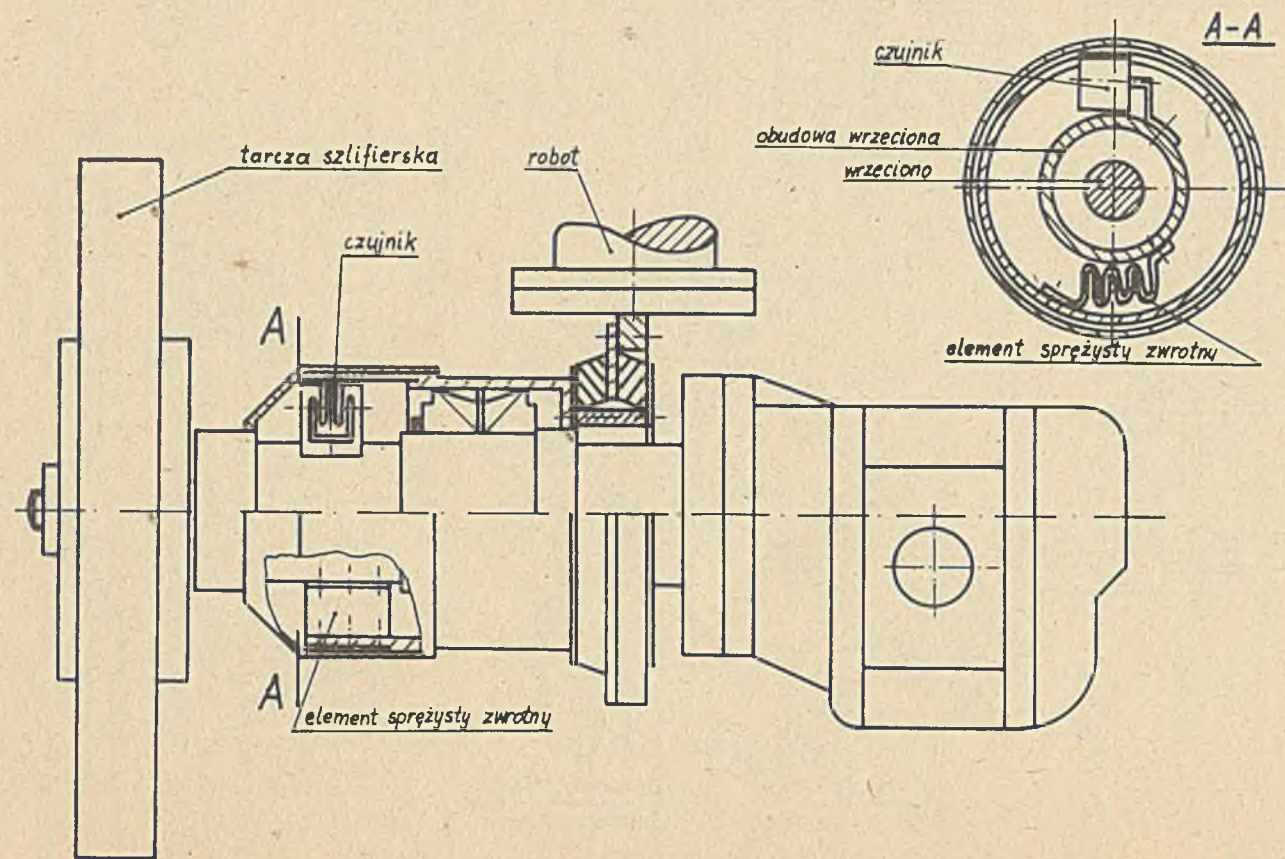
W laboratorium Instytutu zrealizowano stanowisko pracy robota, układ zasilania głowicy szlifierskiej i proste zabezpieczenia. Na stanowisku pracy robota odlew jest umieszczony w uchwycie. Odlew może obracać się wokół osi poziomej (w instalacji przemysłowej ruch ten powinien odbywać się na sygnał robota). Robot jest wyposażony w szlifierkę hydrauliczną o mocy ok. 30 kW przy 45 obr./s. Wybrano napęd hydrauliczny ze względu na największy stosunek mocy do ciężaru silnika, co jest istotne ze względu na udźwieg robota.

Głowica szlifierska, poza mocowaniem silnika i tarczy szlifierskiej do robota, jest wyposażona w czujniki sygnalizujące do robota stan obciążenia narzędzia. Sygnały te są wykorzystywane do realizacji omawianych funkcji adaptacyjnych.



