

Zrobotyzowane procesy spawania łukowego

Procesy spawania i zgrzewania należą do najczęściej robotyzowanych aplikacji. Ma to swoje uzasadnienie z uwagi na ich powszechne występowanie w przemyśle samochodowym, charakteryzującym się najwyższym poziomem robotyzacji. Z raportu Międzynarodowej Federacji Robotyki (ang. IFR – *International Federation of Robot*) z 2016 r. jasno wynika, że trend wzrostu liczby robotów na całym świecie jest stały i wynosi obecnie ok. 15% rocznie. I choć w 2015 r. sprzedaż robotów w branży samochodowej zwiększyła się tylko o 4%, to osiągnęła ona astronomiczną liczbę ponad 97 000 jednostek (rys. 1).

Zrobotyzowane procesy spawania łukowego

Spawanie jest procesem trwałego spajania dwóch lub większej liczby elementów składowych przez miejscowe doprowadzenie do nich energii cieplnej, powodującej ich lokalne stopienie, a następnie zakrzepnięcie, dzięki czemu powstaje spoina będąca zasadniczą częścią połączenia. Metody spawania można sklasyfikować według metod wytwarzania ciepła. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest energia elektryczna, szczególnie przy spawaniu łukowym. Spawanie gazowe, ze względu na małą gęstość mocy oraz dość niską temperaturę płomienia, ma ograniczone zastosowanie, natomiast ciągle rozwijane są metody wysokoenergetyczne i o dużej gęstości mocy (spawanie laserowe, plazmowe i elektronowe – rys. 2).

W procesie spawania połączenia są spajane nierozłącznie i aby dokonać rozdzielenia spojonych elementów, trzeba zniszczyć element łączący spoinę. W porównaniu z połączeniami, w których poszczególne elementy zostały powiązane za pomocą łączników, złącza spajane charakteryzują się m.in.:

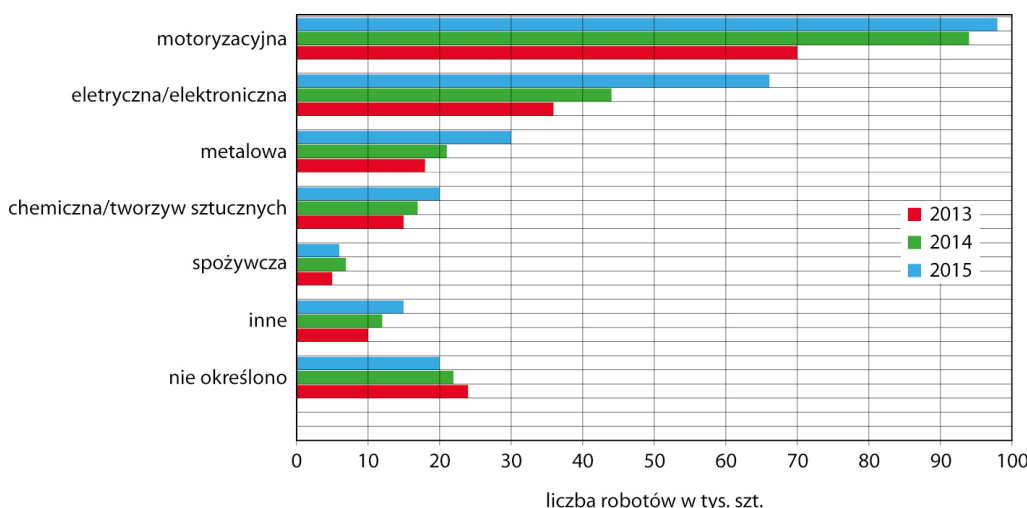
- monolitycznością;
- szczelnością;
- dużą wytrzymałością;
- małą masą;
- łatwością zabezpieczeń przed korozją.

