

## Zrobotyzowane spawanie płytek wahacza fiata 126p

JOLANTA GÓRSKA

Zastosowanie robotów przemysłowych w technologiach spawalniczych stale wzrasta, co m.in. wynika ze wzrostu konstrukcji spawanych oraz ciągłego deficytu wykwalifikowanych spawaczy. Istnieje bardzo duże zapotrzebowanie na zrobotyzowane stanowiska do spawania łukowego w osłonie gazów ochronnych (metodą MIG/MAG). Wśród robotów przemysłowych produkcji krajowej do zastosowania w stanowiskach do spawania łukowego odpowiednie są roboty przemysłowe IRb, produkowane przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie oraz IRp, opracowane przez ten Instytut i aktualnie wdrażane do produkcji w Zakładach Automatyki Przemysłowej w Ostrowie Wielkopolskim i Zakładach Przemysłu Metalowego im. H. Cegielski w Poznaniu.

W zrobotyzowanym stanowisku spawalniczym poza robotem przemysłowym istotny jest dobór pozostałych urządzeń, które będą z nim współpracować. Jednym z nich jest sterowany automatycznie pozycjoner, który umożliwia szybko i dokładnie umieścić oraz zamocować w najdogodniejszej pozycji spawania spawane elementy, a następnie dostarczyć je w przestrzeń roboczą robota przemysłowego. Pozycjoner zwiększa więc liczbę stopni swobody robota przemysłowego. Odpowiednio dobrany pozycjoner umożliwia równoległą pracę na zrobotyzowanym stanowisku robota i człowieka obsługującego stanowisko (operatora). Wówczas, gdy robot spawa elementy umieszczone z jednej strony pozycjonera, operator z drugiej strony (przeciwniej) zdejmuje elementy wcześniej pospawane i zakłada nowe. Dzięki temu można znacznie skrócić czas wykonania części, ponieważ czasy pomocnicze związane ze zdejmowaniem, zakładaniem, mocowaniem spawanych elementów obejmują czas główny robota.

Na proces spawania istotny wpływ ma jakość sprzętu spawalniczego współpracującego z robotem przemysłowym (źródło prądu, podajnik drutu elektrodowego, palnik, programator parametrów spawania) oraz urządzenia pomocnicze takie jak: złącze antykolidacyjne i urządzenie do mechanicznego czyszczenia dyszy palnika. Zadaniem złącza antykolidacyjnego (sprzęgła bezpieczeństwa) jest przede wszystkim ochrona części manipulacyjnej robota przed uszkodzeniem w wypadku sytuacji awaryjnej. Urządzenie do mechanicznego czyszczenia dyszy palnika służy natomiast do okresowego i automatycznego usuwania odprysków z dyszy palnika nagromadzonych podczas spawania, ponieważ odpryski te wprowadzają zakłócenia w jarzeniu się łuku i wypływie gazu osłonowego.

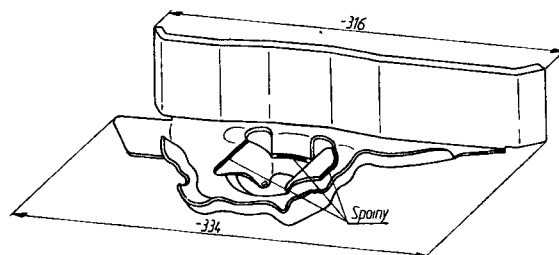
Dynamiczny rozwój robotyzacji spawania łukowego spowodowany jest m.in. wzrostem wydajności pracy, wysoką jakością uzyskiwanych połączeń, skróceniem cyklu produkcyjnego, lepszym wykorzystaniem powierzchni produkcyjnej, poprawą warunków pracy obsługi. Dzięki temu, że robot przemysłowy przejmuje funkcje spawacza, na zrobotyzowanym stanowisku

może pracować człowiek przyuczony, który nie pracuje już w bezpośrednim oddziaływaniu promieniowania podczerwonego, ultrafioletowego i widzialnego, gazów (związki azotu, tlenek węgla), pyłów oraz par metali.

W artykule przedstawiono zrobotyzowane spawanie na przykładzie gniazda do spawania płytek wahacza do samochodu fiat 126 p w wersji Restyling wdrożone w Fabryce Samochodów Małolitrażowych w Tychach przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie we współpracy z Instytutem Elektrotechniki IEL w Warszawie.