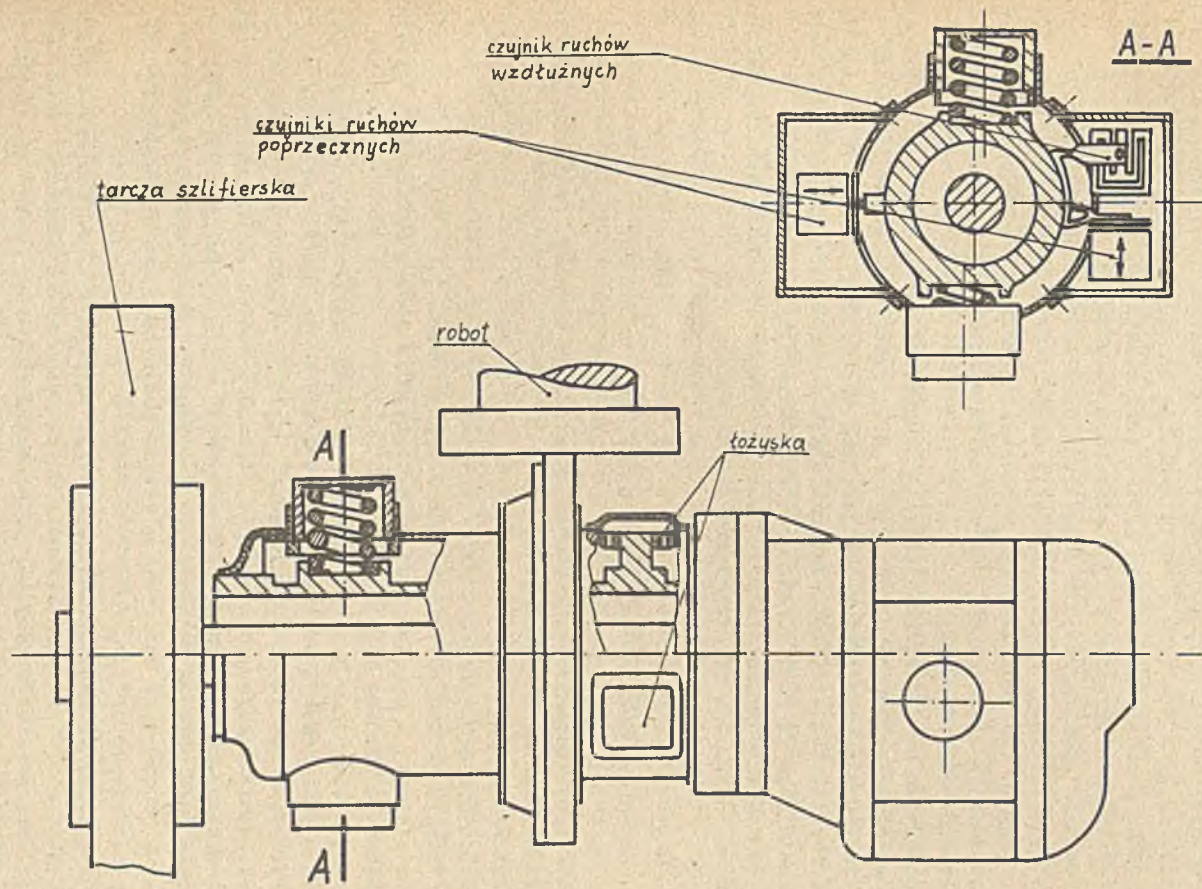


Rys. 1. Instalacja laboratoryjna do czyszczenia odlewów



Rys. 2. Głowica szlifierska z czujnikiem momentu





Rys. 3. Głowica szlifierska z czujnikiem sił

Pierwszą wersją głowicy jest głowica wyposażona w czujnik momentowy. Czujnik adaptacyjny mierzy moment powstający na tarczy szlifierskiej w czasie pracy. Szlifierka jest ułożyskowana w uchwycie robota i ma możliwość wykonywania tylko ruchu obrotowego względem obudowy.

W drugiej wersji głowicy czyszczącej szlifierka jest zamocowana w uchwycie, mając w nim trzy stopnie swobody. Sprężyny pomiarowe eliminują tę swobodę ruchów umożliwiając pomiar trzech składowych siły obciążającej narzędzie. Jako czujniki siły zastosowano tensometry.

Zbudowano również czujnik adaptacyjny mierzący ciśnienie oleju w instalacji hydraulicznej. Wzrost ciśnienia oleju jest miarą obciążenia narzędzia. Czujnik ten jest prostszy w budowie, pewniejszy w działaniu i łatwy do zabudowania w instalacji, daje również możliwość uproszczenia konstrukcji głowicy szlifierskiej.

Instalacja hydrauliczna zasilania głowicy szlifierskiej posiada standardowe elementy hydrauliczne, jak: pompy, filtry, zawory, połączenia rurowe itd. Oprócz tych elementów jest ona wyposażona w obrotowe złącza łączące rury, umożliwiające praktycznie pełną ruchliwość robota przy manipulowaniu głowicą szlifierską przy ciśnieniu oleju do 16 MPa.

Jako zabezpieczenie dla prac laboratoryjnych wykonano metalowe ekrany wysokości ok. 2 m z zakratowanymi okienkami.

### 3. BADANIA LABORATORYJNE I ICH WYNIKI

Instalacja laboratoryjna została wyposażona w układ pomiarowy, który umożliwił pomiar i rejestrację:

- ciśnienia oleju,
- momentu obciążenia tarczy szlifierskiej,
- sił występujących na tarczy w czasie szlifowania,
- siły stycznej i promieniowej działających na próbkę szlifowaną (pomiar związany z imadłem mocującym próbkę).

Każdy z czujników jest połączony z układami elektronicznymi o dwóch wyjściach - analogowym i adaptacyjnym. Sygnały analogowe są podawane do rejestratora. Trójstanowe sygnały adaptacyjne są wykorzystywane do realizacji działania adaptacyjnego robota. Istnieje możliwość nastawiania progów przełączania stanów sygnału adaptacyjnego, czyli wybierania wielkości obciążenia, przy którym ma nastąpić określone działanie adaptacyjne. Wartości tych progów były dobierane w czasie badań tak, aby otrzymać najlepsze działanie robota.