Do najpopularniejszych metod spawania realizowanych automatycznie należą:

- MIG/MAG – (ang. *Metal Inert Gas/Metal Active Gas*) – metoda spawania elektrodą topliwą w osłonie gazów obojętnych lub aktywnych; jako gazy osłonowe obojętne najczęściej stosuje się argon lub hel, natomiast jako gazy osłonowe aktywne – dwutlenek węgla lub jego mieszaninę z argonem;
- TIG – (ang. *Tungsten Inert Gas*) – metoda spawania nietopliwą elektrodą wolframową w osłonie gazów obojętnych, takich jak argon, hel lub ich mieszanki;
- CMT – (ang. *Cold Metal Transfer*) – metoda niskoenergetyczna zgodna sprzętowo z systemem MIG/MAG na wyższym poziomie technicznym (zastosowanie całkowicie cyfrowych, inwerterowych źródeł prądu spawalniczego).

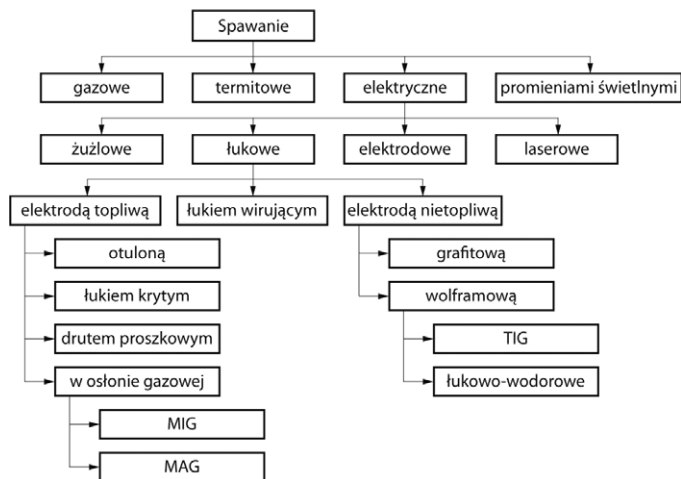
Ważną kwestią w procesie projektowania zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego jest dobór metody spawania. Zwykle jest ona stosowana zgodnie z technologią wykonywania połączeń i zależy od wielu czynników, takich jak: rodzaj i grubość materiału spawanego, wymiary geometryczne spoiny, wymagana jakość, wydajność, szybkość oraz kwestie ekonomiczne. Ma to istotny wpływ na sposób montażu detali w przyrządach spawalniczych, prędkość cykli, konfigurację robota w trakcie spawania oraz zastosowany osprzęt. Wykorzystanie robotów przemysłowych w aplikacjach spawania daje wiele korzyści, m.in.:

Sprzedaż robotów przemysłowych w wybranych branżach przemysłowych w latach 2013–2015



Rys. 1. Sprzedaż robotów w wybranych gałęziach przemysłu

(Źródło: Raport IFR 2016)

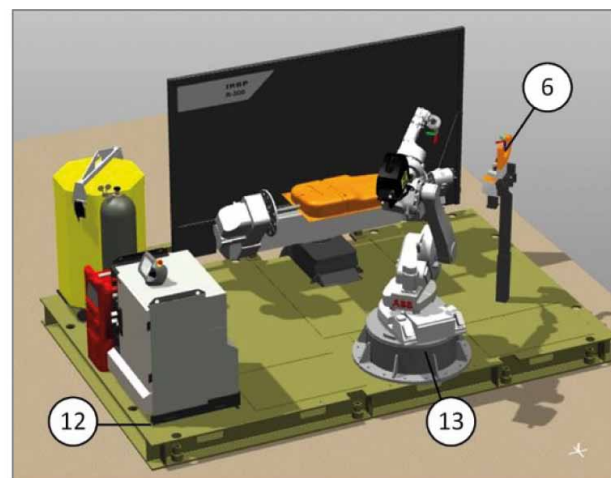
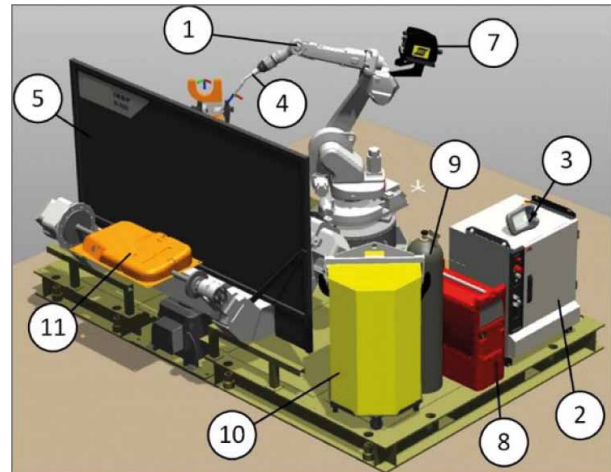


