

Paweł Cegielski
Andrzej Kolasa
Dariusz Golański
Tadeusz Sarnowski
Andrzej Oneksiak

Innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne w przemysłowych urządzeniach do automatyzacji procesów spawalniczych

Transfer of innovative design solutions in industrial automation of welding processes

Streszczenie

Jednym z kierunków rozwoju technologii spawalniczych jest ich automatyzacja i robotyzacja realizowana za pomocą urządzeń zapewniających najwyższą jakość i powtarzalność, ale także wysoki poziom bezpieczeństwa, łatwość adaptacji do nowych zadań czy odporność na niedokładność wymiarową spawanych części. Zakład Inżynierii Spajania Politechniki Warszawskiej od wielu lat stymuluje prace badawczo-rozwojowe i wdrożeniowe we współpracy z krajowymi producentami i integratorami urządzeń do automatyzacji i robotyzacji procesów spawalniczych. W artykule przedstawiono efekty ostatnich opracowań konstrukcyjnych, transferowanych do przemysłu w ramach projektów celowych FSNT-NOT w latach 2010÷2012.

Abstract

One of the directions of development of welding technology is the automation and robotics performed using equipment to ensure the highest quality and repeatability, but also a high level of security, ease of adaptation to new tasks or dimensional inaccuracy resistance of welded parts. Department of Welding Engineering of Warsaw University of Technology stimulate research-development and implementation in cooperation with national manufacturers and integrators of automation equipment and robotic welding processes for many years. This paper presents the effects of recent studies of structural, transferred to industry in the targeted projects FSNT-NOT in the years 2010 to 2012.

Wstęp

Wdrożenie przemysłowe nowego urządzenia jest skomplikowanym i kosztownym procesem wymagającym, oprócz prac koncepcyjnych, zbudowania szeregu modeli i prototypów oraz ich badań, zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i przemysłowych. Co więcej,

opracowanie nowego urządzenia technologicznego jest procesem twórczym, wymagającym zaangażowania wiedzy i umiejętności z różnych dziedzin, począwszy od fizyki procesu przez teorię napędów i sterowania, podstawy konstrukcji maszyn, po automatykę i programowanie. Nieodzowne staje się wykorzystanie specjalistycznych, komputerowych programów do projektowania, modelowania i symulacji.

Z uwagi na tendencję do zmniejszenia opóźnienia krajowego przemysłu w stosunku do państw wysoko uprzemysłowionych, w ostatnich latach obserwowany jest znaczący wzrost rynku robotów przemysłowych, w tym również spawalniczych. Wzrost inwestycji dokonany jest pomimo globalnej recesji. Tendencję wzrostową stymulują wspomagające programy rozwojowe oparte m.in. na funduszach Unii Europejskiej, wysokie wymagania produkcyjne narzucone przez zagraniczne

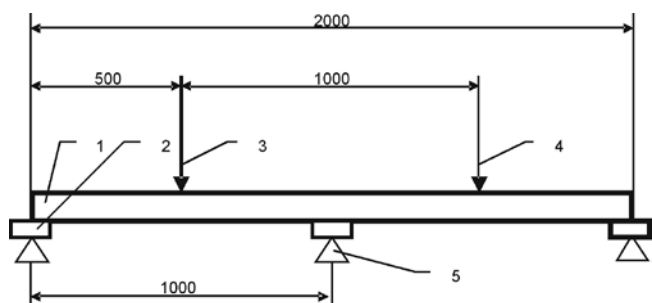
Dr inż. Paweł Cegielski, dr hab. inż. Andrzej Kolasa Prof. PW, dr hab. inż. Dariusz Golański – Politechnika Warszawska, **dr inż. Tadeusz Sarnowski** – ZAP Robotyka, Ostrów Wielkopolski, **Andrzej Oneksiak** – ZASO Zakład Aparatury Spawalniczej Andrzej Oneksiak, Warszawa.

kontrakty, a także szkodliwość procesów dla personełu i środowiska czy brak wysoko wykwalifikowanych specjalistów, w tym spawaczy. W takiej sytuacji niezmiernie ważna jest produkcja krajowych urządzeń do automatyzacji i robotyzacji. Zakład Inżynierii Spawania Politechniki Warszawskiej od wielu lat stymuluje prace badawczo-rozwojowe i wdrożeniowe we współpracy z krajowymi producentami i integratorami. W artykule przedstawiono efekty ostatnich opracowań, realizowanych w ramach projektów celowych FSNT-NOT w latach 2010÷2012.

