

mgr inż. MAREK PETZ

mgr inż. ZBIGNIEW RUDNICKI

Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

PRÓBY LABORATORYJNE CZYSZCZENIA ODLEWÓW Z ZASTOSOWANIEM ADAPTACYJNEGO ROBOTA IRb-60

Artykuł zawiera krótkie przedstawienie robota adaptacyjnego IRb-60, jak również opis laboratoryjnej instalacji zrobotyzowanego czyszczenia odlewów oraz przeprowadzonych badań. Zamieszczono w nim także wnioski, które powinny być uwzględnione przy projektowaniu instalacji przemysłowej robota.

1. Wstęp

W Ośrodku Automatykacji Kompleksowej PIAP wykonano stanowisko laboratoryjne do czyszczenia odlewów. W jego skład wchodzi: adaptacyjny robot IRb-60, instalacja hydrauliczna napędu głowicy szlifierskiej zawieszona na robocie, uchwyty do oczyszczanych odlewów oraz przyrządy laboratoryjne (rejestrator, woltomierz cyfrowy itp.). Czujniki wykorzystywane do realizacji funkcji adaptacyjnych robota zostały wykonane w Ośrodku Automatyki Elektrycznej PIAP.

Przeprowadzono badania laboratoryjne, których celem było:

- poznanie warunków i zebranie doświadczeń z pracy robota przy czyszczeniu odlewów,
- zbadanie przydatności obiektowej specjalnie zaprojektowanej głowicy szlifierskiej wraz z nietypową instalacją ruchomego orurowania hydraulicznego,
- określenie rzędu wielkości rzeczywistych parametrów obróbki,
- zbadanie i wybór najodpowiedniejszej wersji czujnika adaptacyjnego wraz z dobraniem jego nastaw progowych,
- praktyczne poznanie działania funkcji adaptacyjnych robota i określenie ich przydatności w praktycznym działaniu,
- zebranie doświadczeń do ewentualnej realizacji przemysłowej zrobotyzowanego stanowiska do czyszczenia odlewów.

2. Właściwości robota adaptacyjnego przydatne w procesie czyszczenia odlewów

Robot adaptacyjny, poza wszystkimi możliwościami robota standardowego, może wykonywać we współpracy z czujnikami zewnętrznymi następujące czynności:

- szukanie adaptacyjne różnego typu, pozwalające umiejscowić poszukiwaną płaszczyznę (krawędź lub naroże) z różną dokładnością, zależną od wybranej funkcji,
- konturowanie umożliwiające ruch robota wzdłuż nieznaną z góry krzywizny odlewu,
- sterowanie prędkością umożliwiające zwolnienie ruchu przy większym obciążeniu tarczy szlifierskiej (większe zalewki, występy).

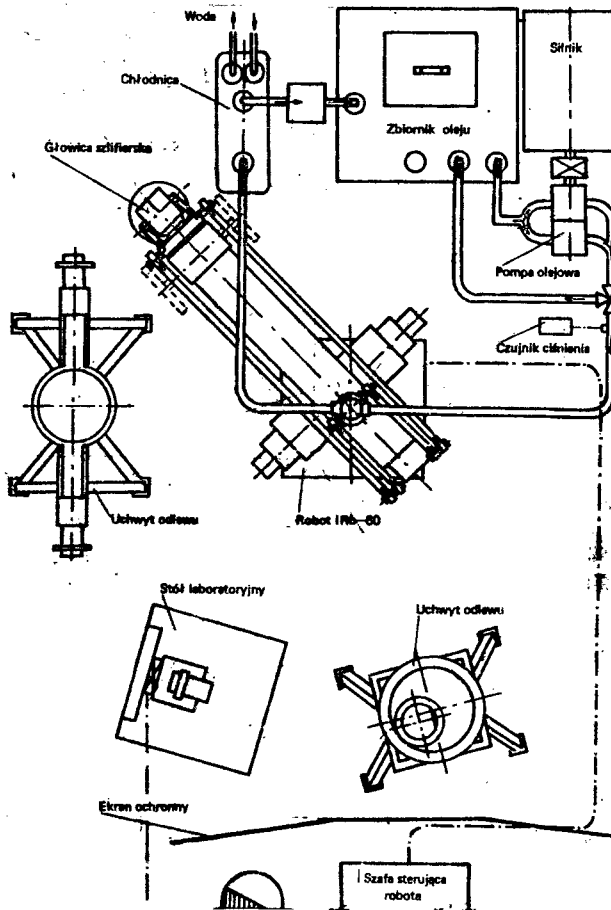
Ponadto program sterujący robota adaptacyjnego zawiera kilka funkcji ułatwiających programowanie. Te właściwości sprawiają, że robot adaptacyjny spełnia wymagania decydujące o przydatności w czysz-

czeniu odlewów, czyli:

- koryguje program użytkowy w miarę zużycia się tarczy szlifierskiej i w zakresie zmian położenia odlewów powodowanych tolerancjami wykonawczymi odlewów,
- reaguje na zmianę obciążenia tarczy szlifierskiej
- ma odpowiedni zasięg, udźwig i ruchliwość.

