

mgr inż. Marek Petz  
mgr inż. Zbigniew Pilat  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

## ROZWÓJ ROBOTYZACJI SPAWANIA W OSTATNICH 20 LATACH

*Omówiono rozwój robotyzacji spawania od czasu pierwszych zastosowań, głównie na podstawie własnych doświadczeń autorów.*

### ROBOTISATION OF WELDING IN LAST 20 YEARS

*Development of robotized welding was described, mainly basing upon experience of authors.*

#### 1. WSTĘP

Według międzynarodowych statystyk [1, 3], spawanie jest najczęściej robotyzowaną technologią przemysłową. Udział robotów wdrożonych do spawania waha się, w zależności od kraju, od 20 % do 50 % wszystkich zastosowań robotów przemysłowych. Wydaje się, że ten udział nie będzie malał, zarówno ze względu na wymagania jakościowe spawania, jak i uciążliwość prac spawalniczych dla człowieka [3, 4, 6].

Polska bardzo szybko dołączyła do krajów wdrażających i rozwijających technologie zrobotyzowane. W końcu lat 70. zakupiono od szwedzkiej firmy ASEA (obecnie ABB) licencję na dwa modele robotów IRb-6 i IRb-60. Za przejęcie licencji i przygotowanie produkcji odpowiedzialny był PIAP. Powstały wówczas zespoły projektowo-konstrukcyjne i wdrożeniowe. Ogółem w latach 80-tych PIAP wyprodukował ponad 100 robotów obu typów. Instalacje większości z nich zostały przygotowane i przeprowadzone siłami PIAP, stąd te roboty są autorom dobrze znane z własnego doświadczenia. Z tego powodu przy omawianiu tematyki zrobotyzowanego spawania, zwłaszcza w odniesieniu do lat wcześniejszych, autorzy często odwołują się właśnie do robotów firmy ASEA. Głównym obszarem zastosowań tych robotów było szeroko rozumiane spawanie. Przy wykorzystaniu robotów mniejszych, IRb-6, robotyzowano przede wszystkim spawanie łukowe. Roboty większe, IRb-60 były stosowane często do zgrzewania punktowego. Obecnie PIAP jest integratorem systemów zrobotyzowanych. Zespoły aplikacyjne stosują roboty różnych producentów, dostosowując się do wymagań klientów. Instalacje Najczęściej budowane są z robotami Fanuc lub KUKA, na podstawie formalnie zawartych umów partnerskich.

#### 2. PIERWSZE ROBOTY I URZĄDZENIA

Aby roboty mogły spawać, musiały wykonywać palnikiem ruchy bardziej złożone niż tylko przemieszczenia pojedynczych osi, liniowe i obrotowe. Konieczna była realizacja jednoczesnego, kontrolowanego poruszania wieloma osiami. Możliwości takie pojawiły się, kiedy roboty uzyskały napęd elektryczny. Pierwszym takim robotem był szwedzki IRb-6 firmy ASEA (dzisiaj ABB), który wszedł na rynek w 1976 r. Jego pierwszy egzemplarz został co prawda wdrożony do polerowania stalowych kolanek, ale najczęściej był stosowany do spawania.

W porównaniu z dzisiejszymi modelami, możliwości ruchu tego robota były dość ograniczone; nie było mowy o ruchach po okręgu, a ruchy określone jako liniowe istniały tylko wtedy, kiedy robot nie obracał się wokół osi głównej. Trajektoria spawania była tworzona z wielu

odcinków „liniowych”, ale przy niezbyt wielkich wymaganiach i sporej cierpliwości programisty można było uzyskać zadowalające rezultaty. W pamięci robota można było przechować tylko 4 programy użytkowe, pozostałe były przechowywane na taśmie magnetofonowej.

