

Włodzimierz Drózdź,
Andrzej Gogolewski

Instytut Mechaniki Precyzyjnej

ZASTOSOWANIE ROBOTÓW MALARSKICH

Streszczenie. Przedstawiono podstawowe zalecenia dotyczące stosowania robotów malarskich do malowania natryskowego. Podano przykład wdrożenia do lakierni robota malarskiego RLP-900 wykonanego w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej.

1. Wstęp

Procesy nakładania powłok odgrywają stale istotną rolę w naszej technologii. Szukamy nowych materiałów na powłoki, ulepszymy metody ich wytwarzania mając na uwadze ich estetykę, ilość, trwałość itp. Często warunki technologiczne, konieczne dla uzyskania wysokiej jakości wyrobu są zabójcze dla człowieka. Powszechnym jest więc dążenie do wyeliminowania z tych procesów bezpośredniego udziału tak niedoskonałego ogniwa jakim jest człowiek. Na jego miejscu pojawiają się automaty a wśród nich robot. Stawia się jemu i urządzeniom towarzyszącym coraz większe wymagania /różnorodność technologii, szybkość ruchów, minimalizacja czasów pomiędzy malowaniem kolejnego detalu, łatwość zmiany asortymentu, koszty.../. Spełnienie tych wymagań jest napędem rozwoju robotyzacji procesów nakładania powłok.

2. Warunki wprowadzenia robotów malarskich

Ograniczono się tutaj do metody malowania natryskowego aby wskazać na jej bazie jak obostrzone są warunki technologiczne i wymagania stawiane robotom oraz stanowiskom malarskim.

2.1. Wymagania technologiczne nanoszenia powłok ochronnych

Aby zapewnić właściwą jakość powłoki uzyskanej w procesie natryskiwania muszą być spełnione pewne warunki dotyczące:

- materiału natryskowego,
- powlekaney powierzchni,
- warunków otoczenia.

Spełnienie ich gwarantuje uzyskanie optymalnej warstwy, jej grubość i jakość.

A/ materiał natryskowy - rodzaj materiałów, ich parametry zależą od rodzaju stosowanych pokryć i są przygotowywane i kontrolowane

przez kwalifikowaną obsługę przed przystąpieniem do czynności natryskiwania. Istotnym czynnikiem jest tutaj stałe sprawdzanie lepkości w trakcie powlekania /kontrola wizualna malowanego detalu/

B/ powlekane powierzchnie są przygotowane przez odpowiednią obróbkę na innych stanowiskach,

C/ czynności natryskiwania -

1. Pistolet z dyszą: dobór w zależności od rodzaju lakieru, wielkości przedmiotu, wymagań pod względem jakości powłoki. Wymagania mogą dotyczyć zmiany strumienia poprzez regulację dyszy, wymiany dyszy, wymiany pistoletu. W trakcie pracy pistoletu mogą pojawić się usterki, które są obserwowalne wizualnie /np. strumień pulsujący, rozszczeplony, ślad strumienia w kształcie fasoli itp./ i powinny być usunięte.

2. Operująco pistoletem naloży:

- rozpoczynać prowadzenie pistoletu przed wytryskiem a kończyć po zamknięciu wytrysku,
- utrzymywać pistolet prostopadle do malowanej powierzchni /przy pochyleniu powstają nierównomierne pasma, mgła rozpryskowa/,
- utrzymywać pistolet w stałej, optymalnej odległości od powierzchni /zbyt mała odległość powoduje zacieki, zbyt duża pokrycie, tzw. suchym natryskiem/,
- szybkość przesuwu dostosować do ilości wypływającego materiału malarskiego /zbyt wolny przesuw daje zacieki, zbyt szybki - złą jakość powłoki/,
- zapewnić zachodzenie następnego pasma w 30% szerokości na poprzednie,

D/ warunki otoczenia - z podanymi poniżej warunkami technologicznymi stanowiska roboczego łączą się, w przypadku pracy lakiernika-człowieka, warunki BHP zgodne z Polskimi Normami.

Względy technologiczne wymagają odpowiedniej:

- temperatury nie niższej niż +15 stopni C,
- wilgotności względnej powietrza mniejszej niż 80%,
- czystości powietrza - wymagane jest odprowadzanie cząstek materiału malarskiego rozpylonego w powietrzu oraz rozpylonych rozpuszczalników ze względu na jakość powierzchni i wybuchowość środowiska,
- uszeregowanej instalacji natryskowej i malowanego przedmiotu.