Modułowy system kabin do instalacji i zabezpieczania robotów przemysłowych

Budowa zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego wymaga nie tylko zgromadzenia odpowiednich maszyn i wyposażenia technologicznego, ale także ich prawidłowej instalacji mechanicznej, zabezpieczenia zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz stworzenia systemu połączeń sygnałowych pomiędzy poszczególnymi urządzeniami i systemami [2, 4].

Niezwykle ważne jest zapewnienie sztywnego zamocowania robota do podstawy oraz względem tych maszyn i urządzeń stanowiska, które współpracują z nim, mają bezpośredni wpływ na proces dokładnego i powtarzalnego pozycjonowania obrabianych, np. spawanych obiektów względem narzędzia umieszczonego w końcówce robota. Spełnienie wymaganych postulatów bezpieczeństwa odnosi się zarówno do obsługi i osób postronnych, jak i pozostałej infrastruktury przedsiębiorstwa. Zwykle konieczne jest łączne zastosowanie różnych środków mechanicznych, sensorycznych, programowych oraz proceduralnych. Zapewnienie połączeń sygnałowych pomiędzy poszczególnymi obiektami stanowiska, w tym systemami zabezpieczającymi, wymaga rozbudowanego okablowania. Powstała



Rys. 1. Przyjęte, główne wymiary oraz rozmieszczenie elementów konstrukcyjnych i obciążających analizowanych belek: 1 – belka (szereg wariantów rozmiarowych i geometrycznych), 2 – łapy mocujące, 3 – miejsce przyłożenia robota o masie 300 kg, 4 – miejsce przyłożenia pozycjonera o łącznej masie 1200 kg, 5 – miejsca podparcia w analizie MES

Fig. 1. Adopted, the main dimensions, placement and loading parts of analyzed structural beams: 1 – beam (number of size ranges and geometric variants), 2 – mounting lugs, 3 – the place of application of the robot weighing 300 kg, 4 – the location of the manipulator with a total weight of 1200 kg, 5 – support in the FEA analysis

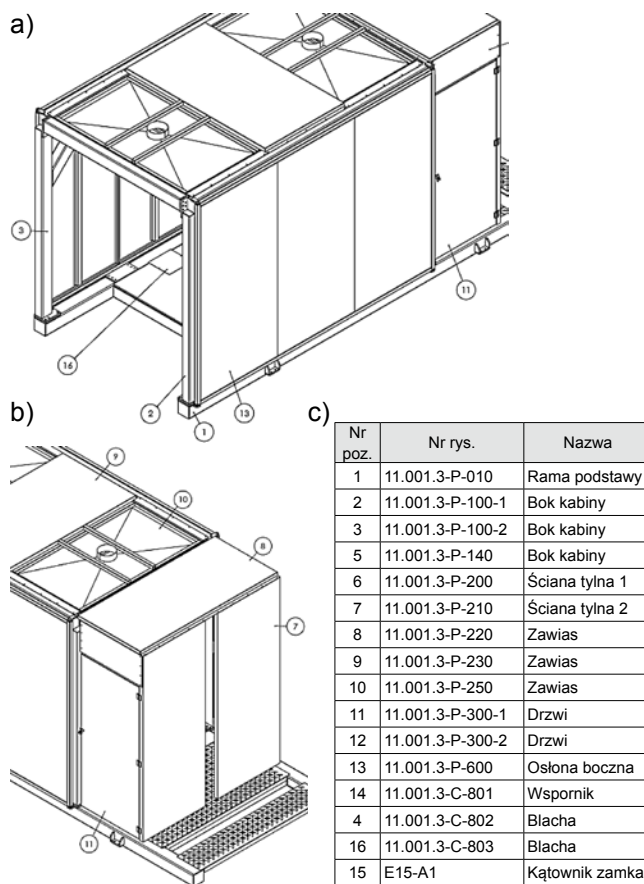
w ten sposób złożona sieć połączeń narażona jest zarówno na uszkodzenia mechaniczne, jak i zakłócenia elektromagnetyczne. W odniesieniu do robotów małej i średniej wielkości, zamiast indywidualnie projektowanych stanowisk, niektórzy producenci proponują gotowe kabiny. Zapewniają one kompleksowe rozwiązanie większości problemów instalacyjnych i zabezpieczających. Niestety, oferowane kabiny mają w większości kompaktowe rozmiary ograniczające możliwości aranżacyjne wewnątrz kabiny i zaopatrywane są w gotowe, często proste systemy załadownicze i pozycjonujące obrabiane części.