Rys. 2. Podział metod spawania

- zwiększa wydajność produkcji;
- zwiększa jakość wytwarzanych detali;
- przyspiesza realizację procesu (spawanie przy użyciu robota jest 2–5 razy szybsze niż innymi metodami);
- eliminuje konieczność dokonywania poprawek;
- zmniejsza zużycie spoiwa;
- generuje mniej odprysków i mniejszą ilość odpadów [I.27].

Wykonanie spoiny odpowiedniej jakości wymaga doświadczenia oraz wprawy, dlatego zakupowi zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych sprzyja niedobór wykwalifikowanych spawaczy na rynku pracy, który wynika z kilku powodów: praca jest męcząca, brudna i często przebiega w szkodliwych warunkach [I.27].

Z uwagi na duże zainteresowanie robotyzacją procesów spawalniczych na rynkach światowych (szacuje się, że udział robotów spawalniczych to ok. ¼ wszystkich istniejących aplikacji w polskim przemyśle) producenci robotów oferują nowoczesne oprogramowanie symulacyjne, pozwalające na dokładne zaprojektowanie procesu spawania oraz przetestowanie go jeszcze przed rozpoczęciem pracy stanowiska (np. RobotStudio z ArcWelding PowerPac). Dzięki współpracy producentów robotów z producentami osprzętu spawalniczego na rynku są oferowane dedykowane zestawy spawalnicze z wieloma akcesoriami zwiększającymi wydajność produkcji oraz jakość spawów. Współpraca producentów robotów i osprzętu spawalniczego doprowadziła do opracowania aplikacji instalowanych w kontrolerach robotów, które umożliwiają pełne programowanie aplikacji procesowych z wizualizacją i oddziaływaniem na parametry źródeł spawalniczych. Wskutek ciągłego rozwoju oprogramowania oraz stosowania zaawansowanych układów sensorycznych, w tym systemów wizyjnych, roboty przemysłowe znajdują ciągle nowe zastosowania w przemyśle, wykonując coraz bardziej złożone czynności. Potrafią na przykład same zlokalizować położenie detalu lub dostosować trajektorię ruchu robota w przypadku nierównych krawędzi detali. Przykładami są:



Rys. 3. Robot IRB 1660ID z osprzętem spawalniczym:

- 1 – manipulator robota;
- 2 – kontroler;
- 3 – Teach Pendant;
- 4 – palnik;
- 5 – pozycjoner;
- 6 – centrum obsługi palnika;
- 7 – podajnik drutu;
- 8 – źródło spawalnicze;
- 9 – butla z gazem osłonowym;
- 10 – szpula z drutem;
- 11 – detal;
- 12 – podstawa stanowiska;
- 13 – podest robota

(Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)

- opcja wyszukiwania statycznego SmartTac – umożliwia wyszukiwanie pozycji detalu do spawania na podstawie dotknięcia końcówką drutu spawalniczego przed zajarzeniem łuku spawalniczego;
- opcja śledzenia dynamicznego WeldGuide – dzięki pomiarowi impedancji łuku umożliwia realizację procesu spawania z jednoczesną korekcją trajektorii spawania.