Roboty IRb-6 oraz IRb-60 [2] były produkowane przez PIAP w latach 80. na podstawie licencji ASEA. PIAP budował wówczas także stanowiska zrobotyzowane, m.in. spawalnicze. Stosowano w nich proste spawarki, przystosowane ze spawarek ręcznych. Próbowano jednak także tworzyć bardziej zaawansowane zestawy. W realizacji prac rozwojowych technologii zrobotyzowanych PIAP współpracował z innymi firmami krajowymi. OZAS w Opolu stworzył zestaw urządzeń spawalniczych (ZUS-1 i ZUS-2) specjalnie przystosowany do współpracy z robotem IRb-6, w którym włączenie łuku następowało sygnałem zewnętrznym (z robota), a co ważne spawarka wysyłała na zewnątrz (do robota) sygnał o prawidłowym zajarzeniu łuku. Dopiero wtedy robot rozpoczynał ruch. Była to bardzo ważna modyfikacja, ponieważ ówczesne źródła prądu nie były zbyt niezawodne i nie zawsze przy zetknięciu drutu ze spawanym przedmiotem następował zapłon. Często programowano rozpoczynanie spawania w ten sposób, że robot automatycznie (w razie niepowodzenia) próbował zajarzyć łuk kilkakrotnie i dopiero np. po 2. czy 3. niepowodzeniu zatrzymywał się i alarmował operatora. Przykładowy fragment programu wyglądał następująco:

DOKŁADNIE 30	<i>dojście robota do punktu rozpoczęcia spoiny</i>
WYJ ZAŁ 2	<i>wybór programu spawania</i>
WYJ ZAŁ 1	<i>włączenie spawarki</i>
CZEK WAR 6	<i>czekanie na sygnał zwrotny ze spawarki</i>
LINIOWO 25	<i>ruch spawania z określoną prędkością</i>
WYJ WYŁ 1	<i>wyłączenie spawarki</i>

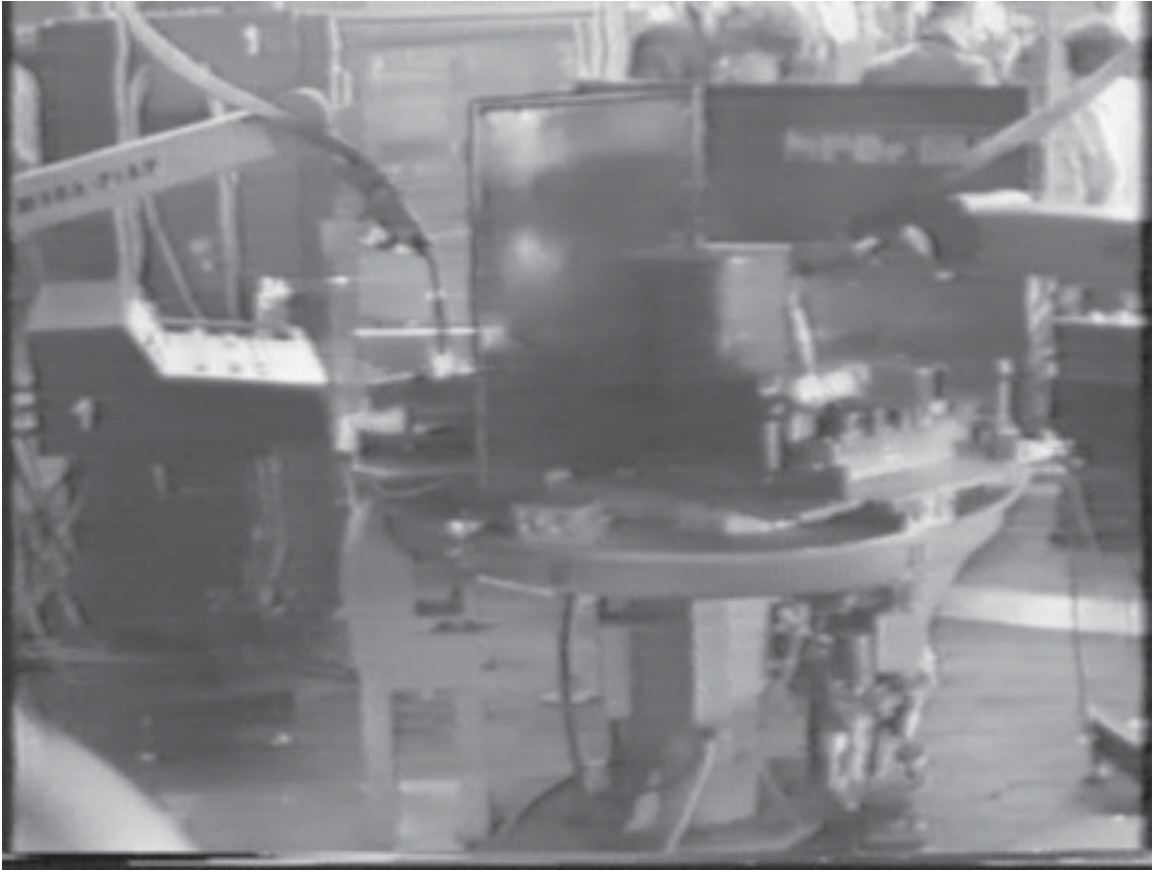
W zestawie ZUS istniał także programator PS-01R dający możliwość automatycznego wybierania przez robot parametrów spawania. Parametry 5 możliwych programów spawania były ustawiane przed rozpoczęciem spawania, a robot wybierał odpowiedni program za pomocą wyjściowych sygnałów dwustanowych. Rozwiązanie to umożliwiało także zmianę parametrów w trakcie spawania, a więc np. wykonywanie ciągłej spoiny ze zmiennymi parametrami.