Analiza ograniczeń dotychczasowych konstrukcji kabin oraz potrzeb krajowego rynku była podstawą



Rys. 2. Maksymalne wygięcie belki w postaci rury prostokątnej 250 x 200 x 12 mm wyniosło $\Delta y = -1,8$ mm (modelowano systemem numerycznym LUSAS FEA 14-3)

Fig. 2. Maximum bending beam pipe in the form of a rectangular 250 x 200 x 12 mm was $\Delta y = -1.8$ mm (FEA numerical system LUSAS 14-3)



Rys. 3. Fragment przykładowej, zmontowanej kabiny opartej na module podłogi o wymiarach 2150 x 4900 mm: a) widok od strony obsługi (nie pokazano modułu układu załadowniczego), b) widok od strony zewnętrznej platformy montażowej, c) wykaz elementów

Fig. 3. Part of the sample, assembled cab floor module with dimensions 2150 x 4900 mm: a) a view from the operation side (the loading module not shown), b) a view from the outside of the platform assembly, c) a list of elements

podjęcia projektu, którego celem było opracowanie oraz wdrożenie do produkcji w ZAP Robotyka w Ostrowie Wlkp. modułowego systemu kabin do instalacji i zabezpieczania robotów przemysłowych [8]. Innowacyjność pomysłu polegała na opracowaniu modułowego systemu pozwalającego na łatwe dostosowanie kabiny do realizowanego zadania, użytych maszyn oraz wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Obok procesów spawalniczych, możliwe będzie ich wykorzystanie do cięcia, szlifowania, klejenia, nakładania past itp. z użyciem robota małej i średniej wielkości.

Prace projektowe i budowę modeli, a następnie prototypów, poprzedzono opracowaniem modelu obliczeniowego MES [3] podstaw kabin (rys. 1). Umożliwił on analizę sił wzdłużnych, poprzecznych i momentów gnących w konstrukcji belki nośnej oraz jej możliwych deformacji (rys. 2). Za najlepsze uznano warianty konstrukcyjne z ceownikiem i rurą prostokątną, leżącymi na krótszym boku.

Konstrukcję kabin oparto na trzech zestawach modułów: podłogach montażowych, systemie różnorodnych ścian i osłon oraz układzie załadunkowym (rys. 3, 4).

Rozważano dwa warianty rozwiązań konstrukcyjnych podłóg kabin: składanych z części lub monolitycznych modułów. W wyniku szczegółowych analiz i badań obydwu prototypów podłóg, wybrano i wdrożono gotowe, monolityczne moduły o różnych rozmiarach – typoszereg podłóg (od 1,5 x 2,5 m, nośność min. 1500 kg). Osiągnięty w ten sposób wzrost sztywności kabiny przekłada się na dokładność pracy stanowiska, łatwość jego konfiguracji i instalacji, w tym poziomowania, brak konieczności specjalnego fundamentowania i przytwierdzenia do podłoża itp. Kolejną innowacją było wprowadzenie podwójnego systemu montażu ścian i osłon, dobieranego w zależności od rozmiaru i zabudowy kabiny. Konwencjonalny montaż (stały) polega na ich bezpośrednim przytwierdzeniu (przykręceniu) do modułowej ramy usztywniającej i/lub podłogi montażowej. Montaż uchylny (zawiasowy), umożliwia



Rys. 4. Zmontowana kabina oparta na module podłogi 2150 x 4900 mm
Fig. 4. General view of the assembled module based on the cab floor 2150 x 4900 mm

składanie ścian na czas transportu i ich rozkładanie do pozycji roboczej w docelowym miejscu pracy kabiny. Wdrożony, prosty moduł układu załadunkowego to pozycjoner dwustanowiskowy z nieruchomymi stołami i ręcznym lub zmechanizowanym napędem zmiany stanowisk (napęd pneumatyczny) o nośności 200 kg na stanowisko. Możliwe jest jego zastępowanie pozostałymi pozycjonerami z całej oferty ZAP Robotyka.