Już wstępne badania głowicy wykazały, że przyjęte w założeniach wielkości sił, mocy i ciśnień koniecznych w czasie szlifowania są zbyt duże. Sygnały otrzymywane z czujnika momentowego były zbyt małe dla istniejących obciążeń narzędzia. Stąd zaszła konieczność wymiany sprężyny pośredniczącej na mniej sztywne.



Bliższa analiza wykresów działania czujnika momentowego w czasie ruchu od stanu spoczynku szlifierki aż do osiągnięcia przez narzędzia pełnych obrotów (przy biegu jałowym) wykazała powstawanie ujemnego momentu. Bezzględne wartości tego momentu są porównywalne z momentem roboczym. Przyczyną powstawania tego momentu była reakcja elastycznych przewodów hydraulicznych doprowadzających olej z obrotnicy dolnej do silnika hydraulicznego. Przewody te były wygięte i w miarę wzrostu ciśnienia w sieci rozprężyły się, dając ów niepożądany moment. Niedogodność tę usunięto przez przekonstruowanie króćców hydraulicznych zarówno obrotnicy dolnej, jak i silnika. Dzięki temu wyprostowano przewody elastyczne i skąpowano ich negatywny wpływ na pomiar momentu.

W czasie badań ujawniła się istotna niedogodność tego czujnika, jaką jest zależność wartości statycznej sygnału z czujnika od położenia głowicy. Zjawisko to było obserwowane przy manipulowaniu robotem zarówno przy zerowym ciśnieniu w instalacji, jak i przy ciśnieniu biegu jałowego szlifierki. W tym ostatnim przypadku zmiany sygnału momentu były obserwowane na tle zupełnie stałego przebiegu ciśnienia w instalacji. W celu uniknięcia tego zjawiska przygotowana jest nowa wersja głowicy momentowej.

Drugą wersją czujnika adaptacyjnego jest czujnik ciśnienia. Czujnik ciśnienia podłączony jest do instalacji zasilania silnika hydraulicznego w jej nieruchomej części za pompą olejową. Stacjonarne umocowanie czujnika upraszcza jego podłączenia do robota i do układów pomiarowych. Czujnik ten badany był równolegle z badaniami czujnika momentowego.

W instalacji hydraulicznej przy biegu jałowym szlifierki panuje dość wysokie ciśnienie (ok. 2,0–2,5 MPa). Ponieważ rzeczywisty zakres zmienności ciśnień roboczych w instalacji jest znacznie mniejszy niż przewidywano, okazało się, że czujnik ciśnienia jest nieodpowiedni i otrzymywane sygnały są niewielkie, zwłaszcza na tle wysokiego ciśnienia biegu jałowego. Konieczne okazało się wobec tego wymienienie czujnika o zakresie pomiarowym 0–25 MPa na nowy, o zakresie 0–10 MPa.

Sygnał z czujnika jest zniekształcony (rozmywany) nakładającymi się nań szumami. Z tego powodu musi być filteowany.

Nie stwierdzono ujemnego wpływu pracy pompy (tętnienia) na jakość sygnału z czujnika oraz powstawania znaczących opóźnień przesyłania sygnału w instalacji po obciążeniu narzędzia.

Sygnał z czujnika nie wykazuje histerezy ani istotnych, nie wyjaśnionych zniekształceń. Ponadto jest niezależny od położenia głowicy szlifierskiej i ruchów osi robota.

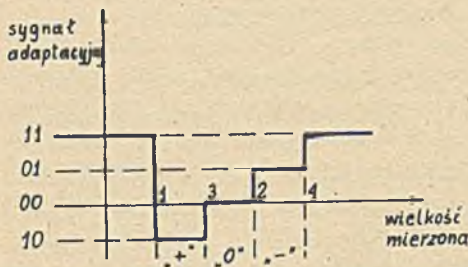
Trzecią wersją głowicy jest głowica wyposażona w czujnik siłowy. W jednym położeniu głowica ta pracuje poprawnie. Jej istotną niedogodnością jest strukturalna zależność sygnału czujnika od położenia głowicy. Przy konstruowaniu zawieszenia tej głowicy zapewniono możliwość wyposażenia jej w trzy czujniki i kontrolowania obciążeń narzędzia w trzech prostopadłych do siebie kierunkach.

Do badań, ze względu na zastosowane narzędzie ściernie w postaci tarczy płaskiej, wykorzystano jedynie dwa czujniki mierzące obciążenia działające w płaszczyźnie ściernicy.

Po przebadaniu trzech opisanych wyżej czujników można stwierdzić, iż wszystkie reagują na zmianę stanu obciążenia narzędzia. Jednak sygnały z czujnika momentowego i siłowego są uzależnione od położenia głowicy szlifierskiej. Uniemożliwia to proste i jednoznaczne wykorzystywanie tych dwóch rodzajów sygnałów do sterowania pracą robota w całym zakresie jego ruchów roboczych. O ile zajdzie potrzeba, czujniki te mogłyby być wykorzystywane lokalnie. Umożliwiają to bowiem dość elastycznie pomyślane układy interpretacyjne współpracujące z czujnikiem. Dzięki nim można nastawiać progi przełączania na różnych poziomach (momentu czy siły). W ten sposób może być stworzonych 1-8 czujników adaptacyjnych, reagujących podobnie na taką samą zmianę wielkości mierzonej, tylko że na różnych poziomach sygnału.

