

Rys. 9. Wyniki badań cięcia plazmą „powietrzną” żelaza Armco: a) — struktura SWC (pow. 450×), b) — rozkład mikrotwardości wzdłuż linii A—B

nie w mangan i krzem. Wyniki te są zgodne z poglądem o selektywnym utlenianiu się pierwiastków w procesie cięcia termicznego.

Cięcie żelaza Armco plazmą „powietrzną” jeszcze wyraźniej uwidacznia problem naazotowania się ciętych powierzchni (rys. 9a). Również i w tym przypadku stwierdzono za pomocą metod rentgenowskich obecność faz ϵ i γ' . Szybkie chłodzenie powierzchni po cięciu powoduje, że w SWC oprócz faz ϵ i γ'

występuje martenzyt azotowy. Warstwa powierzchniowa, w skład której wchodzi fazy ϵ i γ' , ma twardość ok. 750 μ HV (rys. 9b), natomiast obszar martenzytu azotowego w odległości ok. 60 μ m od powierzchni ma twardość ok. 970 μ HV. Całkowity zasięg utwardzenia powierzchni jest różny na grubości blachy i wynosi ok. 0,1—0,15 mm.

(Dokończenie w zeszyte 3/1982)

Wymagania stawiane robotom przemysłowym stosowanym do automatyzacji procesów spawalniczych oraz wnioski z eksploatacji stanowiska z robotem IRb-6 w Zakładach Mechanicznych URSUS

Zastosowanie robota IRb-6 do automatyzacji spawania łukowego

ANDRZEJ SOCHA,
PIOTR KOZAK, JAN PAŁYSKA

W Zakładach Mechanicznych URSUS zastosowano robot IRb-6 na stanowisku do spawania automatycznego w osłonie CO₂. Przy wyborze robota przemysłowego przeznaczonego do stanowiska spawalniczego należy zwrócić uwagę na następujące właściwości robotów:

- stabilność pozycjonowania; powinna być o wiele większa niż przy innych zastosowaniach robotów,
- dokładność pozycjonowania, nie może być mniejsza niż $\pm 0,1 \div \pm 0,5$ mm,
- programowanie robota; nie może wymagać specjalnych umiejętności operatora,
- liczbę stopni swobody; brakujące stopnie swobody można zrealizować w oprzyrządowaniu stanowiska spawalniczego,
- liczbę programów użytkowych; umożliwiających szybką aplikację robota w zależności od rodzaju spawanego wyrobu,
- prędkość ruchów; w większości przypadków wynosi $0 \div 2,4$ m/min przy spawaniu za pomocą metody MAG,
- udźwig robota; powinien wynosić $50 \div 100$ N.

Mgr inż. Andrzej Socha jest kierownikiem Pracowni Badań i Diagnostyki Robotów Przemysłowych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie, mgr inż. Piotr Kozak jest adiunktem w tym Instytucie, a inż. Jan Pałyska jest kierownikiem Pracowni Technologii Spawalnictwa w Zakładach Mechanicznych URSUS.

Opis robota IRb-6

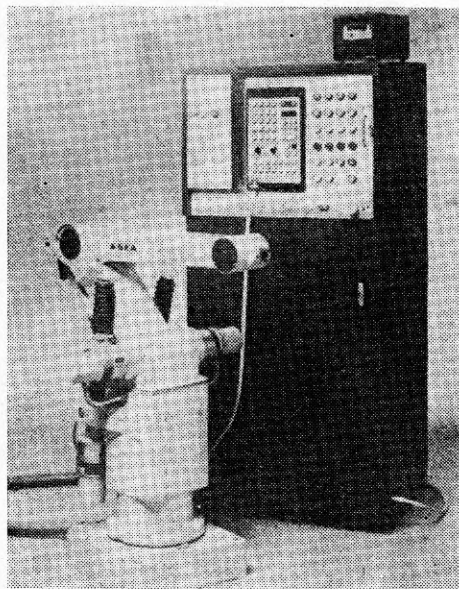
Roboty IRb-6 (rys. 1) produkowane są przez Zakład Doświadczalny Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie według licencji szwedzkiej firmy ASEA. Ma on udźwig 60 N (wraz z chwytnikiem) i dokładność pozycjonowania $\pm 0,2$ mm i zależnie od wykonania 3 ÷ 6 stopni swobody. Część manipulacyjną i sterowniczą stanowią dwa oddzielne zespoły. Każdy ruch robota IRb-6 ma niezależny napęd od silnika prądu stałego, zasilanego sterownikiem tranzystorowym, umieszczonym w szafie sterowniczej.