Uniwersalny system laserowy 3D do śledzenia obiektów w zrobotyzowanych procesach spawalniczych

Nadal wiele zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych konfigurowanych jest bez jakichkolwiek układów sensorycznych, a więc są one niezdolne do samoczynnego dostosowania się do zmieniających się warunków zewnętrznych, w tym korygowania niedokładności wykonania i/lub zestawienia łączonych elementów. Oznacza to konieczność spełnienia często bardzo rygorystycznych warunków wymiarowych, co wiąże się najczęściej z wysokimi kosztami przygotowania części do spawania. Z drugiej strony, wiele technicznych i ekonomicznych powodów utrudnia czy wręcz uniemożliwia uzyskanie niezbędnej dokładności części przeznaczonych do spawania [1, 4].

Wśród środków zaradczych, od pewnego czasu dostępne są specjalistyczne, wbudowane do wielu systemów sterowania robotów programowe metody korekcji położenia i kształtu elementów spawanych. Ich działanie przeważnie wymaga użycia specjalnie przystosowanych źródeł spawalniczych, połączonych z układem sterowania robota jednym z interfejsów sieciowych, jak np. DeviceNet czy Profibus.

Najprostsze metody wbudowane w układy sterowania robotów oparte zostały na detekcji dotykowej (*touch sensing*), np. końcem drutu elektrodowego, położenia elementów łączonych [5]. Każdorazowo, przed spawaniem nowego zespołu, robot wykonuje szereg zaprogramowanych ruchów pomiarowych, a po porównaniu pozycji zaprogramowanej z rzeczywistością i dokonaniu niezbędnych przeliczeń przystępuje do spawania według skorygowanej, przesuniętej i/lub obróconej, trajektorii. W przypadku, gdy istnieje obawa co do przebiegu samej spoiny, możliwe jest zastosowanie ciągłej korekty trajektorii robota podczas spawania, opartej na precyzyjnej analizie parametrów jarzącego się łuku spawalniczego [5].

Alternatywą dla funkcji wbudowanych mogą być zewnętrzne, laserowe sensory triangulacyjne. W odróżnieniu od starszych systemów punktowych (jednowymiarowych – 1D), z projekcją pojedynczej plamki laserowej na mierzoną powierzchnię, nowoczesne czujniki umożliwiają pomiar odległości czujnika dla zdefiniowanej linii (2D). Wykorzystanie projekcji linii pomiarowej prostopadle do kierunku ruchu robota

(np. spawania) umożliwiają ocenę zaburzeń analizowanej powierzchni w dwóch kierunkach względem bazy czujnika – poprzecznym oraz wysokości (odległości), obrazujących np. przekrój rowka, przesunięcie łączonych krawędzi itp. Uzyskana w ten sposób dwuosiowa korekta położenia osi elektrody – wysokości i przesunięcia poprzecznego, uzupełniona zostaje o trzecią oś – ruch czujnika wzdłuż analizowanej powierzchni, dając ostatecznie system korekcji 3D.

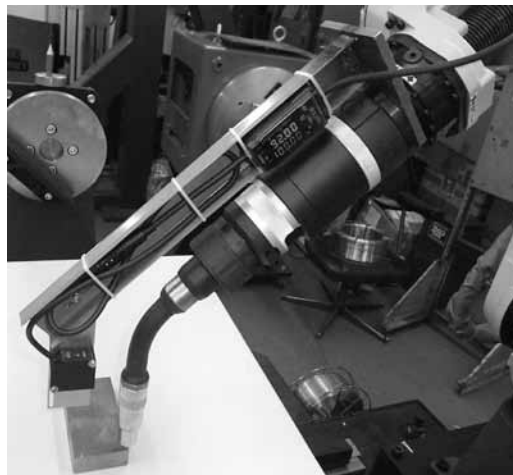
Problemy ze spawaniem zrobotyzowanym zespołów o obniżonej dokładności przygotowania przeznaczonych do spawania krawędzi skłoniły do opracowania autorskiego, innowacyjnego systemu skanującego z laserowym czujnikiem triangulacyjnym 3D [9]. Celem projektu było wdrożenie w ZAP Robotyka w Ostrowie Wlkp. systemu o wysokich parametrach użytkowych (tabl.), przy znacznie niższej cenie w stosunku do produktów innych producentów, głównie pochodzących z importu.