3. Opis stanowiska laboratoryjnego

W laboratorium zbudowano stanowisko do prób czyszczenia. Przeznaczone jest ono do czyszczenia odlewów żeliwnych o ciężarze rzędu 1500–2000 N, mocowanych w uchwycie stacjonarnym. Tarcza szlifierska jest umieszczona na głowicy szlifierskiej zamocowanej do przegubu robota. Tarcza jest napędzana silnikiem hydraulicznym o mocy ok. 30 kW, przy obrotach 45 obr/s i ciśnieniu cieczy roboczej 16 MPa. Napęd hydrauliczny do szlifierki wybrano ze względu na najkorzystniejszy stosunek mocy do do ciężaru silnika oraz na ograniczony udźwig robota.



Rys. 1. Instalacja laboratoryjna czyszczenia odlewów

Zrealizowano dwie wersje czujnika mierzącego obciążenie narzędzia. W pierwszej wersji jest go głowica szlifierska wyposażona w czujnik momentowy mierzący moment powstający na tarczy w czasie szlifowania. Drugą wersją jest czujnik mierzący ciśnienie oleju przed silnikiem hydraulicznym napędzającym tarczę, będące miarą obciążenia narzędzia. Czujnik ciśnienia jest prostszy, bardziej niezawodny w działaniu i łatwy do zabudowania w instalacji. Pozwala również na uproszczenie konstrukcji głowicy szlifierskiej, eliminuje konieczność doprowadzenia przewodu elektrycznego do obracającej się głowicy. Instalację hydrauliczną zbudowano tak, aby nie ograniczała ruchliwości robota i spełniała odpowiednie wymagania dla ciśnienia oleju 16 MPa. Istotne w konstrukcji tej instalacji są tzw. obrotnice umożliwiające obrót robota wokół osi pionowej (obrotnica górna) i obrót tarczy robota (obrotnica dolna). Ponadto złącza kątowe rurociągu nie ograniczają ruchliwości ramion metapleksu. Jako zabezpieczenie obsługi w laboratorium przed ewentualnymi odpryskami tarczy czy metalu podczas szlifowania wykonano metalowe ekrany z zakratowanymi okienkami z pleksiglasu.

4. Badania laboratoryjne i ich wyniki

Instalacja została wyposażona w układ pomiaru i rejestracji:

- ciśnienia oleju
- momentu obciążenia tarczy szlifierskiej
- sił występujących na tarczy w czasie szlifowania
- siły stycznej i promieniowej; działających na szlifowaną próbkę.

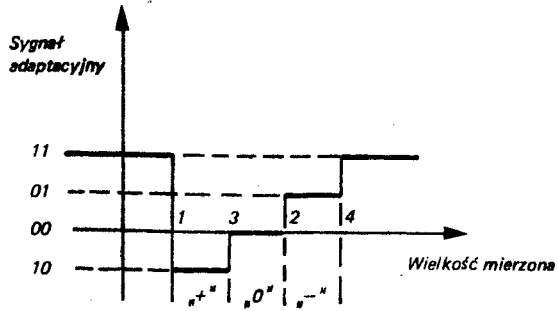
Wstępne badania wykazały, że przyjęte w założeniach wielkości sił, mocy i ciśnień potrzebnych do szlifowania były zbyt duże. Zaszła konieczność zmiany zakresu pomiarowego zarówno czujnika momentowego, jak i czujnika ciśnienia.

Badania czujnika momentowego wykazały istnienie silnej zależności sygnału pomiarowego do położenia głowicy szlifierskiej. Istnienie takich sygnałów zakłócających jest spowodowane prawdopodobnie mimoosiowością środka ciężkości głowicy szlifierskiej względem jej osi obrotu pomiarowego oraz elastycznością konstrukcji głowicy, która powoduje ugięcie czujnika pomiarowego. Mimo wielu prób i poprawek nie udało się wyeliminować istnienia tych sygnałów zakłócających i wydaje się, że przy obecnej zasadzie działania głowicy momentowej nie uda się tego dokonać. Czujnik ten współpracował poprawnie z robotem jedynie w niezmiennym położeniu głowicy szlifierskiej względem ziemi, czyli przy stałym położeniu obu osi przegubu robota.