Układ sterowniczy składa się z komputera wraz z pamięcią oraz wejść i wyjść do komunikacji pomiędzy robotem a urządzeniami współpracującymi. Z cyfrowym układem sterowniczym współpracują sterowniki mocy napędu silnikowego i układy pomiarowe robota do zapamiętywania pozycji, do których doprowadzono elementy ruchome robota w poszczególnych krokach programu.

Do układu sterowniczego można przyłączać panel programowania (rys. 2) i jednostkę pamięci kasetowej, umożliwiającej rejestrowanie programów użytkowych na kasetach z taśmą magnetyczną. Panel ten może być wyjmowany z szafy sterowniczej, co pozwala na pewną swobodę przemieszczania się ope-

ratora w czasie programowania. Panel programowania służy do układania programów użytkowych (programuje się m.in. sekwencje i prędkości przemieszczeń ramion robota). Jednocześnie panel ten umożliwia ręczne sterowanie robotem.

Wśród instrukcji programowania, oprócz instrukcji pozycjonowania, znajdują się instrukcje niezbędne do ułożenia pełnego programu użytkowego, np. czasu oczekiwania, oczekiwania warunkowego, włączania lub wyłączenia wejść lub wyjść itp. W celu ochrony programu użytkowego, który jest tracony w przypadku przerwy w zasilaniu, robot wyposażony jest w rezerwowy zasilacz akumulatorowy.



Rys. 1. Robot przemysłowy IRb-6

Stanowisko spawalnicze

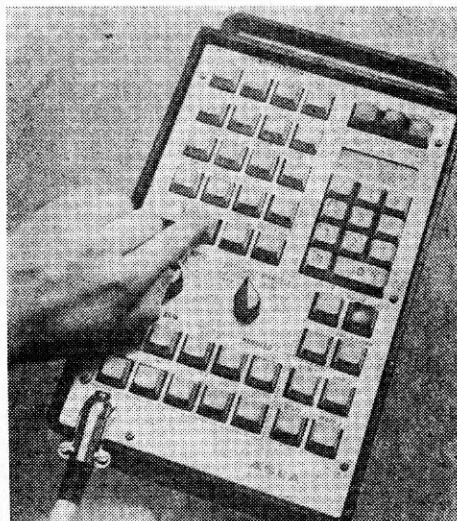
W skład stanowiska spawalniczego z robotem, zainstalowanym w ZM URSUS, wchodzi następujące urządzenia:

- robot IRb-6 dostarczony przez Zakład Doświadczalny MERA-PIAP,
- wyposażenie spawalnicze firmy ESAB,
- pozycjoner firmy ESAB,
- podstawa mocująca do scalenia konstrukcji mechanicznej układu robot-pozycjoner, stanowiąca jednocześnie ławę fundamentową,
- przyrządy zestawowe wykonane przez Zakłady Mechaniczne URSUS (rys. 3 ÷ 5).

Robot IRb-6 opisano już poprzednio w Przeglądzie Spawalnictwa*). Zastosowany egzemplarz robota ma pięć stopni swobody i jest wyposażony w program sterujący, umożliwiający spawanie ruchem oscylacyjnym. Ruch ten można stosować przy układaniu szerokich spoin. Nie wykorzystano tej możliwości w omawianym przykładzie, gdyż nie było takiej potrzeby.