Już na etapie prac modelowych, przy wykorzystaniu laserowego czujnika punktowego, udało się osiągnąć rezultaty pozwalające na komercyjny wykorzystanie tego typu prostego sensora w nowej roli. Podczas badań połączono badany model z funkcją detekcji dotykowej i w miejsce sygnału potwierdzającego zwarcie niskonapięciowego obwodu pomiarowego, spowodowanego zetknięciem np. drutu spawalniczego z przeszkodą, podstawiono sygnał z badanego czujnika (rys. 5). W wyniku prób uzyskano bardzo dobre wyniki skłaniające do uznania takiego rozwiązania za w pełni funkcjonalne i możliwe do komercyjnego stosowania. Jak się wydaje, wyższa dokładność czujnika laserowego zastosowanego zamiast detekcji zwań końcem drutu spawalniczego jest niepodważalna. Dotyczy to zwłaszcza najazdu na badany obiekt wzdłuż kierunku wiązki pomiarowej. Pewnym ograniczeniem jest natomiast średnica plamki laserowej, która może zmniejszać dokładność pomiaru prostopadłego do kierunku wiązki. Pomimo tego możliwa jest detekcja nawet bardzo małych odchyżeń i szczelin, niedostępnych dla detekcji

końcem wysuniętego drutu. Należy także pamiętać, że oś drutu elektrodowego wysuniętego z uchwytu narażona jest na znaczne odchylenia, m.in. spowodowane niezbędnym luzem w otworze tulejki prądowej palnika, dodatkowo powiększanym przez jej stopniowe zużycie cierne i wypalanie. Również sposób podawania drutu elektrodowego może sprzyjać jego wykrzywianiu zaraz po wyjściu z tulejki, a on sam narażony jest na wykrzywienie wskutek nawet najdrobniejszych kolizji z przeszkodą.

Ostatecznie wdrożono do produkcji kompletny system z laserową głowicą skanującą 3D, układem sterującym i wysięgnikiem z automatyczną przesłoną zabezpieczającą układ optyczny (rys. 6). Możliwa jest detekcja różnego rodzaju zaburzeń powierzchni, w tym:

- szczelin typowych dla rowków spawalniczych:
 - o ścianach równoległych i szerokości od 0,1 mm
 - o ścianach skośnych w kształcie litery V,
- naroży wewnętrznych i zewnętrznych (90°),
- uskoków o różnicy wysokości od 0,1 mm,
- szczelin o nieregularnych kształtach,
- wypukłości o wysokości od 0,1 mm.



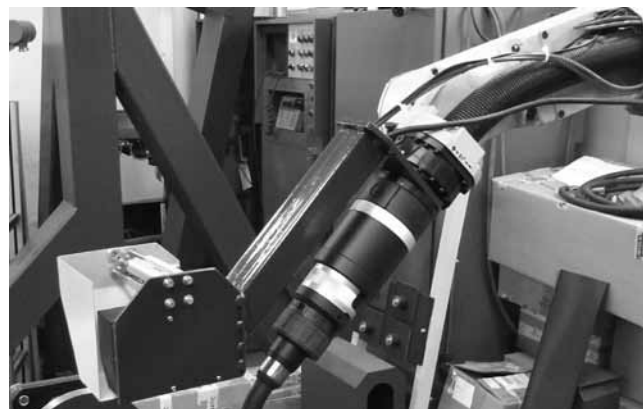
Rys. 5. Model z punktowym czujnikiem laserowym podczas prób w połączeniu z funkcją detekcji dotykowej

Fig. 5. Model with spot laser sensor during tests in conjunction with the touch detection

Tablica. Wartości parametrów systemu zakładanych do uzyskania w wyniku wdrożenia

Table. The assumed value of the system parameters to obtain as a result of implementation

| Nazwa parametru | Wartość parametru i jednostka miary |
|----------------------------|--|
| Zastosowanie | Śledzenie obiektów w zrobotyzowanych procesach technologicznych, tym także spawalniczych |
| Przeznaczenie | Uniwersalne |
| Rodzaj sensora | Skaner laserowy |
| Liczba osi analizy | Typu 3D |
| Układ sterowania | Nadrzędny, komputerowy |
| Zakres odległości roboczej | 100÷400 mm |
| Szerokość skanowania | 25÷100 mm |
| Ochrona układu optycznego | Automatyczna |