Równolegle z czujnikiem momentowym przeprowadzano badania czujnika ciśnieniowego, po ustaleniu jego zakresu na 0÷10 MPa. Sygnał z tego czujnika jest zniekształcany nakładającymi się szumami musi więc być filtrowany, nie wykazuje natomiast znaczących opóźnień przesyłania jak również nie ma histerezy ani innych zniekształceń. Jest on oczywiście niezależny od położenia głowicy szlifierskiej i ruchów robota. Kolejnymi zaletami takiego rozwiązania czujnika adaptacyjnego są: uproszczenie konstrukcji głowicy szlifierskiej oraz łatwość okablowania sygnałowego. Zastosowanie tego czujnika w instalacji przemysłowej będzie wymagało zastosowania dość prostego układu regulacji temperatury oleju dla zapewnienia właściwej zależności między obciążeniem narzędzia, a ciśnieniem oleju w instalacji. Czujnik ciśnieniowy ze względu na swoje zalety był wykorzystywany do badań adaptacyjności, poza jednym przypadkiem omówionym później.

Badania prowadzono z głowicą zawieszoną elastycznie na robocie. Do szlifowania używano (głównie ze względów bezpieczeństwa) pakietu tzw. gumówek, tarcz typu T1 o średnicy 350 mm i szerokości 20 mm, przy obrotach silnika ok. 35 obr/s. Szlifowano najpierw próbki żeliwne umieszczone w imadle, a następnie odlew obudowy tylnej osi autobusu.

Czujniki pomiarowe wytwarzają elektryczne sygnały analogowe, przetwarzane następnie w układzie interpretującym na postać wymaganą przez program sterujący robota (rys.2). Położenie progów $1 \div 4$



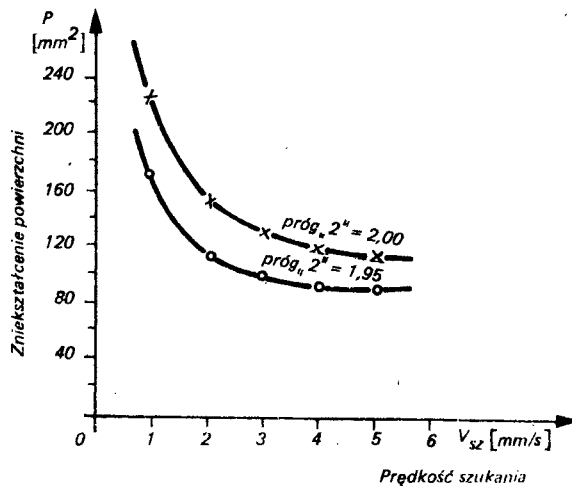
Rys.2. Kształt sygnału adaptacyjnego

można ustawiać potencjometrami, stąd można ustalać wielkość obciążenia, przy której występuje określone, adaptacyjne działanie robota. Dla zbadania możliwości zrealizowania kilku czujników adaptacyjnych, bazujących na tym samym analogowym sygnale pomiarowym, a reagujących na zmianę obciążenia w różnych zakresach, przewidziano w układzie interpretującym dwa równoległe kanały—wyjścia adaptacyjne. Przykład nietypowego wykorzystania tej możliwości podano niżej.

Przebadano działanie robota z czujnikiem ciśnienia zaczynając od funkcji szukania. Ponieważ w robocie adaptacyjnym do tej grupy zaliczyć można pięć funkcji, badano funkcje:

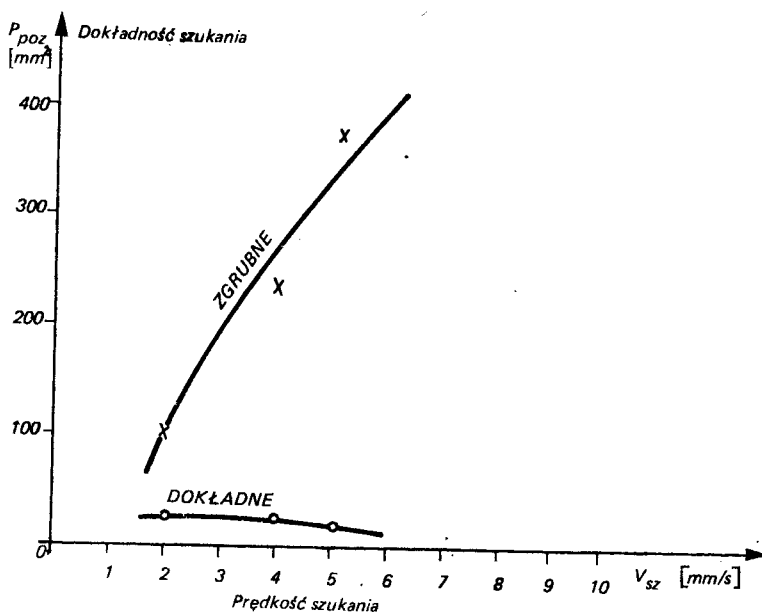
- szukanie zgrubne
- szukanie dokładne
- szukanie swobodne.

Funkcje szukanie zgrubne z opóźnieniem oraz nadzór działają podobnie jak szukanie zgrubne. Na działanie szukania zgrubnego i szukania dokładnego można wpływać nastawami progu 2, na szukanie swobodne nastawami progu 3. Zwiększenie nastawy progu 2 (bądź 3) powoduje głębsze wcinanie się tarczy szlifierskiej w materiał (rys.3).



Rys.3. Zniekształcenia powierzchni przy szukaniu zgrubnym

Dla szukania z grubego dokładność szukania maleje ze wzrostem prędkości szukania. Dla szukania dokładnego dokładność szukania nie zależy w sposób wyraźny od prędkości szukania i od wektora korekcji, jest ona znacznie większa niż dla pozostałych rodzajów szukania (rys. 4). Dla szukania swobodnego dokładność jest w najlepszym razie porównywalna z dokładnością szukania z grubego, na ogół jest jednak gorsza.

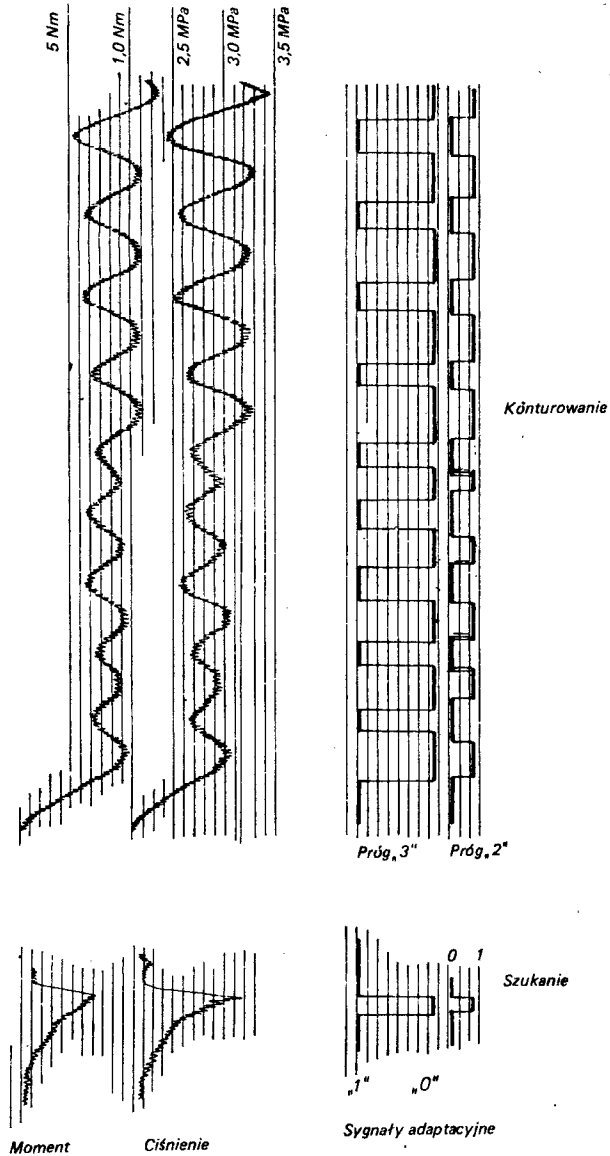


Rys. 4. Dokładność szukania

Funkcja sterowanie prędkością działa przy przejściu sygnału przez próg 2. Przy zwiększeniu obciążenia narzędzia ponad wartość progu 2, robot zwalnia do 1/3 zaprogramowanej prędkości. Przy spadku obciążenia poniżej progu 2 (i po upływie 0,5 s) robot przyspiesza do prędkości zaprogramowanej. Badając tę funkcję kilkakrotnie zaobserwowano wystąpienie niestabilności jako kilkakrotne przełączenie z ruchu szybszego na wolniejszy i z powrotem. Po wprowadzeniu w układzie elektronicznym czujnika nastawialnej histerezy na progu 2, zjawisko niestabilności znikło.