2.2. Podstawowe wymagania stawiane robotom malarskim

Robot powinien zapewnić ruch pistoletu malarskiego po zadanej mu

przez operatora trajektorii /w granicach dopuszczalnych tolerancji w czasie i przestrzeni/. Jest to podstawowe wymaganie, którego spełnienie decyduje o możliwości zastosowania robota.

Praca wykonywana przez robota na stanowisku malarskim składa się z dwóch faz:

- faza uczenia,
- faza odtwarzania, automatyczna.

W fazie uczenia robot kierowany przez operatora zapamiętuje zadane sekwencje ruchów i stany urządzeń towarzyszących.

W zależności od konstrukcji manipulatora możliwy jest jeden z trzech sposobów uczenia:

- A/ - uczenie bezpośrednie manipulatorem - operator trzyma robota za rękę /z pistoletem/ i wodzą robota wykonuje normalny proces malowania,
- B/ - uczenie bezpośrednie syntakserem, pajacem /lekka, szkieletowa konstrukcja o strukturze kinematycznej robota i o identycznych elementach pomiarowych/ - rozwiązanie to stosuje się wtedy, gdy konstrukcja robota uniemożliwia swobodne manipulowanie pistoletem,
- C/ - uczenie pośrednie syntakserem - operator stojąc poza kabiną malarską prowadzi pajaca, natomiast układ sterowania wykonuje takie same ruchy robotem.

W fazie odtwarzania robot powinien:

- wykonywać właściwe sekwencje ruchów bez udziału operatora,
- ustawiać właściwe stany urządzeń wspomagających,
- reagować na sygnały zewnętrzne.

Najczęściej zasadą pracy robotów malarskich jest tryb CP polegający na próbkowaniu w czasie kolejnych pozycji z trajektorii, w odróżnieniu od trybu PTP polegającego na doprowadzeniu ramienia do zadanego otoczenia punktu przestrzeni roboczej /sterowanie w przestrzeni a nie w czasie/.

Prawie we wszystkich pracujących obecnie robotach malarskich trajektorię zapamiętuje się w sposób bezpośredni przez zapamiętanie parametrów /pozycji, prędkości i/lub sygnałów sterujących/ każdej próbki. Dla odtworzenia trajektorii częstotliwość próbkowania musi być 2-krotnie większa od częstotliwości granicznej robota, co wymaga pobierania 20-30 próbek na sekundę. Zapamiętanie tak dużej ilości informacji /każdej próbce odpowiada około 40-200 bitów przy cyfrowej obróbce sygnałów/, wymaga wyposażenia układu w pamięci masowe. W starszych rozwiązaniach były to pamięci kasetowe, obecnie coraz częściej stosuje się floppy-dyski. Nowym podejściem do zapamiętywania trajektorii jest ich aproksymacja i zapamiętywanie współczynników wielomianów aproksymujących. Takie podejście umo-

zliwia znaczne zmniejszenie koniecznej pojemności pamięci kosztem ewentualnego zwiększenia mocy obliczeniowej.

Do podstawowych wymagań stawianych robotom malarskim należą:

- A/ niezawodność,
- B/ bezpieczna obsługa - przy robotach konieczna jest obsługa człowieka na zasadzie off-line bądź nawet on-line. Najpoważniejszym zagrożeniem ze strony robota jest uderzenie ramieniem lub narzędziem, porażenie prądem, porażenie czynnikiem napędowym /np. przy zasilaniu hydraulicznym manipulatora sprężonym olejem lub wypchniętą uszczelką/, groźba wybuchu,
- C/ łatwość obsługi - prostota obsługi pulpitu, dostępność do pulpitu, stopu bezpieczeństwa, sposób nauczania /bezpośredni przez wodzenie za rękę ramię robota: wymaga właściwego wyważenia ramienia ze względu na wielkość oporów bezwładności pokonywanych przez człowieka, pośredni przy pomocy syntaksera, nauczanie na odległość, językiem tekstowym lub głosem/. Istotnym elementem staje się możliwość korygowania błędów po nauczaniu programu /zwykle należy uczyć ponownie dla wadliwie zaprogramowanego przedmiotu/. Przy dużym asortymencie wyrobów pojawia się problem pojemności /czyli ilości podprogramów/ pamięci masowej,
- D/ łatwość adaptacji na stanowisku - zależy od gabarytów, zasięgu ramienia, możliwości ruchowych /ilość stopni swobody/, możliwości synchronizacji z taśmą, zabezpieczenie przed uszkodzeniem stanowiska i robota. Konstrukcja samego manipulatora /robot= układ sterowania + manipulator + zasilanie/ powinna być dostosowana do trudnych warunków zanieczyszczonego otoczenia,
- E/ wyposażenie robota w układy sprzężenia zwrotnego z otoczeniem -
 - układy rozpoznające kolejne przedmioty przesuwające się na taśmie /sensorowe, optoelektroniczne itp./,
 - układy zapewniające kontrolę właściwego nanoszenia powłok /optymalnym rozwiązaniem jest system wizyjny z możliwością korygowania błędów takich jak wymieniono w punktach 2.1.C.1 i 2.1.C.2/,
 - układy zabezpieczające manipulator przed niepożądanym zetknięciem się z przedmiotem lub inną przeszkodą - najczęściej stosuje się zabezpieczenia z wyłącznikami krańcowymi, optoelektroniczne, indukcyjne. Optymalnym rozwiązaniem byłby tutaj system wizyjny w połączeniu z czujnikami sensorowymi,
- F/ antywybuchowość - konstrukcja mechaniczna, jej pokrycie, odprężenie przewodów powinny spełniać wymogi najwyższej klasy wybuchowości. Ramię robota pokrywa się grubą warstwą tworzywa elastycznego /materiał fluidyzacji/ zabezpieczającego przed powstaniem iskry w momencie uderzenia, osłania się ramię, osłania się złącza, w bud-

wuje w układy wysyłające sygnały napięciowo, układy antyiskrowe. Dla szaf sterowniczych wymagane są: przewietrzanie z nadośnieniem, zabezpieczenie przed uruchomieniem bez pięciokrotnej wymiany powietrza wewnątrz szafy, stosowanie przycisków iskrobezpiecznych itp.

W dalszej perspektywie istotnymi staną się wymagania dotyczące włączenia robota do kompleksowych zrobotyzowanych stanowisk technologicznych, dozorowanych przez nadrzędne jednostki sterujące /uprzągnięcie robota w system CAM/.

2.3. Warunki stawiane stanowiskom malarskim

Warunki te wynikają bezpośrednio z punktu 2:1. Można jedynie podać uzupełniające wymagania dla stanowiska bez bezpośredniego udziału człowieka /odpadają potrzeby oświetlenia, zwiększonej wentylacji, ogrzewania/. Ponieważ zawsze należy liczyć się z możliwością wejścia człowieka w obszar pracy robota, dlatego zostały w ramach propozycji normy/ przedstawione /na forum RWPG/ pewne wymagania stawiane zrobotyzowanym stanowiskom.

Przy wprowadzeniu robota musimy liczyć się z równoczesnym wprowadzeniem wielu urządzeń wspomagających, zsynchronizowanych bezpośrednio lub pośrednio z robotem /taśmy, pompy, zbiorniki z mieszadkami, suszarnie, układy rozpoznające i startujące, czujniki ciśnienia nadmuchów, systemy zabezpieczenia na wypadek awarii/.

Na obecnym etapie rozwoju, tzn. przy istnieniu rozdzielnych z manipulatorem szaf sterowniczych, mniejsze wymagania dotyczą wykonania szafy, która stoi poza rejonem największego zagrożenia, największe zaś - manipulatora.

Dla urządzeń wspomagających przewiduje się także atesty dopuszczające prace w środowiskach wybuchowych.

3. Przykład wdrożenia robota RIMP-900

Robot RIMP-900 jest pierwszym polskim robotem przeznaczonym do prac malarskich. Pośród innych krajów RWPG tylko Bułgaria posiada robota przeznaczonego do malowania. Obecnie w naszym Instytucie trwają prace nad zastosowaniem robota RIMP-900 w naszej malarni /Instytut nasz zajmował się głównie powłokami i metaloznawstwem. Roboty przemysłowe są stosunkowo nowym zakresem działalności/.

Robot RIMP-900 składa się z trzech zasadniczych elementów:

- manipulator,

- szafa sterownicza,
- zasilacz hydrauliczny.

Do urządzeń wspomagających, oprócz transportera, suszarki, kabiny półotwartej, dochodzi pojemnik z farbą i rozdzielaczem, układ rozpoznawania przedmiotów, czujnik startu, układ czasowy wentylacji szafy sterowniczej, zabezpieczenie wejścia kabiny malarskiej przed uderzeniem ramienia manipulatora, układ synchronizacji z taśmą.