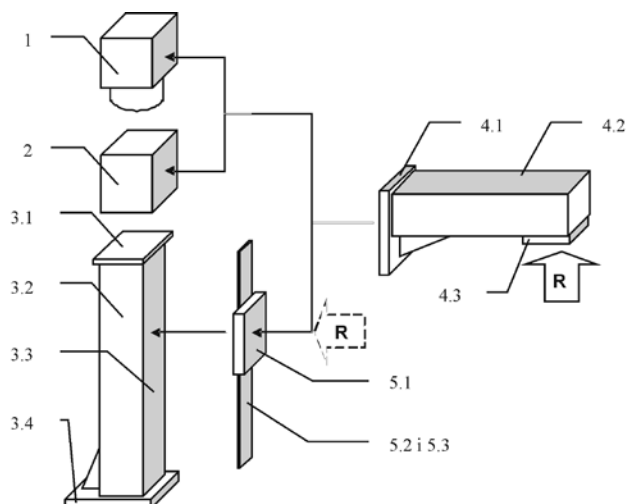


Rys. 6. Prototyp głowicy skanującej 3D na ramieniu robota z tzw. otwartym nadgarstkiem

Fig. 6. A prototype of the 3D scanning head with open wrist robot arm

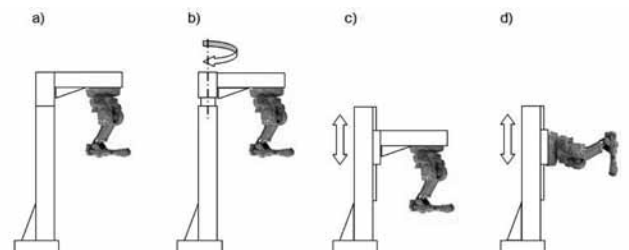
Uniwersalny, modułowy system ruchomych wyciągnięć do instalacji robotów przemysłowych w pozycji odwróconej

Ustalenie optymalnego położenia robota (jego przestrzeni roboczej) względem miejsca obróbki (przestrzeni operacyjnej) ma kluczowe znaczenie dla właściwego funkcjonowania stanowiska i optymalnego



Rys. 7. Idea budowy i konfiguracji modułowego systemu wyciągnięć: 1 – prototyp modułu ruchowego – obrotowego, 2 – łącznik statyczny, 3 – pionowy słup nośny (3.1 – gniazdo do montażu łącznika statycznego lub modułu ruchowego – obrotowego, 3.2 – belka słupa, 3.3 – powierzchnia montażowa modułu ruchowego – liniowego, 3.4 – cokół montażowy), 4 – pozioma belka wyciągnięć (4.1 – gniazdo do montażu łącznika statycznego lub modułów ruchowych, 4.2 – belka wyciągnięć, 4.3 – gniazdo montażu robota), 5 – prototyp modułu ruchowego – liniowego (5.1 – gniazdo montażu poziomej belki wyciągnięć lub opcjonalnie robota, 5.2 – prowadnice liniowe, 5.3 – zębatka mechanizmu napędowego), R – miejsce montażu robota przemysłowego

Fig. 7. The idea of structure and configuration of modular extension arm: 1 – a prototype of rotation module, 2 – static switch, 3 – vertical pole carrier (3.1 – socket connector assembly for static switch or rotation module, 3.2 – beam column, 3.3 – module mounting surface for linear manipulation, 3.4 – mounting base), 4 – horizontal bar mover (4.1 – socket connector assembly static or motion modules, 4.2 – beam of extension arm, 4.3 – socket for robot assembly), 5 – module prototype linear manipulation (5.1 – horizontal beam arm-mounting or optional robot, 5.2 – linear guides, 5.3 – gear drive mechanism), R – industrial robot installation site



Rys. 8. Podstawowe konfiguracje systemu: a) bazowa, statyczna, b) z ruchem obrotowym, c) z ruchem liniowym – pionowym, d) z bezpośrednim zamocowaniem robota

Fig. 8. The basic configuration of the system: a) a static, b) with rotation, c) with the linear motion – vertical, d) to direct robot mounting

wykorzystania potencjału manipulacyjnego robota. W przypadku robotów pracujących w pozycji odwróconej najczęstszą praktyką jest indywidualne zaprojektowanie specjalnego, stabilnego wyciągnięcia. W istotny sposób wydłuża to jednak czas wdrożenia i zwiększa koszty inwestycyjne. Oprócz wyciągnięć stacjonarnych, można spotkać układy zaopatrzone w dodatkowy stopień swobody, pełniący rolę zewnętrznej osi robota. Uzyskana mobilność, pomimo ograniczonego zasięgu w stosunku do torów jezdnych, skutkuje niższymi kosztami zakupu i instalacji, a zajęta powierzchnia produkcyjna jest nieporównanie mniejsza. Pomimo licznych zalet, ich dostępność jest niezwykle ograniczona z powodu braku na rynku kompleksowej oferty dostosowanej do szerokiej grupy robotów różnych producentów.