Robot wykonany jest w wersji standardowej, z pojedynczą pamięcią, która pozwala zapamiętać ok. 250 instrukcji pozycjonowania i 100 instrukcji innego rodzaju. W omawianym zastosowaniu pro-

gram użytkowy zawiera ok. 60 instrukcji pozycjonowania oraz ok. 30 innych, wobec czego pamięć robota jest wykorzystywana w 26%.



Rys. 2. Panel programowania

Nie było potrzeby przystosowania konstrukcji robota do zamontowania go w omawianym stanowisku. Wyposażenie spawalnicze zamocowuje się za pomocą dostarczonych przez firmę ESAB uchwytów bezpośrednio na kołnierzu przegubu robota, przewidzianym do mocowania na nim chwytaka.

Wyposażenie spawalnicze stanowiska z robotem firmy ESAB składa się ze źródła prądu LAH 500, programatora PAF 16, podajnika drutu MTB 44, uchwytu (palnika) spawalniczego z przewodem do posuwu drutu elektrodowego, instalacji chłodzenia wodnego uchwytu oraz przewodów doprowadzających gaz ochronny i mieszanek olejowo-powietrzną do przedmuchiwanych dyszy uchwytu.



Rys. 3. Stanowisko spawalnicze z robotem IRb-6

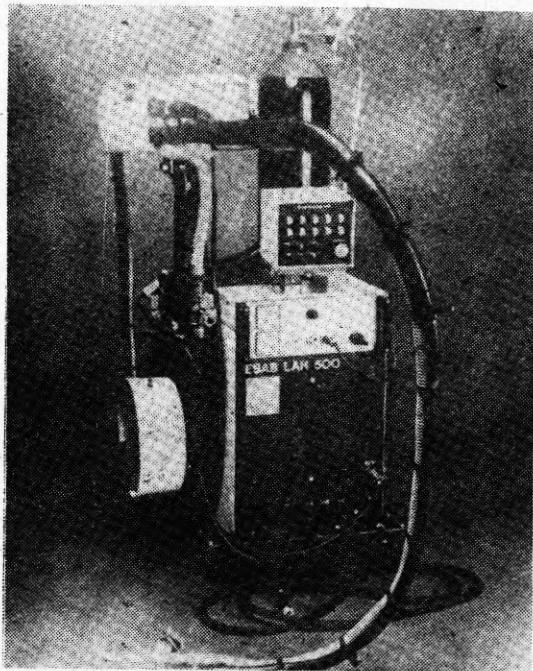
*) R. Hernik i J. Antonowicz: „Zastosowanie robotów przemysłowych w pracach spawalniczych”. Przegląd Spawalnictwa 1980, z. 12, s. 10-12.

Źródło prądu LAH 500, przeznaczone do współpracy z elektrodą drutową, jest prostownikiem sterowanym tyrystorami o dopuszczalnym natężeniu prądu 400 A przy pracy P-100% oraz 500 A przy pracy P-60%. Zakres regulacji prądu spawania wynosi $30 \div 500$ A, a napięcia biegu jałowego $16 \div 51$ V. Istotną cechą źródła prądu LAH 500 jest łatwość regulacji parametrów spawania za pomocą sygnałów słaboprądowych, co pozwala programować parametry przez wyjścia robota za pośrednictwem programatora PAF 16.