### Charakterystyka części spawanej

Płytką wahacza tylnego jest elementem zawieszenia w samochodzie fiat 126p w wersji Restyling (rys.1). Produkowane są płytki wahacza lewe i prawe. Z uwagi na to, że płytka lewa jest lustrzanym odbiciem płytki prawej, przedstawiony opis jest odpowiedni dla każdej z nich. Płytką wahacza tylnego składa się z trzech elementów, a mianowicie: płytki wahacza kompletnej (wytłoczki), wspornika dolnego, kątownika sprężyny.



Rys. 1. Płytką prawa wahacza zawieszenia tylnego

Wspornik dolny jest elementem spawanym do płytki wahacza kompletnej (wytłoczki), natomiast kątownik sprężyny jest elementem zgrzewanym do niej. Spoiny na płytce wahacza są usytuowane z jednej strony. Są to trzy odcinki spoin, które ze względu na grubość łączonych elementów (2,5 i 4 mm) można wykonać jednym przejściem drutu elektrodowego o średnicy 1,2 mm w osłonie gazu ochronnego CO<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> (85% + 15%) lub Ar + O<sub>2</sub> (97% + 3%).

### Zrobotyzowane gniazdo do spawania płytki wahacza tylnego

Zrobotyzowane gniazdo do spawania płytki wahacza tylnego składa się z dwóch identycznych zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych. Z uwagi na to, że robotyzacja spawania obejmowała dwie części (płytką lewą i prawą wahacza), aby zapewnić ciągłość produkcji przy pracy tylko jednego ze stanowisk, w każdym z nich są spawane oba rodzaje płytek: lewe i prawe (rys. 2).

Wśród możliwych wariantów stanowiska przyjęto koncepcję konfiguracji, wg której dwa roboty przemysłowe współpracują z jednym pozycjonerem, na którym umieszczone są co 120° trzy przyrządy mocujące spawane części. W tym czasie, kiedy roboty

Mgr inż. Jolanta Górską jest adiunktem w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie.

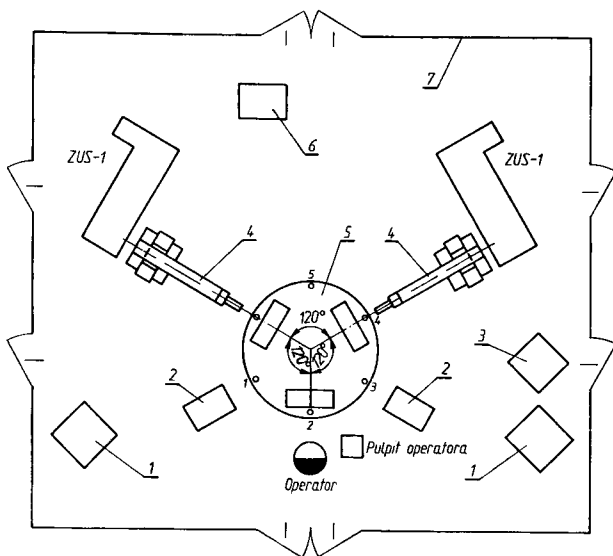
spawają części umieszczone w przyrządach, które znajdują się przed nimi, operator obsługuje pozostały (trzeci) przyrząd. Wykonanie przyrządów dwugniazdowych umożliwia zamocowanie dwóch części, tj. płytki lewej i prawej. Przy pracy zrobotyzowanego stanowiska w pełnym cyklu automatycznym, po obrocie pozycjonera o  $120^\circ$ , operator obsługujący stanowisko wyjmuje z przyrządu mocującego dwie pospawane części – płytkę wahacza prawą i lewą.

Dzięki takiemu rozwiązaniu było możliwe uzyskanie założonej wydajności i otrzymanie następujących efektów:

- oszczędność powierzchni produkcyjnej (jeden pozycjoner i dwa roboty przemysłowe z nim współpracujące),
- zatrudnienie tylko jednego operatora,
- zmniejszenie wydatków na sprzęt (jeden pozycjoner).