Badania wykazały przydatność funkcji sterowania prędkością do czyszczenia odlewów, gdyż umożliwia ona m.in. zwiększenie wydajności czyszczenia dzięki możliwości zaprogramowania szybszych ruchów, bez obawy o pogorszenie parametrów obróbki przy niespodziewanym napotkaniu np. na zalewkę. Funkcję kontrowania badano najpierw na łukowej próbce żeliwnej, a następnie na części odlewu obudowy, mającej kształt czaszy kulistej. Funkcja kontrowania przy wzroście sygnału ponad wartość progu 2 powoduje włączenie ujemnej korekcji (w kierunku od odlewu), przy spadku sygnału poniżej progu 3 włączenie korekcji dodatniej (w kierunku do odlewu). Włączenie korekcji oznacza nakładanie się wektora korekcji na ruch podstawowy, przy czym zwykle wektor ten jest programowany prostopadle do kierunku ruchu podstawowego, a tym samym najczęściej prostopadle do powierzchni odlewu. Gdy wartość sygnału pomiarowego znajduje się między progami 3 i 2, robot porusza się ruchem podstawowym, bez korekcji.

W pierwszych doświadczeniach okazało się, że dla wektora korekcji mniejszego od pewnej wielkości nie włącza się korekcja, tzn. bez względu na stan czujnika wykonywany jest tylko ruch podstawowy. Prawidłowe konturowanie, czyli możliwie dokładne odtwarzanie kształtu odlewu odbywało się dla minimalnego stosunku wektora korekcji do prędkości ruchu podstawowego równego około 1,5 (rys.5).



Rys.5. Przebieg sygnałów przy, konturowaniu

Wykonano również próby funkcji adaptacyjnych z użyciem czujnika momentowego. Ponieważ w tym czujniku występuje omawiana poprzednio zmienność sygnału pomiarowego zależna w dużym stopniu od różnych położeń głowicy, uruchomiono drugi kanał układu interpretacyjnego, tworząc na podstawie sygnału analogowego z tego samego czujnika momentowego, dwa czujniki adaptacyjne dla dwóch różnych położeń głowicy. Dla każdego z tych czujników dobrano wielkości progów przełączania odpowiednie dla każdej pozycji. Z tak pracującym czujnikiem przebadano funkcje szukania i konturowania z pozytywnym wynikiem.

5. Wnioski dla projektowania instalacji przemysłowej

W pierwszej wersji głowica szlifierska była przymocowana do przegubu robota poprzez zawieszenie elastyczne z wkładką gumową. Zastosowano to, aby uniknąć uszkodzenia tarczy i głowicy podczas przypadkowego uderzenia. W trakcie badań okazało się, że wystarczy elastyczność samego robota i głowicy na zawieszeniu sztywnym. Ponieważ odchylenia tarczy w czasie szlifowania są niekorzystne dla jakości czyszczenia, a większe są dla zawieszenia elastycznego, zamocowano ostatecznie głowicę przez zawieszenie sztywne. Istniejącą miękkość osi obrotu przegubu robota można wykorzystać do realizacji docisku elastycznego. Niekorzystny wpływ tzw. miękkości robota jest minimalizowany w trakcie szlifowania jego własnościami adaptacyjnymi, zwłaszcza konturowaniem.

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

Próby szlifowania prowadzono używając ze względów bezpieczeństwa pakietu wzmacnianych tarcz płaskich. Wykazały one pełną przydatność funkcjonalną instalacji z robotem adaptacyjnym do czyszczenia odlewów. Dla tarczy mineralnej typu T5 (która jest najodpowiedniejsza) pozostaje dobranie nowych parametrów szlifowania adaptacyjnego: 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 wykarcać odlew, kontrolować obróbkę oraz zdejmować i zakładać odlew.

Bardzo istotną sprawą są właściwe 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 stanowisk (obrót karuzeli) powinna odbywać się na polecenie pracownika.

Literatura

- [1] Petz M., Rudnicki Z. i in.: Zastosowanie robota adaptacyjnego do czyszczenia odlewów. Sprawozdania wewnętrzne Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów, nr arch. 2627, 2751, 4633, 4746, 4803, 4832, 4868, Warszawa 1980/81.