W tej sytuacji podjęto działania mające na celu wdrożenie w ZAP Robotyka w Ostrowie Wlkp. nowej generacji urządzeń uniwersalnych, w pełni funkcjonalnych i konkurencyjnych, zarówno pod względem ceny, jak i poziomu technicznego oraz wszechstronności zastosowań (projekt znajduje się w fazie realizacji) [6]. Innowacyjność projektu polega na stworzeniu unikalnego, kompleksowego systemu wyciągnięć do instalacji i jednoosiowej lokomocji robotów o masie do 300 kg pracujących w pozycji odwróconej, o charakterze uniwersalnych modułów konstrukcyjnych. Do głównych parametrów użytkowych systemu należy zaliczyć:

- typoszereg modułów konstrukcyjnych: pionowych słupów, poziomych belek wyciągnięć i niezbędnego osprzętu montażowego (rys. 7),
- moduł ruchowy obrotowy, instalowany pomiędzy słupem i belką, o zakresie $\pm 180^\circ$,
- moduł ruchowy liniowy, zintegrowany z platformą do instalacji belki poziomej (a opcjonalnie, także bezpośrednio robota), instalowany na ścianie pionowego słupa,
- całkowitą nośność kompletnego wyciągnięcia, niezależnie od konfiguracji wynoszącą 300 kg,
- powtarzalność pozycjonowania $\pm 0,10$ mm,
- możliwość konfiguracji wyciągnięcia w wariantach statycznym (bez napędu) i z napędem obrotowym lub liniowym (rys. 8),
- możliwość zmiany wcześniejszej konfiguracji, w tym dodanie, zmianę lub rezygnację z modułu napędowego,
- unifikację podzespołów dla wszystkich rozmiarów całego typoszeregu słupów i belek.

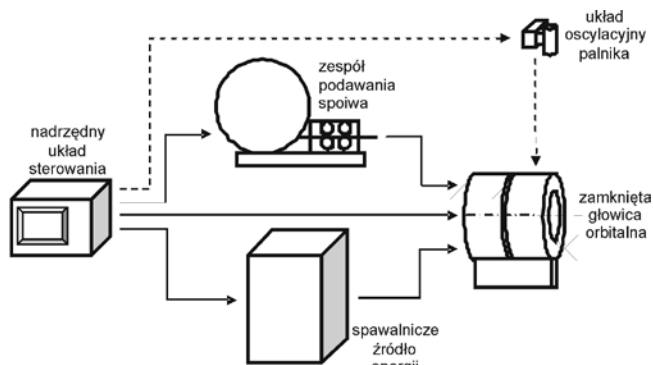
Zautomatyzowany system do orbitalnego doczołowego spawania rur metodą TIG

Jakościowe, doczołowe spawanie metodą TIG obwodowych złączy cienkościennych rur, prefabrykatów, jak i fragmentów instalacji, pociąga za sobą liczne trudności techniczne i technologiczne. Oprócz zwykle małej grubości oraz średnicy łączonych elementów,

przy spawaniu złożonych zespołów pojawia się problem z dostępem do złącza, brak możliwości jego obrotu względem elektrody, a nawet zmiany pozycji w przestrzeni (pozycji spawania). Do ich spawania stosowane są odrębne, wysoce wyspecjalizowane urządzenia do tzw. doczołowego spawania orbitalnego rur metodą TIG. Pomimo wysokiej ceny, ograniczonej dostępności (wyłącznie z importu) oraz ograniczeń funkcjonalnych (najwyższa precyzja i ochrona złącza tylko w najmniejszych, ale i najprostszych głowicach), wysoka wydajność, jakość i powtarzalność połączeń skłaniają do ich zakupu.