Można tu z wyprzedzeniem powiedzieć, że na takiej zasadzie pracują również niektóre współczesne roboty z odpowiednimi źródłami prądu (KUKA + Fronius). Oczywiście odbywa się to na innym zupełnie poziomie technicznym, ale idea jest ta sama.

Firma OBRUSN z Torunia opracowała wówczas także zestaw pozycjonerów do mocowania detali, przeznaczonych do zrobotyzowanego spawania różnych elementów. Pozycjonery te były dwóch rodzajów: stół obrotowy SPOe z kilkoma stanowiskami roboczymi i pozycjoner dwustolikowy SPOp-150 z możliwością obrotu i pochylania każdego stolika. Zestaw ten był rozwijany i modernizowany, OBRUSN budował także kompletne stanowiska spawalnicze.

### 3. PIERWSZE ZASTOSOWANIA

W takim zestawie technicznym (2 roboty IRb-6, stół obrotowy SPOe z 3 stanowiskami, zestaw spawalniczy ZUS-1) PIAP zrealizował stanowisko spawania wahaczy Fiata 126bis dla FSM Tychy. Dwa roboty spawały elementy jednocześnie (jeden lewy wahacz, drugi prawy), po obrocie stołu pracownik zdejmował zesparany komplet wahaczy (fot. 1).



Fot. 1. Zrobotyzowane stanowisko spawania wahaczy

Innym wdrożeniem z tego okresu było stanowisko spawanie klocków hamulcowych dla Pafawagu Wrocław, gdzie robot wykonywał spoiny kołowe, na szczęście na płaskiej powierzchni. Do wykonania jednego okręgu o średnicy około 50 mm, należało zaprogramować około 20 instrukcji ruchu liniowego. W dzisiejszych robotach wystarczy użyć 2 instrukcji ruchu kołowego, ze znacznie lepszym rezultatem.

Robot IRb-6 miał szereg funkcji i możliwości przeznaczonych do zastosowania przy spawaniu. Jedną z nich były tzw. oscylacje czyli spawanie szerokich spoin zakosami. Programowanie tych ruchów było dość proste, a rezultaty bardzo dobre.

Inną możliwością, w ówczesnym stanie techniki raczej teoretyczną, była tzw. funkcja kontrowania do wykorzystania przy spawaniu adaptacyjnym. Chodziło o automatyczne dostosowywanie się robota do przypadkowo zmiennych położen spoiny, np. wskutek odchyłek wymiarowych detalu. Nie istniały w tym czasie niezawodne, odporne na trudne warunki otoczenia czujniki, umożliwiające taką korektę trajektorii robota, choć sam robot miał zaimplementowane odpowiednie funkcje. PIAP prowadził, również we współpracy międzynarodowej, próby zastosowania różnego typu czujników do spawania adaptacyjnego, ale nie dały one zachęcających rezultatów. Czujniki były albo zbyt duże i wobec tego możliwość ich zastosowania była ograniczona albo łatwo zakłócały się w obecności łuku spawalniczego.