Niewątpliwie najużyteczniejszy jest jednak czujnik ciśnienia. Jest on dostatecznie czuły na zmiany obciążenia narzędzia, a przy tym wysyłane przez ten czujnik sygnały są powtarzalne i niezależne od położenia głowicy w przestrzeni roboczej robota.

Kolejnymi zaletami tego rozwiązania jest prostota konstrukcji głowicy szlifierskiej oraz łatwość okablowania sygnałowej instalacji.



Rys. 4. Sygnał adaptacyjny robota

Możliwość tworzenia w układzie interpretacyjnym różnych, 3-poziomowych czujników adaptacyjnych (z punktu widzenia robota) we współpracy z jednym czujnikiem pomiarowym umożliwia otrzymanie stosunkowo stałej siły stykowej (momentu hamującego ściernicę) w miarę zmniejszania się promienia tarczy. Ponadto czujnik ciśnienia, działając jako czujnik momentowy, pozwala na pomiar zarówno sił statycznych, przyłożonych w dowolnym miejscu obwodu ściernicy, jak i sił działających na tarczę równoległe do osi jej obrotu. Wymaga on jednak dodatkowego, dość prostego układu regulacji temperatury oleju dla zapewnienia możliwie pełnej odpowiedniości obciążenia narzędzia i ciśnienia oleju w instalacji zasilającej.

Do badań adaptacyjności wybrano czujnik ciśnienia, ponieważ sygnały z tego czujnika okazały się w pełni jednoznaczne i niezawodne. W ten sam sposób (oczywiście po wyeliminowaniu ich ujawnionych wad) przy programowaniu można będzie traktować czujnik momentowy i siłowy.

Badania prowadzono z głowicę zawieszoną elastycznie na robocie. Do szlifowania używano (głównie ze względów bezpieczeństwa) pakietu tarcz



typu T1, o średnicy 350 mm i szerokości 20 mm, przy obrotach silnika 2100-2300 obr./min. Szlifowano najpierw próbki żeliwne w imadle zamocowanym na urządzeniu mierzącym siłę pionową i poziomą, a następnie rzeczywisty odlew obudowy tylnej osi autobusu.

Robot adaptacyjny reaguje na dwupozycyjne sygnały binarne z czujnika pomiarowego.

Do badania stanu obciążenia narzędzia podczas oczyszczania odlewu zastosowano analogowe czujniki pomiarowe. Z czujnikami współpracują elektroniczne układy interpretujące, przetwarzające sygnały analogowe na dwupozycyjne sygnały dwustanowe, wymagane przez program sterujący robota.

Położenie progów 1-4 można nastawić potencjometrami na płytce układu interpretacyjnego. Położenia progów odpowiadają ściśle odpowiednim wartościom wielkości mierzonych przez czujnik analogowy. Stąd nastawy progowe uzależniają akcję robota od określonej wartości mierzonej, np. momentu reakcji więzów podczas szlifowania.

Przy realizacji funkcji adaptacyjnych KOREKCCJA PRĘDKOŚCI, NADZÓR, SZUKANIE ZGRUBNE, SZUKANIE ZGRUBNE Z OPÓŹNIENIEM, SZUKANIE DOKŁADNE robot reaguje zatrzymaniem lub zwolnieniem prędkości ruchów na sygnał różny od sygnału wyjściowego oraz od 00.

Oznacza to, że przy normalnej pracy przy czyszczeniu odlewów robot reaguje na zmiany stanu czujnika:

$$(10) \rightarrow 00 \rightarrow 01$$

(Kolejność zmian sygnału (01)  $\rightarrow$  00  $\rightarrow$  10 jest możliwa do osiągnięcia przy symulacji czujnikiem ręcznym lub w przypadkach skrajnych, przy błędnym zaprogramowaniu, w pracy przy zwykłym czyszczeniu).

Przy realizacji funkcji SZUKANIE SWOBODNE robot reaguje na zmianę sygnału początkowego, który powinien być różny od 00. Przy normalnym oczyszczaniu oznacza to zatrzymanie przy wcinaniu się w materiał odlewu, gdy sygnał zmienia się od stanu nieobciążonego do stanu pewnego obciążenia:

$$10 \rightarrow 00 \rightarrow (01)$$

(Zatrzymanie przy realizacji tej funkcji jest możliwe (także wówczas, gdy kolejność zmian sygnału jest 01  $\rightarrow$  00  $\rightarrow$  (10), w przypadkach opisanych powyżej).