Zrobotyzowane stanowiska spawalnicze

– dobór robota i jego wyposażenia

Na rysunku 3 przedstawiono robota z osprzętem spawalniczym. Wśród najważniejszych komponentów należy wymienić:

- sześcioośiowy manipulator umożliwiający realizację zaprogramowanych trajektorii, wyposażony w palnik spawalniczy;
- kontroler robota z Teach Pendantem odpowiedzialny za sterowanie manipulatorem i komunikację z urządzeniami wchodzącymi w skład stanowiska;

- pozycjoner, do którego zadań należy:
 - utrzymywanie detalu podczas procesu spawania,
 - osłona (przed iskrami i odpryskami) operatora mocującego kolejny detal na pozycjonerze,
 - zwiększenie elastyczności dzięki osiom aktywnym (sterowanym przez robota) i umożliwienie realizacji złożonych trajektorii ruchu robota;
- centrum obsługi palnika zapewniające pełną automatyzację procesu spawania;
- podajnik drutu zamontowany na ramieniu robota, którego zadaniem jest dostarczanie drutu z zadaną prędkością do palnika;
- źródło spawalnicze zintegrowane z kontrolerem robota;
- butla z gazem osłonowym (rodzaj gazu zależy od metody spawania oraz właściwości spawanych elementów);
- szpula z drutem;
- podstawa stanowiska integrująca wszystkie elementy komórki spawalniczej;
- podest zapewniający odpowiednią pozycję robota.

Z uwagi na złożoność trajektorii ruchu robota podczas realizacji procesu spawania roboty spawalnicze są maszynami sześćoosiowymi, często wyposażonymi w dodatkowe osie zewnętrzne w postaci pozycjonerów. W stacjach spawalniczych można spotkać jednostki uniwersalne lub manipulatory dedykowane procesowi spawania (rys. 4).

Do głównych cech robotów spawalniczych należy zaliczyć:

- liczbę osi – 6;
- masę manipulatora, ok. 250–300 kg;
- udźwig, ok. 7–20 kg;
- zasięg, ok. 1,6–1,8 m;
- powtarzalność, ok. 0,04 mm;
- możliwość montażu na podłodze, ścianie, pod kątem;
- stopień ochrony IP67.

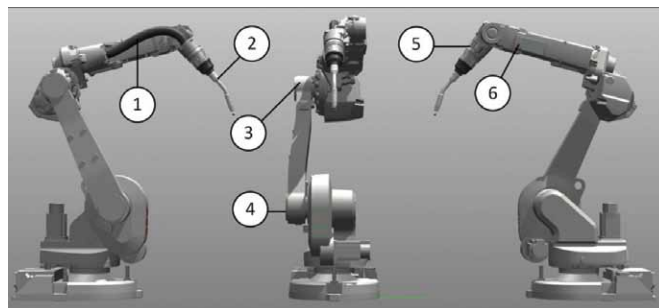
Z uwagi na powszechne stosowanie robotów przemysłowych w aplikacjach spawalniczych oraz konieczność zwiększenia elastyczności całego układu producenci oferują pozycjonery, które są integrowane z robotami. Integratorzy mają do wyboru pozycjonery jedno-, dwu- i trzyosiowe również w postaci dwóch stacji załadowniczych.

Kontrolery robotów spawalniczych są często wyposażane w dodatkowe opcje programowe, których zadaniem jest umożliwienie integracji z osprzętem spawalniczym (np. ze źródłem spawalniczym) oraz wspieranie operatorów podczas tworzenia aplikacji i realizacji procesu technologicznego (np. opcja Production Manager).