Programator PAF 16 umożliwia pełne sprzężenie robota z oprzyrządowaniem spawalniczym. Z programatora można korzystać zarówno przy pracy ręcznej, jak i spawaniu automatycznym. Oznacza to, że za pomocą programatora można sterować ręcznie, np. podajnikiem drutu, przepływem gazu, przedmuchiwaniem dyszy uchwytu spawalniczego itp., a także dokonać pięciu różnych nastaw prądu i napięcia spawania za pomocą odpowiednich potencjometrów. Przy pracy automatycznej robot za pośrednictwem programatora PAF 16 może w czasie spawania wysyłać za pomocą wyjść podobne rozkazy, jak również może wybierać nastawione wcześniej na potencjometrach parametry spawania. Niezależnie od tych funkcji programator powoduje przy pracy automatycznej samoczynne zatrzymanie posuwu drutu elektrodowego w przypadku braku gazu lub prądu spawania. Spawanie i posuw drutu ulegają przerwaniu także w przypadku awaryjnego zatrzymania robota.

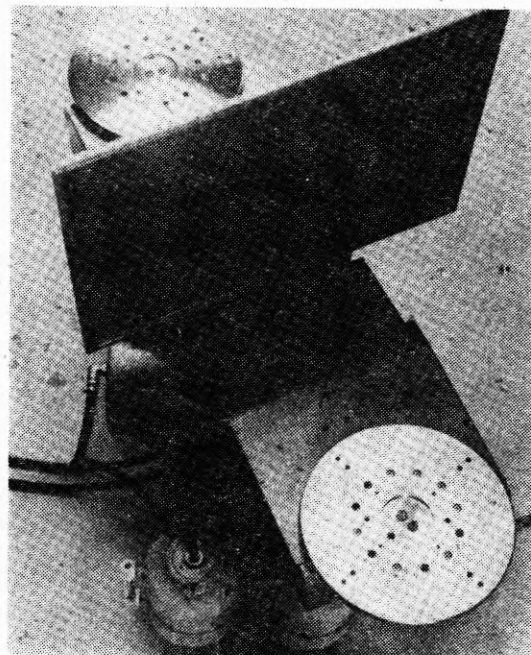
Podajnik drutu MTB 44, sterowany programatorem, ma napęd tyrystorowy, umożliwiającą utrzymanie stałej prędkości posuwu drutu niezależnie od zmian obciążenia. Zakres prędkości posuwu drutu elektrodowego wynosi $0 \div 16$ m/min, a zakres jego średnic $1,2 \div 2,4$ mm.

Chłodzony wodą uchwyt spawalniczy z przewodem do posuwu drutu elektrodowego, przewodami wody chłodzącej, gazu, mieszanki olejowo-



Rys. 4. Wyposażenie spawalnicze robota IRb-6 (półautomat do spawania w osłonie CO_2 , ze źródłem prądu i programatorem)

-powietrznej, która służy do przedmuchiwania dyszy w celu oczyszczenia jej z odprysków stopiwa, przedstawiony jest na rys. 4. Przewód umocowany jest na wysięgniku i poprowadzony tak, aby zmniejszył ujemny wpływ wywierany przez jego masę i sztywność na ramię robota, a tym samym na dokładność jego pozycjonowania.



Rys. 5. Pozycjoner MHS 150

Pozycjoner MHS 150 (rys. 5) pozwala na powtarzalne umiejscowienie w przestrzeni spawanego wyrobu, co jest niezbędnym warunkiem automatyzacji procesu spawania. Ułatwia dostęp robota, mającego ograniczony zakres ruchów, do miejsc trudno dostępnych oraz umożliwia składanie jednego egzemplarza spawanego wyrobu w czasie spawania drugiego elementu.