Dla funkcji KONTUROWANIE robot reaguje na zmianę stanu czujnika adaptacyjnego nakładaniem ruchów korekcyjnych na ruch podstawowy i tak:

przy zmianie 00  $\rightarrow$  01 ruch korekcyjny jest w kierunku przeciwnym do wektora korekcji,

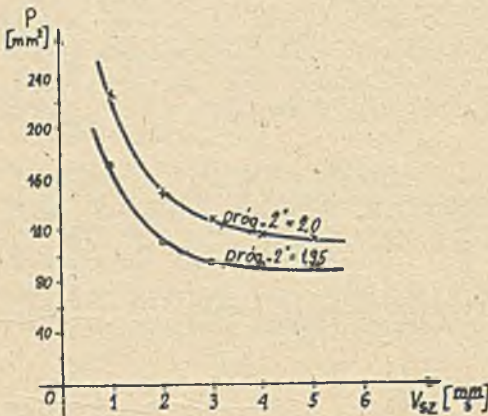
a przy zmianie 00  $\rightarrow$  10 ruch korekcyjny jest zgodny z kierunkiem wektora korekcji,

zaś w stanie 00 nie ma żadnej korekcji.

Pierwszą z przebadanych funkcji jest grupa funkcji SZUKANIA. Do tej grupy zalicza się aż pięć funkcji:

- SZUKANIE ZGRUBNE
- SZUKANIE ZGRUBNE Z OPÓŹNIENIEM
- NADZÓR
- SZUKANIE DOKŁADNE
- SZUKANIE SWOBODNE.

Z punktu widzenia czujnika i reagowania na otrzymane z niego sygnały trzy pierwsze funkcje mogą być traktowane łącznie.



Rys. 5. Szukanie zgrubne: wpływ nastawy progów "2" oraz prędkości szukania na zeszlifowanie powierzchni

na wpływać nastawami progów 2 w układzie interpretacyjnym, zaś dla szukania swobodnego ważna jest nastawa progów 3. Ponadto na działanie funkcji szukania dokładnego ma pewien wpływ szerokość strefy zerowej, a więc nastawa progów 3.

Nastawy progów realizowane były potencjometrami P1-P4 (odpowiednio dla każdego z progów 1-4), przy czym wskaźnikiem nastawy było napięcie mierzone voltomierzem pomiędzy punktem stałym w obwodzie, a punktem na suwaku odpowiedniego potencjometru.

#### A. Badanie funkcji SZUKANIE ZGRUBNE

Przy realizacji tej funkcji robot zatrzymuje się po zainicjowaniu sygnału adaptacyjnego z O0 na O1 i po skompensowaniu uchybu serwo mechanizmu.

Na jakość pozycjonowania oraz zniekształcenia (zeszlifowania) miejsca dotknięcia podczas szukania mają wpływ: nastawa progów "2" czujnika adaptacyjnego oraz prędkość szukania.

Dla porównania różnych doświadczeń zastosowano dwa kryteria.

Stąd przy badaniach skupiono się na analizie i porównaniu działania robota przy realizacji trzech funkcji szukania zgrubnego, dokładnego i swobodnego.

Przy badaniach tych funkcji wyróżnić można trzy etapy:

- ogólne zapoznanie się z działaniem danej funkcji,
- obserwowanie zależności działania danej funkcji od wprowadzonych nastaw,
- praktyczne porównanie działania wszystkich trzech funkcji.

Na działanie funkcji szukania zgrubnego i dokładnego można



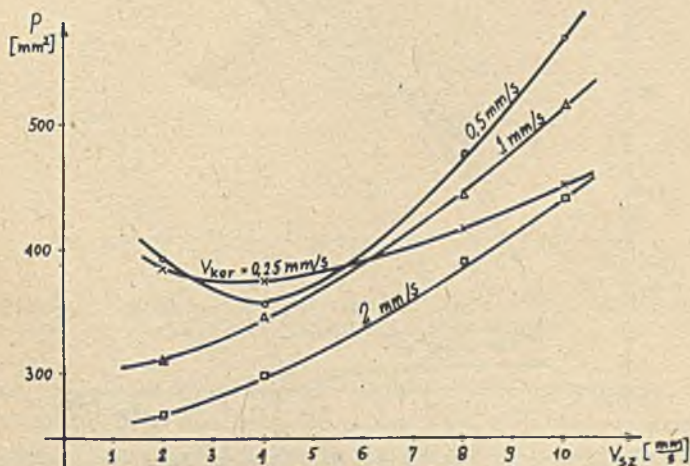
Pierwsze z nich polegało na ocenie średniego zagłębienia narzędzia w materiał próbki. Kryterium to jest jednak niezbyt pewne, gdyż na kształt śladu ściernicy na próbce wpływa zbyt wiele czynników trudnych do zmierzenia.

Drugim kryterium oceny pracy wykonanej podczas szlifowania może być pole powierzchni  $P$  pod wykresem siły pionowej  $P_z$ , mierzonej przez głowicę uniwersalną (przy założeniu, że to samo narzędzie obrabia ten sam materiał oraz że narzędzie działa zawsze tak samo na próbkę, tj.: pionowo w dół).

Zwiększenie nastawy progów "2" powoduje większe wcinanie się narzędzia w materiał.

Trudny do uchwycenia jest wpływ prędkości szukania na zniekształcenie powierzchni jako że otrzymano rozbieżne wyniki.

Ustalenie to jest jednak o tyle nieistotne, że przy badaniu dokładności pozycjonowania, przy stosowaniu jedynie kryterium  $P$  (pole powierzchni pod wykresem siły), okazało się, że dokładność szukania maleje ze wzrostem prędkości szukania.