Robot RLP-900 jest robotem przeznaczonym do nakładania powłok ochronnych wszelkiego rodzaju, np. lakierniczych, metalicznych. Manipulator ma pięć stopni swobody pracujących w biegunowym układzie współrzędnych /obrot kolumny $\pm 40^\circ$, podnoszenie ramienia $+25^\circ, -52^\circ$, wahanie kolumny $\pm 34^\circ$ oraz dwa lokalne ruchy głowicy w zakresie $\pm 210^\circ$ /. Sterowanie CP /continuous path/ realizuje zadanie śledzenia trajektorii z dokładnością do 3 cm w najgorszym przypadku /dokładność statyczna wynosi 3 mm/. Nauczanie procesu malowania wykonuje operator wodząc robota za rękę. Łączny czas programów rejestrowanych w pamięci kasetowej wynosi 17 min. /przy próbkowaniu 40 Hz/. Czujniki optyczne umożliwiają wybór jednego z 256 programów malowania. Układ sterowania oparty jest o system mikroprocesorowy z wykorzystaniem mikroprocesora 8080 lub Z-80. Wyposażenie układu sterowania w dwie jednostki pamięci kasetowej minimalizuje czas wyszukiwania następnego programu. Rozmieszczenie poszczególnych elementów na stanowisku pokazuje rysunek 1.

Manipulator umieszczony jest w wejściu do kabiny lakierniczej. Wejście zabezpieczono przed uderzeniem ramienia manipulatora za pomocą rozciągniętej linki i czujnika indukcyjnego. Dodatkowo ramię robota zostanie pokryte materiałem zabezpieczającym przed powstaniem iskry w momencie uderzenia. Wszystkie elementy umieszczone na manipulatorze, do których dochodzą sygnały muszą mieć atest na pracę w strefie zagrożenia "0".

Szafa sterownicza zawiera układ elektroniczny sterujący pracą manipulatora i urządzeń dodatkowych. Strefa zagrożenia dla szafy wymaga:

- przewietrzania szafy - stąd blok przygotowania powietrza, który zapewni pięciokrotną wymianę powietrza wewnątrz szafy przed załączeniem zasilania /współpraca z układem zabezpieczającym/. Dla prawidłowego działania zabezpieczenia w szafie umieszczono czujniki ciśnienia minimalnego i maksymalnego oraz przepływu powietrza,
- iskrobezpiecznej konstrukcji wszelkich nieprzewietrzanych przycisków,
- doprowadzenia do szafy głównego przewodu zasilania przez hermetyczny przepust, bowiem złącza są niedopuszczalne,
- umieszczenia wszelkich złączy kablowych w strefie przewietrzanej,
- zabezpieczenia sygnałów wejściowych i wyjściowych przed iskrzeniem w przypadku uszkodzenia przewodów /zabezpieczenia przed powstaniem

przebieg, ograniczenie napięć i prądów/.

W zasilaczu hydraulicznym pracuje atestowany silnik. Na zespół czujników identyfikacji składa się osiem par przekaźników fotoelektrycznych typu nadajnik-odbiornik. Właściwe rozmieszczenie czujników pozwala rozpoznawać kolejne, przesuwające się na transporterze przedmioty. Informacja z czujników jest wykorzystywana przez układ sterowania do przypisania cechy poszczególnym programom malowania. Podobnego typu jest czujnik startu. Zadanie jego polega na przesłaniu informacji o tym, że rozpoznany przedmiot wkroczą w obszar czynności natryskowych. Dzięki czujnikom ma także wykonanie antywybuchowe.

Kolejne czynności jakie zachodzą w trakcie procesu malowania są następujące:

A/ Proces uczenia

Po założeniu zasilania system zgłasza swoją gotowość do pracy.

Wybór rodzaju pracy - uczenie. Operator ujmując rękę z pistoletem /docepioną do końca ramienia robota/ i po włączeniu przycisku "gotowość" /na rękojeści/ wykonuje ruchy imitujące malowanie, przyciskając lub zwalnijąc spust pistoletu. W tym czasie rozdzielacz podaje farbę, zaś zasilacz hydrauliczny nie pracuje.

Włączenie gotowości przez operatora możliwe jest wówczas, gdy przedmiot przesunie się przez obszar czujników identyfikacji oraz czujnik startu.