Wobec wymienionych ograniczeń oraz sygnalizowanego zapotrzebowania na rozwiązania alternatywne, podjęto działania mające na celu wdrożenie w firmie ZASO nowej generacji urządzeń przełamujących istniejące ograniczenia, konkurencyjnych pod względem ceny i poziomu technicznego (projekt znajduje się w fazie realizacji) [7]. Innowacyjność projektu polega na przełamaniu ograniczeń międzysystemowych dotychczas oferowanych urządzeń – połączeniu w jednej głowicy najwyższej precyzji i ochrony złącza typowej dla głowic zamkniętych, z podwyższonym zakresem średnic spawania i podawaniem dodatkowego spoiwa, jak w głowicach otwartych. Do głównych parametrów użytkowych systemu należy zaliczyć:

- kompletny, uniwersalny system do zautomatyzowanego, orbitalnego doczołowego spawania rur metodą TIG w zakresie średnic od 20 do 120 mm (rys. 9),
- spawanie TIG bez i z dodatkiem spoiwa, podawanego w postaci tzw. zimnego drutu,



Rys. 9. Konfiguracja systemu do orbitalnego doczołowego spawania rur metodą TIG

Fig. 9. Configuration of the system for orbital tube butt welding by TIG

- głowicę zamkniętą, z ruchem obwodowym elektrody względem nieruchomego złącza,
- maksymalną ochronę złącza – obudowa głowicy spełnia rolę komory gazowej,
- możliwość opcjonalnego, dodatkowego ruchu oscylacyjnego elektrody,
- nadzrędną, mechaniczną korektę odległości elektrody od powierzchni spawania,
- samoczynną, mechaniczną korektę odległości elektrody od powierzchni spawania.

Podsumowanie

Przedstawione urządzenia, zarówno już wdrożone, jak i znajdujące się w zaawansowanej fazie opracowania, powstają w oparciu o oryginalne projekty przy wykorzystaniu nowoczesnych, wspomaganych komputerowo metod projektowania i modelowania, oraz najnowszych układów energoelektronicznych, napędowych i sterowania.

Uwzględniają one potrzeby i możliwości potencjalnych, głównie krajowych użytkowników, zarówno pod względem ceny, jak i oferowanych możliwości. Stanowią też kolejny przykład pomyślnego transferu innowacyjnych projektów i rozwiązań konstrukcyjnych nowych urządzeń technologicznych z jednostek naukowo-badawczych do przemysłu.

Literatura

- [1] Cegielski P., Kolasa A., Sarnowski T.: Dostosowanie robotów do spawania elementów o obniżonej dokładności, Przegląd Spawalnictwa 6/2011, s. 25-28.
- [2] Cegielski P., Kolasa A., Sarnowski T., Oneksiak A.: Wdrożenia przemysłowe projektów badawczo-rozwojowych w zakresie mechanizacji i automatyzacji procesów spawalniczych, Przegląd Spawalnictwa 6/2011, s. 53-59.
- [3] Cook R.D.: Finite element modelling for stress analysis. John Wiley and Sons, 1995.
- [4] Ferenc K., Cegielski P. i inni (praca zbiorowa): Technika spawalnicza w praktyce. Poradnik inżyniera konstruktora i technologa. Rozdział 7. Mechanizacja, automatyzacja, robotyzacja. Verlag Dashofer, Warszawa 2012.
- [5] Materiały firmowe Kawasaki, Fanuc, Kuka, ABB.
- [6] Projekt Celowy FSNT-NOT (wnioskowany) pn.: Uruchomienie produkcji uniwersalnego, modułowego systemu ruchomych wysięgników do instalacji robotów przemysłowych w pozycji odwróconej, 2012-2013.
- [7] Projekt Celowy FSNT-NOT Nr ROW-III-204-2011 pn.: Uruchomienie produkcji zautomatyzowanego systemu do orbitalnego doczołowego spawania rur metodą TIG, 2012-2013.
- [8] Projekt Celowy FSNT-NOT Nr ROW-III-124/2010 pn.: Uruchomienie produkcji modułowego systemu kabin do instalacji i zabezpieczenia robotów przemysłowych, 2010-2011.
- [9] Projekt Celowy FSNT-NOT Nr ROW-III-141/2010 pn.: Uruchomienie produkcji uniwersalnego systemu laserowego 3D do śledzenia obiektów w zrobotyzowanych procesach spawalniczych, 2011-2012.