Rys. 6. Szukanie dokładne: wpływ prędkości szukania oraz wektora korekcji na zeszlifowanie powierzchni

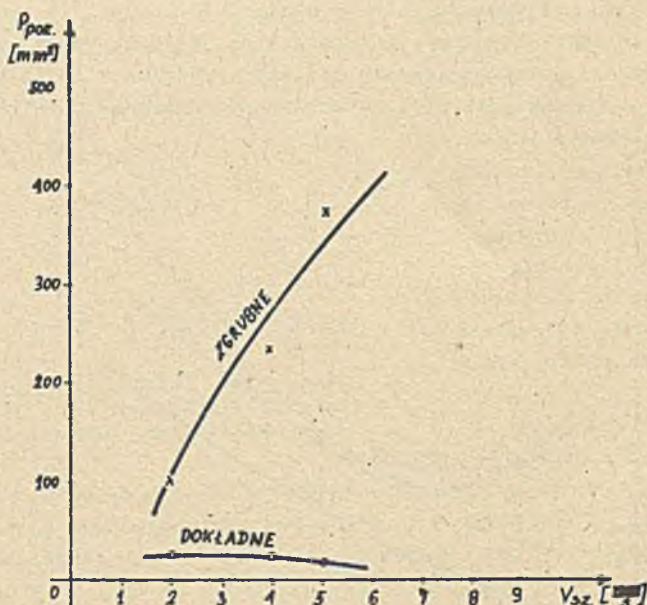
Doświadczenie badania dokładności, w zależności od prędkości szukania, polegało na wyszukiwaniu powierzchni próbki z różnymi prędkościami szukania  $V_{szuk}$ , a następnie przemieszczaniu robota od znalezionej punktu do styku z próbką w innym miejscu. Wielkość wskaźnika  $P$  dla każdego z pozycjonowań była miernikiem dokładności szukania powierzchni próbki.

Podobne doświadczenie wykonano ze sztywnym zamocowaniem głowicy ezli-fierskiej na robocie. Usztywnienie zamocowania znacznie zmniejszyło zależność dokładności pozycjonowania od prędkości szukania.

### B. Badanie funkcji SZUKANIE DOKŁADNE

Podczas realizacji tej funkcji po zmianie sygnału adaptacyjnego z 00 na 01 robot zatrzymuje się dla dokonania kompensacji uchybu serwomechanizmu, a następnie wycofuje aż do osiągnięcia stanu 00 sygnału adaptacyjnego.

Na jakość pozycjonowania oraz zniekształcenie miejsca dotknięcia mają więc wpływ następujące czynniki: nastawa progów "2" czujnika adaptacyjnego, prędkość szukania oraz wielkość wektora korekcji. Wpływ nastawy progów "2" jest oczywisty - im większa nastawa, tym większe dociążenie narzędzia do przedmiotu (tzn. znalezienie następuje przy większym obciążeniu narzędzia).



Rys. 7. Szukanie zgrubne i dokładne: porównanie dokładności szukania

Otrzymane wyniki nie są w pełni jednoznaczne, lecz można z nich wnioskować, że zniekształcenie powierzchni maleje ze wzrostem wektora korekcji oraz ze zmniejszeniem się prędkości szukania.

Zaskakujący jest jednak wynik dokładności szukania, która w przeprowadzonym doświadczeniu nie wykazała zależności od obu tych parametrów, tj. prędkości szukania i korekcji.

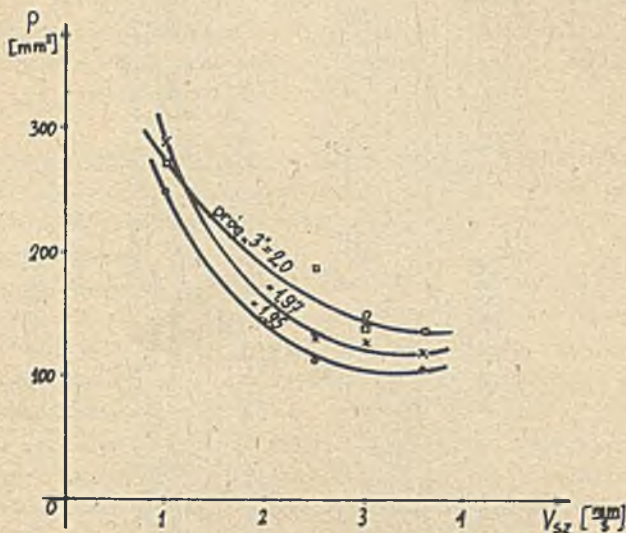
Zniekształcenia powierzchni szukanej są tu znaczniejsze, w porównaniu z innymi rodzajami szukania, jednak dokładność szukania jest znacznie większa.



### C. Badanie funkcji SZUKANIE SWOBOONE

Podczas realizacji tej funkcji robot porusza się z prędkością określoną wektorowo, a zatrzymuje się po zmianie sygnału adaptacyjnego z 10 na 00.

Na jakość pozycjonowania w tym przypadku mogą mieć wpływ dwa czynniki: prędkość szukania oraz nastawa progu "3". Dla porównania z innymi szukaniem nastawy "3" wprowadzono takie, jakie dla innych funkcji były wprowadzane dla progu "2".