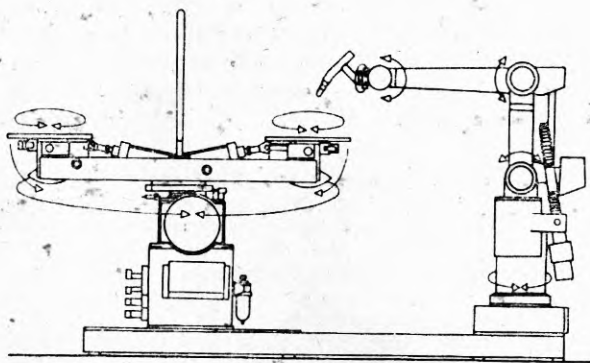
Pozycjoner składa się z poziomego stołu obrotowego z dwoma stanowiskami roboczymi oddzielonymi ekranem metalowym tak, że na jednym stanowisku może się odbywać montaż elementu do spawania, a na drugim spawanie. Obrót stołu o 180° dookoła osi pionowej (zmiana stanowisk) trwa 7 s. Każde stanowisko ma stolik obrotowy, który może obracać się z różnymi prędkościami i zatrzymywać w wybranych wcześniej pozycjach (od 1 do 12). Ruch obrotowy stolika może służyć do wykonywania spoin obwodowych. Ponadto stolik może się przechylać względem poziomu o kąt wybrany z pięciu wartości w zakresie $0 \div 90^\circ$. Ruch obrotowy stołu powodują silniki pneumatyczne, ruch obrotowy stolików — silniki elektryczne prądu stałego, a przechylanie stolików — silniki pneumatyczne. Całkowita masa umieszczonych na stole przyrządów zestawczego i spawanego wyrobu nie powinna przekraczać 150 kg.

Ważną cechą omawianego pozycjonera jest to, że oprócz ręcznego sterowania ruchami stołu możliwe jest sterowanie automatyczne bezpośrednio za pomocą wyjść sterujących robota w czasie realizacji programu spawalniczego. Z drugiej strony sygnały informacyjne napływające od pozycjonera do wejść robota warunkują kontynuację programu w zależ-

ności od tego, czy poszczególne zespoły pozycjonera ustawiły się w sposób właściwy i przewidziany programem.

Sygnal startu dla robota, zapoczątkowujący proces spawania, jest wysyłany przez operatora z pulpitu sterowniczego pozycjonera po zakończeniu przez operatora składania wyrobu po przeciwległej stronie robota (za ekranem ochronnym).

Pozycjoner jest połączony z robotem ramą wykonaną z kształtowników stalowych, co zapewnia konstrukcji sztywność konieczną dla uzyskania odpowiedniej powtarzalności położenia uchwytu spawalniczego (pistoletu) względem spawanego wyrobu. Kinematykę pozycjonera i robota ilustruje rys. 6.



Rys. 6. Pozycjoner i robot na wspólnej ramie fundamentowej — schemat kinematyki obu urządzeń

Należy nadmienić, że opisany zestaw urządzeń jest bardzo łatwy do zainstalowania i oprogramowania.

Wyrób spawany

Podjętą próbę zastosowania robota w Zakładach Mechanicznych URSUS wytypowano do spawania wyrób o stosunkowo prostych kształtach, przyjmując założenia, że osiągnie się dość dużą dokładność wykonania elementów i wstępnego montażu przy zastosowaniu prostych przyrządów spawalniczych. Produkcję tego wyrobu przewidywano w dużych seriach. Eksploatacja stanowiska potwierdziła słuszność wyboru. Uzyskano dokładność montażu części $\pm 0,5$ mm, co zapewniło prawidłowe ułożenie spoin i ich dobrą jakość. Wyróbem spawanym jest lewy i prawy podnóżek ciągnika MF 235, przedstawiony na rys. 7. Części podnóżka są wykonane z blachy stalowej niskowęglowej o grubości 3 i 5 mm. W każdym podnóżku długość spoin pachwinowych wynosi 500 mm, a ich grubość 3 mm. Do spawania użyto drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm.