Możliwe natomiast było wykrycie położenia elementu przed rozpoczęciem spawania i dostosowanie trajektorii do aktualnego położenia spawanych elementów.

Pozytywnym wyjątkiem „czujnika adaptacyjnego” była stosunkowo tania kamera wizyjna firmy IGM, specjalizującej się w produkcji robotów spawalniczych. Umożliwiała ona korygowanie trajektorii robota, przydatne zwłaszcza przy spawaniu długich elementów.

#### 4. NOWE STEROWANIE ROBOTÓW ASEA

Na początku lat 90. w PIAP opracowano nowy układ sterowania robota do mechaniki IRb-6 i IRb-60, produkowanych w PIAP na licencji ASEA. Układ ten, początkowo IRp a potem ulepszony URP, umożliwiał wykonywanie trajektorii liniowych i kołowych. Robot URP-6, dodatkowo umieszczony na torze jezdny, został zastosowany co prawda nie do spawania, ale w technologii pokrewnej, do tzw. ukosowania, czyli profilowego cięcia pod kątem grubych elementów stalowych [5]. Stanowisko to pracuje zresztą do dziś.

W firmie ABB następcą robota IRb-6 (którego układ sterowania określano jako S1) został na przełomie lat 80. i 90. robot z układem sterowania S2 (przejściowo) i potem S3. Do spawania używano najczęściej robotów IRB1500 i nieco większego IRB2000. Nową możliwością tych robotów, bardzo ważną z punktu widzenia zastosowań, było operowanie narzędziem, a właściwie jego tzw. punktem centralnym (TCP z ang. Tool Center Point), w przestrzeni kartezjańskiej. Dzięki temu można było realizować ruchy TCP po trajektorii prostoliniowej i po okręgu, programowanym przez podanie 3 punktów. Oczywiście znacznie podniosło to walory użytkowe tych robotów jako spawalniczych. Najczęściej stosowane były one z dodatkowym pakietem oprogramowania spawalniczego, połączone ze spawarkami firmy ESAB, dostosowanymi do współpracy z tymi robotami. Zmienił się sposób określania parametrów spawania. Zamiast wywoływania numeru programu spawania z parametrami ustawionymi w spawarce, parametry spawania określało się w specjalnej instrukcji ruchu robota. Parametry te najpierw deklarowało się w danych startowych (zajarzenia łuku), danych głównych (samego spawania) i danych końcowych (z parametrami zakończenia spoiny). Dodatkowo istniał już w robocie zestaw możliwych oscylacji, gdzie oprócz wyboru kształtu programowano wartości amplitudy, częstotliwości i innych parametrów oscylacji. Wszystkie te dane były wywoływane w instrukcji ruchu robota zawierającej tylko numery zestawów. Przykładowa instrukcja spawania miała postać:

POS v=5% WELD 2/4/1

gdzie numery oznaczały kolejno numer danych startowych (2), danych spawania (4) i ewentualne oscylacje (1).

Co więcej, można było w trakcie spawania, ruchami joysticka robota zmieniać nieco parametry spawania i zapamiętać je w prosty sposób. Problemem była znacznie wyższa cena takich spawarek niż spawarek konwencjonalnych.

W tym układzie sterowania S3, dzięki zastosowaniu w panelu programowania wyświetlacza alfanumerycznego, wprowadzono tekstowe komunikaty o błędach występujących w trakcie spawania, pomagające zlokalizować awarie.

Nową możliwością, która pojawiła się w tym robocie, nie tylko do spawania, były „zewnętrzne osie robota”. Układ sterowania robota, oprócz poruszania 6 przegubami robota, mógł sterować również zewnętrznymi napędami obrotników w sposób skoordynowany z ruchami robota. Umożliwiała to wykonywanie znacznie bardziej złożonych spoin, kiedy równocześnie z przesuwaniem palnika przez robot, w skoordynowany sposób przesuwana się również detal zamocowany na zewnętrznym obrotniku.