Całe zrobotyzowane stanowisko zostało zbudowane z wykorzystaniem następującego sprzętu produkcji krajowej, a mianowicie:

- dwa roboty przemysłowe IRb-6 (produkcji Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie),



Rys. 2. Schemat organizacyjny zrobotyzowanego stanowiska: 1 – szafa sterownicza robota, 2 – pulpit ZUS-1, 3 – szafa sterownicza stołu, 4 – robot IRb-6, 5 – stół obrotowy, 6 – rozdzielnia główna, 7 – bariera ochronna

- dwa zespoły urządzeń spawalniczych ZUS-1 (produkcji Polskich Zakładów Aparatury Spawalniczej OZAS w Opolu),
- pozycjoner SPOe-1200 (produkcji Pomorskich Zakładów Aparatury Elektrycznej APATOR w Toruniu).

Ponadto w skład stanowiska wchodzi: trzy przyrządy mocujące spawane części, pulpit operacyjny stanowiska, odciągi dymów spawalniczych, bariery ochronne.

Zrobotyzowane stanowisko może pracować wg trzech wariantów.

*Wariant I pracy zrobotyzowanego stanowiska (tzw. podstawowy).*

Pracują dwa roboty przemysłowe tzn. robot podporządkowany i nadrzędny. Robot podporządkowany informację niezbędne do rozpoczęcia pracy otrzymuje od drugiego robota – nadrzędnego. W czasie pracy stanowiska robot nadrzędny otrzymuje niezbędne informacje zapewniające prawidłową pracę stanowiska. W tym celu komunikuje się z układem sterowania pozycjonera, skąd otrzymuje informacje takie jak:

- na której pozycji aktualnie został zapilotowany pozycjoner.
- W omawianym stanowisku programowo są wybierane trzy pozycje pozycjonera (z sześciu możliwych) rozmieszczone względem siebie co  $120^\circ$ . Na tych pozycjach pozycjonera są zamocowane przyrządy mocujące spawane części.

– czy w przyrządach mocujących spawane części znajdujących się aktualnie przed robotami są umieszczone elementy do spawania i czy przyrządy te są zamknięte, a tym samym elementy właściwie włożone i dociśnięte.

W zależności od otrzymanych informacji robot nadrzędny wysyła do robota podporządkowanego zezwolenie na rozpoczęcie pracy i informacje, od którego kroku w programie ma ją rozpocząć. Robot nadrzędny spawa elementy umieszczone w lewym gnieździe przyrządu mocującego, który aktualnie znajduje się przed nim. Analogicznie robot podporządkowany spawa elementy w prawym gnieździe przyrządu mocującego, który znajduje się przed tym robotem. W czasie pracy obu robotów operator obsługujący stanowisko wyjmuje z trzeciego przyrządu spawalniczego dwie zespaane części i mocuje dwie nowe do spawania. W wypadku awarii któregoś z robotów lub sprzętu spawalniczego z nim współpracującego, praca stanowiska może być kontynuowana wg wariantu II lub III pracy zrobotyzowanego stanowiska.

*Wariant II pracy zrobotyzowanego stanowiska.*

Pracuje tylko robot nadrzędny, który przejmuje „obowiązki” robota podporządkowanego spawając części w obu gniazdach przyrządu mocującego, który znajduje się przed nim. Dzięki temu w pełnym cyklu automatycznej pracy stanowiska, po obrocie pozycjonera o  $120^\circ$ , operator wyjmuje dwie zespaane części, tj. komplet płytek wahacza: (lewą i prawą).

*Wariant III pracy zrobotyzowanego stanowiska.*

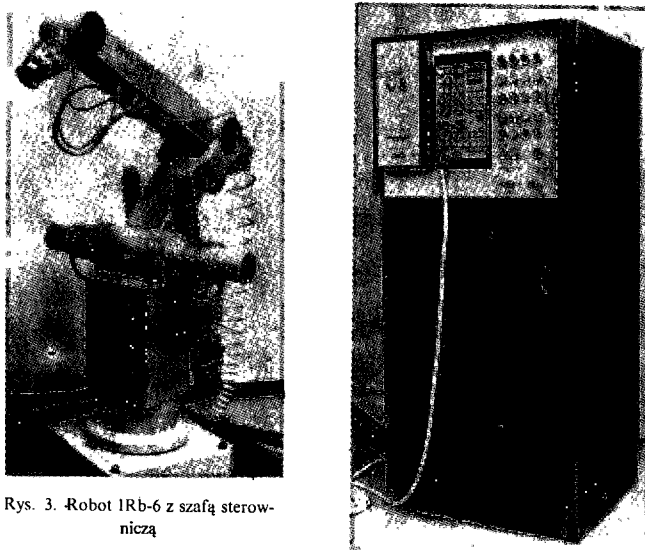
W tej wersji pracuje robot podporządkowany, który spawa części w obu gniazdach przyrządu mocującego znajdującego się przed nim. Działanie stanowiska jest analogiczne do wariantu II z tą różnicą, że robot podporządkowany przejmuje funkcje kontrolne w stanowisku, tzn. kontrolę pozycji pozycjonera, obecności elementów w gniazdach przyrządu mocującego i właściwe dociśnięcie przyrządu.