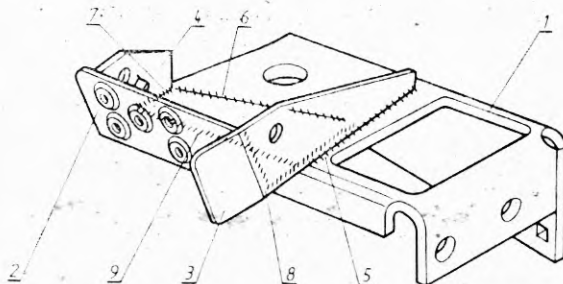
Program użytkowy

Program użytkowy ułożono korzystając z instrukcji pozycjonowania liniowego, która zapewnia ciągłość ruchu wzdłuż dowolnej zaprogramowanej krzywej. Prędkość ruchu robota podczas spawania ustalono doświadczalnie, a dobrą jakość spoin uzyskano przy przesuwie uchwytu spawalniczego z prędkością 0,6 m/min.

Przebieg cyklu spawania

Spawanie odbywa się w kabinie o wymiarach 3×6 m. Na jednym stoliku pozycjonera ustawiono

przyrząd do składania podnóżka prawego, na drugim — do składania lewego. Po naciśnięciu przez operatora przycisku „Start” na pulpicie sterowniczym pozycjonera robot rozpoczyna spawanie. W tym czasie operator zdejmuje po drugiej stronie zesparany podnóżek i składa następny. Po zakończeniu spawania stół obraca się, a po naciśnięciu przycisku



Rys. 7. Wyrób spawany na stanowisku zrobotyzowanym (podnóżek lewy): 1-4 elementy podnóżka, 5-9 spoiny

„start” cykl się powtarza. Spawanie jednego podnóżka trwa ok. 1,5 min. Po zakończeniu każdego cyklu następuje oczyszczenie dyszy przez przedmuchiwanie jej mieszaniną sprężonego powietrza z olejem silikonowym. Nie zastosowano w tym stanowisku odciągu dymów spawalniczych. Ponadto, ze względu na nieskomplikowany kształt spawanych wyrobów, nie wykorzystano obecnie wszystkich możliwości ruchowych pozycjonera. Pełne wykorzystanie kinematyki pozycjonera nastąpi po rozszerzeniu wyrobu spawanych wyrobów.

Wnioski

Po okresie próbnym pozytywnie oceniono przydatność zarówno robota IRb-6, jak i sprzętu spawalniczego firmy ESAB do prac spawalniczych przy seryjnej produkcji ciągników. Zastosowanie robota IRb-6 do prac spawalniczych spowodowało poprawę jakości spawanych wyrobów, warunków bhp, zmniejszenie pracochłonności spawania oraz liczby zatrudnionych spawaczy.

● Spawanie robotem przemysłowym wymaga dokładniejszego przygotowania części wyrobu niż konieczne to jest przy spawaniu ręcznym. Wszystkie części należy wykonać z dokładnością $\pm 0,5$ mm, w przeciwnym razie spoina zostanie ułożona z boku na ścianie pionowej lub poziomej.

● Wszystkie otrzymane spoiny mają ten sam przekrój i prawidłowy wygląd. Niepotrzebne jest oczyszczanie i równanie spoin tarczą szlifierską.

● Dzięki zastosowaniu robota zmniejsza się szkodliwe działanie par metali i tlenków, dymów spawalniczych oraz promieniowanie łuku elektrycznego.

● W porównaniu ze spawaniem ręcznym uzyskuje się trzykrotne zmniejszenie pracochłonności. Wynika to ze zwiększonej prędkości spawania oraz ze zlikwidowania oczyszczania i równania spoin tarczą szlifierską.

● Czynności spawacza przejął robot, a zamiast spawacza pracuje robotnik składający wyrób na pozycjonerze i zdejmujący z niego wyrób spawany. Korzyści te potęgują się w przypadku wprowadzenia większej liczby zrobotyzowanych stanowisk.

Ponadto w wyniku zastosowania robota IRb-6 w produkcji otrzymuje się: oszczędność powierzchni produkcyjnej, unowocześnienie spawalniczego procesu produkcyjnego, oszczędności energetyczne.