Oczywiście można było nadal użyć zwykłej spawarki, rezygnując z rozbudowanych możliwości ustawiania parametrów z poziomu robota. Takie proste stanowisko PIAP uruchomił w niewielkiej firmie prywatnej, której właściciel kupił używanego robota IRB2000. Dołączona została do niego ręczna spawarka, w której przycisk zajarzenia łuku zamieniono na przełącznik uruchamiany sygnałem robota. Nie było tu możliwości automatycznej zmiany parametrów, ale ponieważ wszystkie spoiny były wykonywane takimi samymi parametrami, to ogra-

niczenie nie stanowiło problemu. Stanowisko to z powodzeniem przez kilka lat pracowało przy produkcji zbiorników gazu przeznaczonych do samochodów (fot. 2).



Fot. 2. Zrobotyzowane stanowisko spawania głowicy zaworu zbiornika gazowego

## 5. WSPÓŁCZESNE ROBOTY SPAWALNICZE

Pod koniec lat 90. na rynku pojawiły się roboty ABB z układem sterowania S4. Wśród nowych modeli, był IRB1400 przeznaczonym także do spawania.

Robot ten mógł obsługiwać 2 czujniki:

- Smartac, wykrywający położenie detali przed rozpoczęciem spawania, gdzie rolę czujnika pełniła odpowiednio podłączona osłona gazowa
- WeldGuide, mogący korygować trajektorię robota w czasie spawania, niestety jego cena jest równa prawie cenie robota.

Dzięki specjalnemu pakietowi w układzie sterowania robota, ArcWare, można ściśle kontrolować zarówno start, przebieg, jak i zakończenie spawania. Idea używania tego pakietu jest zbliżona do poprzednich robotów z układem S3. Deklarowane są parametry startu, przebiegu i końca spawania w odpowiednich modułach, które są potem wywoływane w instrukcji ruchu ze spawaniem. W tym robocie komunikacja ze spawką jest bardzo rozbudowana, a komunikaty o błędach bardziej precyzyjne niż w poprzednim modelu.

Oczywiście równolegle wiele innych firm „robotowych” rozwijało swoje konstrukcje, zwykle jako uniwersalne, ale głównym obszarem zastosowań wielu z nich było spawanie. Należy tu wymienić takie firmy jak Fanuc, KUKA, Motoman, Reiss, Panasonic i sporo mniejszych.

Przez ostatnie lata rozwój zrobotyzowanego spawania następuje głównie poprzez rozwój źródeł prądu. Mają one coraz większe możliwości, zarówno w wyborze określonej technologii

spawania, jak i w coraz większej „inteligencji”. Spawarki umożliwiają dobór parametrów poprzez podanie warunków spawania (rodzaj i grubość materiału, szerokość spoiny, średnica drutu itp.), a same parametry są ustawiane przez układ sterowania spawarki.

Jeżeli człowiek ma ustawiać parametry spawania, najczęściej ogranicza się to do podania jednego parametru (np. prędkości podawania drutu), a prąd i napięcie są dobierane optymalnie przez źródło prądu.

Współczesne roboty są oczywiście znacznie bardziej niezawodne niż dawniej i mają większe możliwości, ale z punktu widzenia użytkownika ich możliwości niewiele różnią się od tych sprzed kilkunastu lat. Ich trajektorie przydatne do spawania to nadal ruch liniowy i kołowy, współpraca ze spawarką odbywa się przez wybór jednego z programów spawania (jak w IRb-6) lub przez wysłanie informacji o parametrach spawania (jak w IRB1500). Systemy umożliwiające korektę trajektorii w czasie spawania nadal są bardzo drogie (prawie jak robot), a te tanie są możliwe do użycia tylko przy spawaniu zakosowym.

Często spawarki i roboty określonych firm współpracują ze sobą w sposób przewidziany z góry przez producentów, np. KUKA + Fronius, Fanuc + Lincoln Electric. Najczęściej odbywa się to przez magistralę cyfrową, stosowanie są popularne standardy jak DeviceNet, Profibus.