Omówione trzy warianty pracy stanowiska zawiera biblioteka programów.

## Uwarunkowania i zabezpieczenia automatycznej pracy stanowiska

W celu zapewnienia prawidłowej pracy zrobotyzowanego stanowiska, zastosowano w nim różnego rodzaju zabezpieczenia tzn.:

- żaden z robotów nie rozpocznie pracy, jeżeli nie ma elemen-



Rys. 3. Robot IRb-6 z szafą sterowniczą

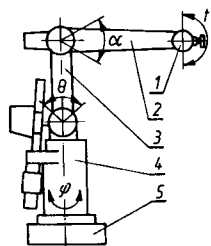
tów lub są one niewłaściwie dociśnięte w przyrządzie mocującym, który aktualnie znajduje się przed tym robotem. Odpowiednie informacje robot otrzymuje z czujników, w które jest wyposażony każdy przyrząd mocujący,

– żaden z robotów nie będzie pracował, jeżeli nie zajarzy się łuk elektryczny. Jeśli taka sytuacja wystąpi, wówczas robot przerywa pracę wg programu podstawowego i przechodzi do podprogramu tzw. z niezajarzonym łukiem elektrycznym. Operator zostaje o tym poinformowany zapaleniem się lampki na pulpicy i naciskając odpowiedni przycisk spowoduje wznowienie pracy robota.

Robot nadrzędny i robot podporządkowany przerwą realizowany program jednocześnie, gdy wystąpi jedna z wymienionych sytuacji:

- operator naciśnie przycisk STOP PROGRAMU na pulpicy operacyjnym stanowiska,
- ciśnienie w sieci pneumatycznej obniży się poniżej określonego poziomu, niezbędnego do prawidłowej pracy stanowiska,
- przekroczony zostanie dopuszczalny prąd zerowy w obwodzie spawalniczym.

Awaryjne wyłączenie pracy całego zrobotyzowanego stanowiska jest realizowane alternatywnie przyciskiem stopu awaryjnego



Rys. 4. Budowa i ruchy robota IRb-6: 1 przegub, 2 ramię górne, 3 ramię dolne, 4 korpus, 5 podstawa

na pulpicy operacyjnym stanowiska, na szafie sterowniczej pozycjonera, szafach sterowniczych robotów przemysłowych i pulpitych sterująco-programujących przy zespołach urządzeń spawalniczych ZUS-1.

## Urządzenia zrobotyzowanego stanowiska

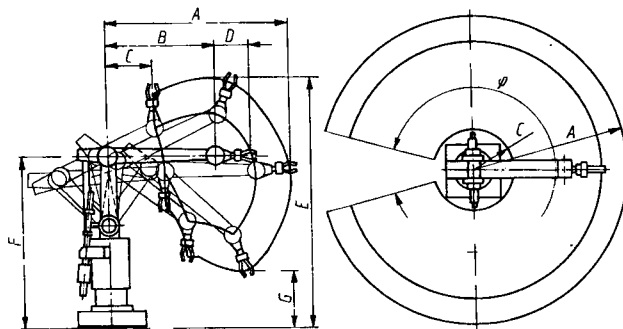
W skład zrobotyzowanego stanowiska wchodzi dwa roboty przemysłowe IRb-6 standard produkowane przez MERA-PIAP w Warszawie (rys.3). Robot IRb-6 składa się z części manipulacyjnej i oddzielonej szafy sterowniczej. Część manipulacyjna w wersji podstawowej ma pięć stopni swobody: obrót wokół podstawy  $\varphi$ , obrót ramienia dolnego  $\theta$ , obrót ramienia górnego  $\alpha$ , skręcanie przegubu  $\nu$ , pochylanie przegubu  $t$ . Szkic części manipulacyjnej robota IRb-6 przedstawiono na rys. 4, a wymiary części manipulacyjnej i obszar pracy robota na rys. 5.

Sterowanie ruchami robota odbywa się w systemie PTP tzn. zapamiętuje się kolejne zadane położenie robota. Programując robota możemy korzystać z 16 typów instrukcji, w tym z trzech typów instrukcji pozycjonowania.