Rys. 8. Szukanie swobodne: wpływ nastawy progu "3" oraz prędkości szukania na zeszlifowanie powierzchni

Z obserwacji wynika, że zeszlifowanie wzrasta ze wzrostem nastawy progu "3". Z tego samego wykresu wynika również, że ze wzrostem prędkości szukania zeszlifowane miejsce dotknięcia maleje, dążąc do pewnej ustalonej wartości.

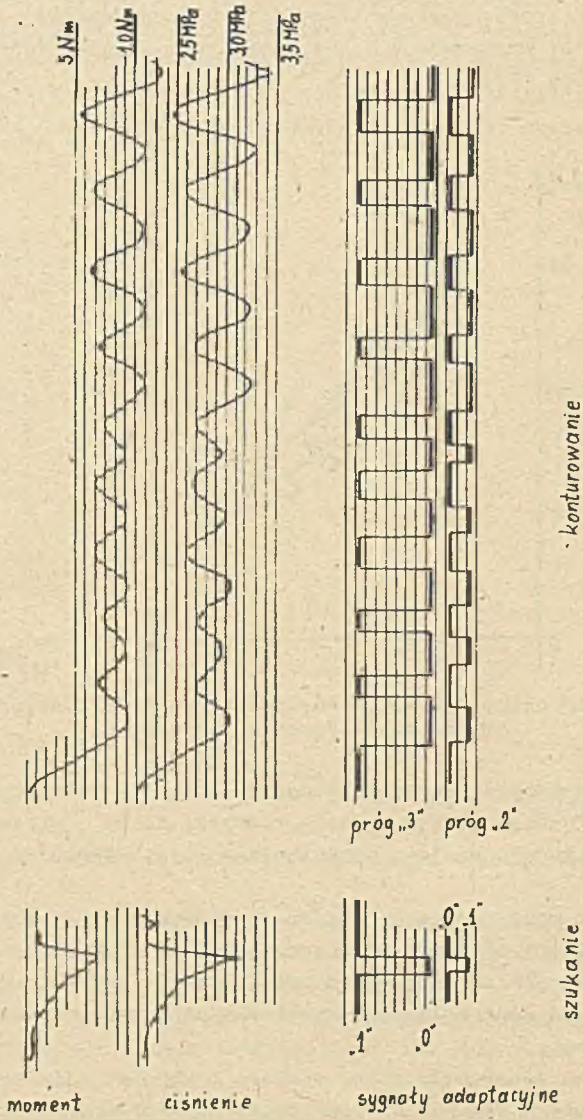
Przy badaniu dokładności pozycjonowania metodą wyżej opisaną uzyskano rozbieżne wyniki. W pierwszych pomiarach dokładność ta była bardzo niewielka, znacznie gorsza od poprzednich. W jednym jednak z doświadczeń dokładność pozycjonowana była porównywalna z osiągniętą w przypadku pozycjonowania zgrubnego.

Wynikiem tych badań była m.in. wymiana czujnika ciśnienia na bardziej czuły. Osiągnięto w ten sposób pewniejszą współpracę robota z czujnikiem i lepszą powtarzalność zachowań dla tego samego ciśnienia.

D. Dla zbadania funkcji "VELOCITY CONTROL" wykonano próbkę żeliwną o przekroju



. Ruch robota występował w poprzek "kanałów"



Rys. 9. Zapis sygnałów przy konturowaniu odlewu



Wysokość progu przełączenia z sygnału 00 na sygnał 01 była równa 2,0 mV. Przełączenie działania adaptacyjnego na wolniejszy ruch robota nastąpiło wówczas przy wejściu tarczy w warstwę skrawaną o głębokości ok. 3 mm.

W kilku momentach wystąpiła "niestabilność", tzn. kilkakrotne przełączenia z ruchu szybszego na wolny i z powrotem. Wynikało to z zerowej histerezy ustawionej na progu "2". Po wprowadzeniu histerezy zjawisko to znikło.

Doświadczenie potwierdziło w pełni możliwość zastosowania funkcji "velocity control" do szlifowania odlewów. Grubość warstwy skrawanej, przy której następuje przełączenie na wolniejszy posuw, jest nastawiona za pomocą potencjometru określającego wielkość progu "2" i powinna być dobrana eksperymentalnie dla właściwej tarczy ściernej, rodzaju odlewu, wymagań oczyszczania itp. przy pomocy technologów.

E. Doświadczenia badające funkcję "KONTUROWANIE" wykonywano pierwotnie na próbce o kształcie łukowym, a następnie na części odlewu pochwy, mającej kształt łuku. Wektory korekcji programowano w przybliżeniu prostopadłe do ruchu podstawowego.