Przy programowaniu spawania KUKA + Fronius podaje się w instrukcji ruchu robota numer programu spawarki, a parametry ustawiane są w spawarce. Istnieją oddzielne instrukcje startu, ruchu i końca spawania.

Instrukcja początku spawania

```
LIN P1 vel=0.3m/s CPDAT1 ARC_ON Pgno1 S1 spoinalewa
```

```
1 2 3 4 5
```

gdzie 1- instrukcja ruchu do punktu początkowego spoiny

- 2- sygnał załączenia spawarki
- 3- wybór numeru programu, gdzie zapisane są parametry spawania
- 4- numer spoiny, gdzie można ewent. zapisać czas opóźnienia po zajarzeniu łuku
- 5- dowolna nazwa spoiny

Instrukcja ruchu spawania

```
LIN P2 CONT CPDAT2 ARC Pgno2 W3
```

```
1 2 3 4
```

gdzie 1- instrukcja ruchu spawania

- 2- sygnał trwania spawania
- 3- wybór numeru programu
- 4- tu podawana jest prędkość ruchu i ewent. nałożone oscylacje

Podobnie wygląda instrukcja zakończenia spawania, gdzie dodatkowo można podać czas wypełnienia krateru.

Właściwy dobór parametrów spawania umożliwia rozbudowany układ sterowania spawarki Fronius. Można wybrać odpowiedni proces spawania, spawany materiał i jego grubość, średnicę drutu, gaz ochronny, pożądaną grubość spoiny itp. Można również bardzo precyzyjnie ustalić sposób narastania prądu przy starcie i zmniejszania prądu przy końcu spawania.

Przy programowaniu zestawu Fanuc + Lincoln Electric podaje się wartość prędkości podawania drutu, którą dopiero sterowanie spawarki zamienia na prąd i napięcie spawania. Wcześniej należy wybrać warunki spawania (rodzaj procesu, rodzaj i grubość materiału, średnicę drutu itp.). Wyboru tego dokonuje się wyłącznie poprzez panel programowania robota. Cyfrowo sterowane źródło prądu Power Wave komunikuje się z robotem przez DeviceNet, jedyną czynnością wykonywaną przy spawarce jest jej włączenie. W instrukcji ruchu robota występuje tylko odwołanie się do numeru zaprogramowanej procedury spawania. Również prędkość ruchu robota podaje się przez odwołanie do wcześniej zadeklarowanej prędkości WELD SPEED.

Przykładowa instrukcja startu spawania

L P[3] 100cm/min CNT100: Arc Start[1]

Instrukcja ruchu spawania

L P[4] WELD SPEED CNT100

Instrukcja zakończenia spawania

L P[9] WELD SPEED FINE: Arc End[1]

Rozwój techniki komputerowej powoduje, że coraz większa porcja wiedzy zdobytej przez spawalników wielu firm jest zapisana w pamięci układów sterowania spawarek i coraz łatwiej jest niefachowcowi dobrać właściwe parametry spawania.

## 6. SYSTEMY ZABEZPIECZENIA STANOWISK SPAWALNICZYCH

Korzyści płynące z robotyzacją produkcji od lat można grupować w trzech kategoriach [6]: poprawa jakości, podniesienie wydajności, poprawa warunków pracy. W ostatnim czasie szczególnego znaczenia nabiera ten ostatni aspekt. Przy pierwszych zastosowaniach robotów do spawania nie stosowano specjalnych zabezpieczeń, poza ogólnymi sposobami ochrony człowieka. Nie było zresztą wtedy sprecyzowanych norm i standardów bezpieczeństwa. W najlepszym razie stanowisko było ogradzane siatką z powieszoną na niej osłoną z brezentu.

Obecnie istnieją dość szczegółowe wymagania co do zabezpieczenia stanowisk zrobotyzowanych, w tym spawalniczych. W skrócie, ogrodzenie musi być takie, aby uniemożliwić wejście człowieka do wewnątrz stanowiska w czasie automatycznej pracy robota. Osłony powinny także chronić operatora i inne osoby przed działaniem łuku spawalniczego. Często wykonuje się je z nieprzezroczystych materiałów a ogrodzenia z profili aluminiowych.