W układaniu programu do spawania najważniejsza jest instrukcja pozycjonowania LINIOWO, w której określamy czas, w jakim robot przemieszcza palnik na danym odcinku między dwoma punktami. Ruch palnika może być zrealizowany jako ruch prostoliniowy lub też z nałożonym ruchem dodatkowym na ruch prostoliniowy (ruch oscylacyjny).

W układaniu programu pracy robota w stanowisku istotne były również instrukcje:

- WYJŚCIE ZAŁĄCZ – WYJŚCIE WYŁĄCZ, dzięki którym robot steruje urządzeniami zewnętrznymi współpracującymi z nim,
- CZEKANIE WARUNKOWE. Dzięki tej instrukcji robot sprawdzając stan sygnału na programowo wybranym wejściu o numerze od 1 do 16 uzależnia kontynuację programu od sygnału uzyskanego z tego wejścia. Jeżeli zestyk sprawdzanego



| Robot | A    | B   | C   | D   | E    | F    | G   | $\varphi$ |
|-------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----------|
| IRb-6 | 1159 | 670 | 289 | 200 | 1620 | 1150 | 414 | 340°      |

Rys. 5. Wymiary części manipulacyjnej i obszar pracy robota IRb-6

wejścia jest zwarty, program jest kontynuowany, gdy zestyk jest otwarty, robot oczekuje na jego zwarcie (np. na potwierdzenie przez operatora obsługującego stanowisko, że może nastąpić obrót pozycjonera, o czym daje znać naciskając odpowiedni przycisk na pulpicy operacyjnym).

– SKOK WARUNKOWY I SKOK. Instrukcje te są stosowane zwykle razem. Umożliwiają realizację rozgałęzień w programie lub realizację odpowiedniego fragmentu programu w zależności od sprawdzanego aktualnie jednego z 16 sygnałów wejściowych lub jednego z 16 wskaźników programowych (np. są wykorzystane do sprawdzania aktualnej pozycji pozycjonera, obecności detalu w przyrządzie mocującym i właściwym zamknięciu przyrządu).

Pozycjoner SPOe-1200 (obrotowy stół podziałowy SPOe-1200) produkowany przez APATOR Toruń został zastosowany w stanowisku ze względu na to, że spoiny są ułożone z jednej strony części i nieznacznie przesunięte względem jednej poziomej płaszczyzny.

Pozycjoner ten ma jeden stopień swobody, co umożliwia poziome przemieszczanie przedmiotów np. w procesach spawania. Zastosowano tyrystorowy nawrotny układ napędowy z silnikiem prądu stałego. Sterowanie ruchem obrotowym stołu jest możliwe w cyklu ręcznym wg programu pozycjonowania ustalonego przez operatora, jak również w pełnym cyklu automatycznym załączanym przez robota. Zespół ustalająco-blokujący po zablokowaniu stołu we właściwej pozycji wysyła sygnał do układu sterowania, który informuje współpracujący ze stołem robot o gotowości do pracy oraz na której pozycji (1-6) zablokowany został stół. Z uwagi na to, że w stanowisku ze stołem obrotowym współpracują dwa roboty IRb-6, a nie jeden, jako to przewiduje producent stołu, należało dokonać pewnych zmian adaptacyjnych. W tym celu m.in. rozbudowano ramę fundamentową stołu, aby było możliwe zamocowanie na niej drugiego robota. Dodatkowa rama jest dokręcona do ramy fundamentowej stołu (kąt między nimi wynosi 120°). Ponadto wykonano również zmiany w układzie sterowania stołu, aby było możliwe podłączenie drugiego robota. W stanowisku podczas pracy stół obrotowy zatrzymuje się na trzech (z sześciu możliwych) pozycjach.

### Podstawowe parametry pozycjonera:

|  |      |
|--|------|
| – moc silnika elektrycznego, kW                | 1    |
| – zasilanie sprężonym powietrzem, MPa          | 0,6  |
| – prędkość obrotu stołu (regulowana), obr./min | 0-40 |
| – średnica stołu, mm                           | 1200 |
| – liczba podziału stołu,                       | do 6 |
| – dokładność pozycjonowania, mm                | ±0,1 |
| – czas obrotu stołu $\theta = 180^\circ$ , s   | 14   |
| – masa stołu, kg                               | 450  |

Zespół urządzeń spawalniczych ZUS-1 produkowany w Opolskich Zakładach Aparatury Spawalniczej jest przystosowany do spawania w cyklu automatycznym przy użyciu robota

przemysłowego IRb-6. W skład stanowiska wchodzi dwa identyczne zespoły ZUS-1.