Dla otrzymania właściwego stanu powierzchni, tzn. niewielkiego wgłębienia się tarczy w próbkę, zmieniano nastawy progów określających włączenie korekcji dodatniej i korekcji ujemnej. Wybrano wartość progu "3" równą 1,9 mV oraz progu "2" równą 1,95 mV. Dla tych wartości progów wykonywano konturowanie powierzchni odlewu pochwy, wprowadzając nowe wektory w przybliżeniu co 40 mm. Prędkość ruchu podstawowego wynosiła ok.  $3 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ , prędkość korekcji ok.  $2 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ . Konturowanie było wykonane prawidłowo, tzn. na całej długości łuku jest zachowana w przybliżeniu stała głębokość szlifowania rzędu 0,5 mm. Głębokość tę można zmienić zmieniając wartości progów "2" i "3", określających przełączenie działania adaptacyjnego. W czasie konturowania zachodzi włączenie na przemian korekcji dodatniej i korekcji ujemnej. Czas cyklu takiego przebiegu wynosi ok. 3-4 sek.

Po pierwszych doświadczeniach okazało się, że trudno jest dobrać wielkość wektorów korekcji, gdyż dla wektora mniejszego od pewnej wielkości granicznej nie działa funkcja konturowania, tzn. podczas realizacji programu wykonywany jest tylko ruch podstawowy, bez względu na stan czujnika.

Problem ten rozwiązano wprowadzając każdorazowo, przed i po definicji wektora korekcji, instrukcje KOREKCJA CZASU.

Lokalna, charakterystyczna wielkość graniczna wektora korekcji znajdująca była przez zmianę czasu w definicji wektora. Następnie do programowania przyjmowano wektor większy od granicznego.

W czasie prób okazało się, że prawidłowe konturowanie było realizowane w przypadku, gdy stosunek wektora ruchu podstawowego  $V_{\text{podst}}$  do wektora korekcji  $V_{\text{cor}}$  były jak następuje:

$v_{\text{podst.}}$	$v_{\text{cor}}$	$a = \frac{v_{\text{cor}}}{v_{\text{podst}}}$
1,13	1,8	1,59
2,7	3,5	1,3
1,74	3,5	2,01

#### 4. WNIOSKI DLA INSTALACJI PRZEMYSŁOWEJ

W pierwszej warzeji głowica szlifierska była zamocowana do przegubu robota poprzez zawieszenie elastyczne z wkładką gumową. Zastosowano to, aby uniknąć uszkodzenia tarczy i głowicy przy przypadkowym uderzeniu. W trakcie badań okazało się, że wystarcza elastyczność samego robota i głowicy na zawieszeniu sztywnym. Ponieważ odchylenie tarczy przy szlifowaniu są niekorzystne dla jakości czyszczenia, a większe są dla zawieszenia elastycznego, zamocowano ostatecznie głowicę poprzez zawieszenie sztywne. Pewną miękkość osi obrotu przegubu można wykorzystać dla realizacji docisku elastycznego. Niekorzystny wpływ "miękkości" robota przy szlifowaniu jest minimalizowany jego własnościami adaptacyjnymi, zwłaszcza "konturowaniem".

Przy biegu jałowym, w stanie ustalonym, ciśnienie oleju w instalacji wynosi ok. 2 MPa. W czasie szlifowania, np. przy konturowaniu powierzchni łukowej, ciśnienie to rośnie do ok. 3,5 MPa. Moc zużywana przy szlifowaniu wynosi wówczas ok. 6 kW.

Próby szlifowania prowadzono ze względu bezpieczeństwa przy użyciu pakietu wzmocnianych tarcz płaskich. Wykazały one pełną przydatność funkcjonalną instalacji z robotem adaptacyjnym do czyszczenia odlewów. Dla tarczy mineralnej typu T5 (jaka jest najodpowiedniejsza) pozostaje dobranie parametrów szlifowania: poziomów przełączania, prędkości posuwu, wektorów korekcji.

Aby lepiej wykorzystać czas pracy robota, należy umieścić na obrotowej karuzeli dwa stanowiska obróbcze. Podczas czyszczenia odlewu przez robot na jednym stanowisku, na drugim pracownik może wykańczać odlew, kontrolować obróbkę oraz zdejmować i zakładać odlew.

Bardzo istotną sprawą są zabezpieczenia. Ze względu na duży hałas, rozsiewany pył, niebezpieczeństwo pęknięcia tarczy robot powinien znajdować się w zamkniętej obudowie, w której odbywa się obróbka mechaniczna, a stanowisko pracy ręcznej powinno znajdować się na zewnątrz tej obudowy. Wymiana stanowiska powinna odbywać się na polecenie operatora.



## LITERATURA

- [1] Zastosowanie robota adaptacyjnego do czyszczenia odlewów - sprawozdanie wewnętrzne Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów, 1981.

Recenzent prof. dr inż. Henryk KOWALOWSKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО РОБОТА ИРб-60 ДЛЯ ЧИСТКИ ОТЛИВОК  
(ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА)

Р е з ю м е

В работе исследовано действие всех адаптивных функции робота ИРб-60 и их содействие с датчиками. Эти исследования показали соответственное содействие датчиков и робота а также, что важнее, полную пригодность адаптивного робота для чистки отливок.

APPLICATION OF ADAPTIVE IRb-60 ROBOT TO CLEANING OF CASTINGS  
(LABORATORY INSTALLATION)

S u m m a r y

Adaptive IRb-60 robot has possibilities, which make easy its application to cleaning of castings. The adaptive robot can correct its program as the grinding disk wears out, in the range of casting positions changes. Robot can also diminish its speed, when the tool load grows up. Testing of the laboratory installation designed in our Institute permits formulating proposals concerning the industrial applications.