Program zapisuje się na obie taśmy kasetowe jednocześnie. Operator ponawia czynność uczenia po nadejściu kolejnego /różnego od poprzednio już rozpoznanego/ przedmiotu.

B/ Proces odtwarzania

Wybór rodzaju pracy - auto. Przedmiot przechodzi przez strefę czujników identyfikacji. Po przejściu tej strefy przez przedmiot, układ sterowania wyszukuje odpowiedni program na jednej z taśm. Po dojściu przedmiotu do czujnika startu rozpoczyna wykonanie odnalezionej programu. Manipulator wykonuje zaprogramowane ruchy. Uruchamiane są zaprogramowane urządzenia wspomagające /tutaj: rozdzielacz farby/. W trakcie wykonywania programu przez czujniki identyfikacji przechodzi następny przedmiot.

Czynności powtarzają się po przejściu przedmiotu przez czujnik startu. W razie potrzeby możliwe będzie zsynchronizowanie prędkości ruchów ramienia i regulacji dyszy z prędkością przesuwu taśmy transportowej.

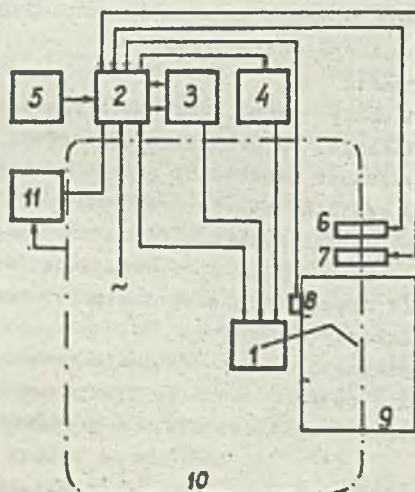
4. Wnioski

Zalety stosowania robotów w procesach nakładania powłok są oczywiste:

- zastępują człowieka w antyhumanitarnych warunkach pracy /hałas, niebezpieczeństwa dla zdrowia, zanieczyszczenia/,
- roboty sprzyjają jakości lakierowania /nieznośne zakurzenie, równomierne pokrycie, stała jakość, mniejsza ilość braków/,
- stwarzają warunki do nieprzerwanej pracy /o ile sam robot jest niezawodny/,
- wymagają mniejszych kosztów energetycznych /nikną wszystkie dodatkowo wymagania nie związane bezpośrednio z procesem a dotyczące warunków pracy człowieka-lakiernika/,
- zapewniają oszczędność materiałów powłokowych,
- umożliwiają stosowanie bardzo szkodliwych dla zdrowia materiałów powłokowych.

Z różnych danych dotyczących prognozy zastosowań robotów na świecie wynika, że w 1991 r. 5% pracujących robotów będzie wykorzystywane w procesach malowania. Znajdą zapotrzebowanie rynku polskiego możemy stwierdzić, że gospodarka poszukuje robotów do dwóch typów operacji: spawania i malowania.

Przykłady zastosowań robotów można znaleźć w literaturze, podanej w spisie.



Rys. 1. Stojowisko malarskie z wykorzystaniem robota RIMP-900.

Opis rysunku 1:

1 - manipulator, 2 - szafa sterownicza, 3 - zasilacz hydrauliczny, 4 - rozdzielacz farby, 5 - blok uzdatniania powietrza, 6 - zespół czujników identyfikacji, 7 - czujnik startu, 8 - czujnik indukcyjny zabezpieczenia wejścia kabiny malarskiej, 9 - kabina malarska, 10 - transporter, 11 - zespół synchronizacji z transporterem.

LITERATURA

- [1]. Lackiert, lackiert und lackiert ..., Metalloberfläche 37 /1983/8.
[2]. Tarka L.: Robotyzacja procesów nakładania powłok ochronnych, II Seminarium z zakresu robotów przemysłowych, Instytut Mechaniki Precyzyjnej Warszawa, s. 122-130, 1983.

Recenzent: Doc.dr inż.Andrzej Kuczmarszyk
Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

ПРИМЕНЕНИЕ ОКРАСОЧНЫХ РОБОТОВ

Резюме

Рассматриваются основные указания, используемые при внедрению окрасочных роботов. Описывается пример использования в лакировочной мастерской окрасочного робота РИМП - 900, созданного Институтом Точной Механики в Варшаве.

APPLICATION OF PAINTING ROBOTS

Summary

The main requirements which should be fulfilled for the applications of painting robots are described. An example of RIMP-900 /Robot of Institute of Precision Mechanics/ application and problems to overcome are shown.