Zespół ZUS-1 umożliwia automatyczne spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazów ochronnych (metodą MIG/MAG). Podczas pracy zrobotyzowanego stanowiska robot programowo wybiera jeden z pięciu możliwych programów spawania o odpowiednio dobranym napięciu i prądzie spawania w celu wykonania konkretnej spoiny.

#### Parametry zespołu ZUS-1:

|  |              |
|--|--------------|
| prąd spawania przy pracy ciągłej, A    | 300          |
| zakres regulacji prądu spawania, A     | 50 ÷ 410     |
| napięcie spawania, V                   | 15 ÷ 43      |
| zakres średnic spoiwa (drutów), mm     | 0,8 ÷ 1,6    |
| szybkość podawania spoiwa (drutu), m/s | 0,025 ÷ 0,25 |
| liczba programów spawania              | 5            |

**Przyrządy mocujące.** W zrobotyzowanym stanowisku spawalniczym na stole obrotowym SPOe-1200 są zamocowane trzy identyczne przyrządy spawalnicze rozmieszczone na obwodzie stołu co 120°. Przyrząd spawalniczy płytki wahacza jest przyrządem dwugniazdowym, tj. umożliwiającym zamocowanie jednocześnie dwóch płytek wahacza. W zależności od potrzeb użytkownika przyrząd można ustawić tak, aby mocować w nim tylko płytki lewe lub prawe, a także jedną lewą i jedną prawą. Każdy przyrząd jest wyposażony w cztery czujniki indukcyjne, z których dwa są przeznaczone do sygnalizowania obecności części spawanych w przyrządzie, a pozostałe dwa do sygnalizowania jego zamknięcia. Roboty w stanowisku rozpoczną spawanie wówczas, jeżeli otrzymają pozytywny sygnał o obecności części i zamknięciu przyrządu spawalniczego (sprawdzany jest zawsze ten przyrząd, który w danej chwili znajduje się przed robotem). Konstrukcja przyrządu spawalniczego umożliwia mocowanie płytek wahacza trzema sposobami:

- zamocowanie i odmocowanie ręczne,
- zamocowanie ręczne, a odmocowanie przy użyciu dodatkowego siłownika pneumatycznego,
- zamocowanie i odmocowanie przy użyciu dodatkowego siłownika pneumatycznego.

W rozwiązaniu zastosowano pierwszą wersję, ale użytkownik stanowiska przewiduje zastosowanie siłowników pneumatycznych.

**Pulpit operacyjny stanowiska.** Operator obsługujący zrobotyzowane stanowisko na miejscu pracy ma usytuowany pulpit operacyjny, który umożliwia sterowanie automatyczną pracą stanowiska. W pulpicie są wbudowane przyciski, dzięki którym operator uruchamia i zatrzymuje pracę stanowiska (START PROGRAMU, STOP PROGRAMU), powoduje natychmiastowe przerwanie pracy w wypadku sytuacji awaryjnej (STOP AWARYJNY) oraz uruchomienie kolejnego cyklu pracy robotów (KONTYNUACJA).

Zadaniem operatora jest wymiana części w przyrządzie mocującym, który w danej chwili znajduje się przed nim. Po zakończeniu tych czynności naciska on przycisk na pulpicie uruchamiając kolejny cykl pracy (obrót pozycjonera o 120° i rozpoczęcie kolejnego cyklu spawania). Sygnał z przycisku uaktywni się jednak dopiero wówczas, gdy oba roboty zakończyły spawanie.

### Efekty techniczno-ekonomiczne

Efekty robotyzacji spawania dotyczą nie tylko wzrostu wydajności w wyniku stałej, równomiernej pracy bez zmęczenia, pokrycia czasów pomocniczych czasem głównym spawania, ale również poprawy jakości spoin. Zastosowanie robotów, które przejęły dotychczasowe czynności spawaczy, umożliwiło zatrudnienie na zrobotyzowanym stanowisku pracowników o niższych kwalifikacjach, którzy pracują obecnie nie w bezpośrednim, szkodliwym działaniu łuku elektrycznego i dymów spawalniczych.