## 7. OSTATNIE ZASTOSOWANIA ROBOTÓW DO SPAWANIA

PIAP zrealizował ostatnio kilka stanowisk spawalniczych zarówno w zestawie KUKA + Fronius, jak i Fanuc + Lincoln.

Pierwszy zestaw został zastosowany do spawania zespołów maszyn budowlanych, gdzie spawane są grube elementy o grubości rzędu 10-15 mm. Elementy umieszczone są na pozycjonarach sterowanych jako zewnętrzne osie robota, ale możliwość skoordynowanego ruchu pozycjonera i robota nie jest wykorzystywana przy samym spawaniu (nie było takiej potrzeby).

Zestaw robotów Fanuc i spawarek Lincoln został zastosowany do spawania elementów pras w nieco nietypowej konfiguracji (Fot. 3). Jeden z robotów przenosi spawane elementy i trzyma je w trakcie spawania przez drugi robot. Dzięki właściwemu zaprojektowaniu chwytaka

robota uniknięto w jego działaniu zakłóceń, które mogłyby spowodować łuk spawalniczy. Autorom nie jest znane inne tak działające stanowisko (co nie znaczy, że takich nie ma).

Właściwie do dziś nie w pełni rozwiązany problem pozostaje spawanie adaptacyjne. Istniejące systemy czujnikowe są dwóch rodzajów:

- zewnętrzny czujnik (na ogół laserowy), śledzący spoinę, przekazujący informację do układu sterowania robota - pozostają nadal bardzo drogie (Meta Scout dla robota KUKA czy WeldGuide robota ABB)
- podzespół spawarki realizujący pomiar parametrów łuku, wyniki wysyła do układu sterowania robota, który oblicza ew. korektę trajektorii – rozwiązanie możliwe do zastosowania tylko przy spawaniu zakosowym.



Fot. 3. Stanowisko spawania elementów pras

Autorom nie są znane udane zastosowania systemów wizyjnych do korekcji trajektorii przy spawaniu. Powodem tego może być fakt, że systemy wizyjne są wrażliwe na warunki oświetlenia, a ostry łuk spawalniczy mógłby wprowadzać zbyt duże zakłócenia.

Wszelkie istniejące czynniki pozwalają przypuszczać, że spawanie pozostanie jedną z głównych technologii, gdzie będą stosowane roboty. Spawanie jest technologią bardzo rozpowszechnioną, stosunkowo tanią, a jednocześnie wymagającą wysokiej jakości. Jest to jednocześnie technologia uciążliwa dla człowieka. Te czynniki pozwalają optymistycznie patrzeć w przyszłość tym, którzy chcą zajmować się robotyzacją spawania.

Autorzy artykułu chętnie odpowiedzą na pytania i udzielą dodatkowych informacji:

[mpetz@piap.pl](mailto:mpetz@piap.pl), [zpilat@piap.pl](mailto:zpilat@piap.pl)

## LITERATURA

- [1.] World 2004 Robotics. United Nations, New York and Geneva, 2004.
- [2.] DTR robotów IRb-6/60. PIAP Warszawa 1978.
- [3.] Kowalczyk R. Robot na stanowisku pracy. Stalowe ramiona nowoczesnej produkcji. Dzisiaj – kwartalnik dla klientów. kwiecień – czerwiec 2005, ABB, Warszawa 2005.
- [4.] Przydatek P. Roboty spawające - korzyści z robotyzacji procesów spawania. Biuletyn Automatyki nr 47 (1/2006). ASTOR Kraków 2006.
- [5.] Pilat Z.: Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach – doświadczenia z eksploatacji, Pomiary, Automatyka, Robotyka PAR nr 7-8/98, Warszawa 1998.
- [6.] Pilat Z.: Nie powiedziano jeszcze ostatniego słowa. Robotyzacja procesów spawalniczych. Nowy Przemysł 1/2000, Katowice 2000