Należy również zaznaczyć, że efektywność robotyzacji w zakładzie przemysłowym będzie zależała od liczby wdrożonych robotów przemysłowych, ponieważ ich wdrożenie wymaga zmian organizacyjnych w zapleczu technicznym. Im większa jest liczba zrobotyzowanych stanowisk, tym niższe są koszty eksploatacji jednego zrobotyzowanego stanowiska, a więc robotyzacja bardziej opłacalna.

## Wykaz dokumentów Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa

### KOMISJA XI – ZBIORNIKI CIŚNIENIOWE, KOTŁY I RUROCIĄGI

XI-475-87 – Proposals for application of new welding techniques pipeline construction [Propozycja Akademii Nauk ZSRR zastosowania nowych technik spawalniczych w budowie rurociągów], s. 7.

XI-476-87 – G. RE: Application of ECA (Engineering Critical Assessment) in the evaluation of defect tolerance in girth welds in API 1104, BS 4515 and CSA Z184 [Zastosowanie koncepcji „krytycznej oceny technicznej” do określania dopuszczalności wad w spoinach obwodowych rur], s. 9.

XI-477-87 – G. LAMBERTS: Considerations of welding methods adopted on pipelines during operation (with questionnaire on welding of pipelines under pressure) [Rozpatrywanie metod spawania nadających się do wykonywania złączy na rurociągach podczas ich eksploatacji (wraz z ankietą odnośnie spawania rurociągów pod ciśnieniem)], s. 34.

XI-478-87 – W. SCHOCH, H. R. KAUTZ, H. E. D. ZUERN: Materials in power plant construction [Materiały stosowane przy budowie elektrowni].

XI-479-87 – H. R. KAUTZ, H. E. D. ZUERN: Damage examples and lessons from power plant engineering [Przykłady awarii w elektrowniach i nauki z nich wynikające], s. 31.

XI-480-87 – G. GNIRSS: Vibration and vibratory stress relief. Historical development, theory and practical application [Wibracja i odprężenia wibracyjne. Rozwój historyczny, teoria i praktyczne zastosowanie], s. 17.

XI-481-87 – H. H. MULLER: Local heat treatment by induction [Lokalna obróbka cieplna przez nagrzewanie indukcyjne], s. 5.

XI-486-87 – C. F. ETIENNE: Residual life time of creep loaded structures – results of a project of the Netherlands Institute of Welding [Rzeczywisty czas pracy konstrukcji pracujących pod obciążeniem wywołującym pełzanie – wyniki pracy badawczej Holenderskiego Instytutu Spawalnictwa], s. 23.

XI-488-87 – E. PERTENEDER, J. TOSCH, P. REITERER: Welding duplex stainless steel pipes [Spawanie rur ze stali nierdzewnej o strukturze dwufazowej (austenityczno-ferrytycznej)], s. 11.

XI-489-87 – CO<sub>2</sub> shielded automatic welding of boiler tube to tubeplate in vertical position [Automatyczne spawanie w osłonie CO<sub>2</sub> w pozycji pionowej rur kotłowych ze ścianami sitowymi], s. 6.

XI-491-87 – K. KALNA: Assessment of necessity of heat treatment for welded pressure vessels by fracture mechanics methods [Ocena konieczności obróbki cieplnej spawanych zbiorników ciśnieniowych w oparciu o mechanikę pęknięć], s. 18.

XI-493-87 – W. SCHOCH, H. R. KAUTZ, H. E. D. ZURN: Piping systems in thermal power plants [Przewody rurowe i armatura w instalacjach stosowanych w elektrowniach ciepłych], s. 26.

XI-495-87 – K. KALNA: Mechanical stress-relief treatment of welded pressure vessels by warm pressure test [Poprawa odporności na kruche pęknięcie spawanych zbiorników ciśnieniowych poprzez wywołanie naprężeń wstępnych w podwyższonych temperaturach], s. 12.

XI-496-87 – I. HRIVŇÁK, J. LÁNCOŠ, S. VEJVODA: Relaxation overstressing of huge spherical storage vessels repaired by welding [Mechaniczna relaksacja wielkich kulistych zbiorników zasobnikowych po spawaniu: naprawczanie przez poddawanie ich próbie ciśnieniowej], s. 9.

XI-497-87 – I. HRIVŇÁK, K. A. YUSCHENKO: Principles of mechanical stress-relief treatment [Zasady mechanicznej obróbki odprężającej], s. 16.