Niekorzystnym zjawiskiem procesu spawania są rozbryzgi spoiwa, co powoduje przyleganie gorących cząstek łuku spawalniczego do dyszy palnika. Stopniowe narastanie odprysków w dyszy prowadzi do zablokowania podajnika drutu i zablokowania przepływu gazu ochronnego, uniemożliwiając realizację procesu. Aby zapewnić pełną automatyzację procesu spawania, konieczna jest więc automatyczna obsługa palnika spawalniczego.

Zastosowanie na stanowisku centrum obsługi palnika (ang. TSC – *Torch Service Center*) umożliwia m.in.:

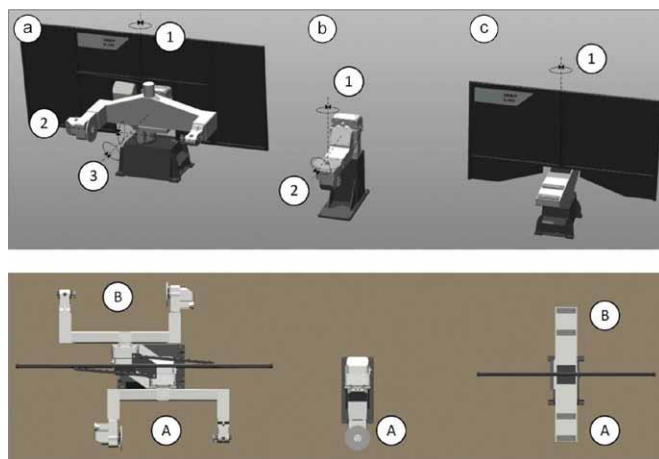
- automatyczne wyznaczenie układu współrzędnych narzędzia (TCP);



Rys. 4. Manipulator robota spawalniczego IRB 1660ID firmy ABB:

1 – wbudowana osłona DressPack do prowadzenia przewodów procesowych; 2 – dedykowany (do robota typu ID) palnik spawalniczy; 3 – przesunięty łokieć (w celu zwiększenia elastyczności i przestrzeni roboczej); 4 – przesunięty bark (w celu zwiększenia elastyczności i przestrzeni roboczej); 5 – odsunięta od dłoni flansza robota; 6 – ramię robota o zmniejszonej średnicy przekroju poprzecznego

(Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)



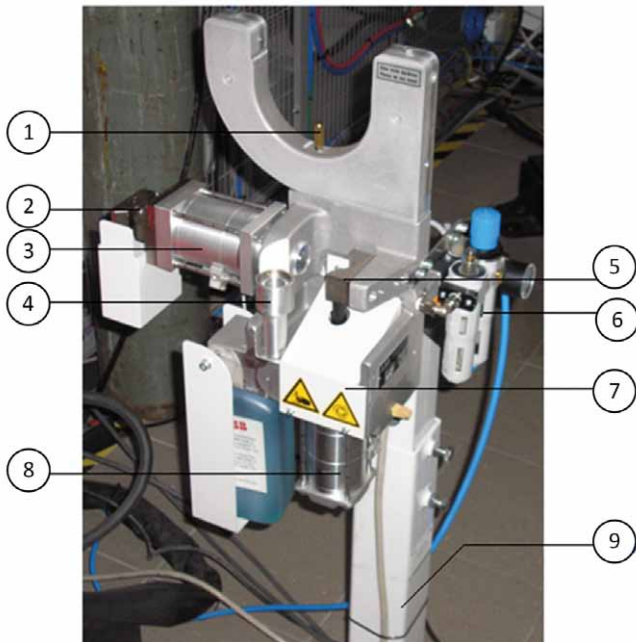
Rys. 5. Wybrane typy pozycjonerów firmy ABB:

a) trzyosiowy pozycjoner IRBP_D300; b) dwuosiowy pozycjoner IRBP_A250; c) jednoosiowy pozycjoner IRBP_C500: 1 – oś pierwsza; 2 – oś druga; 3 – oś trzecia; A – pierwsza stacja załadownicza; B – druga stacja załadownicza

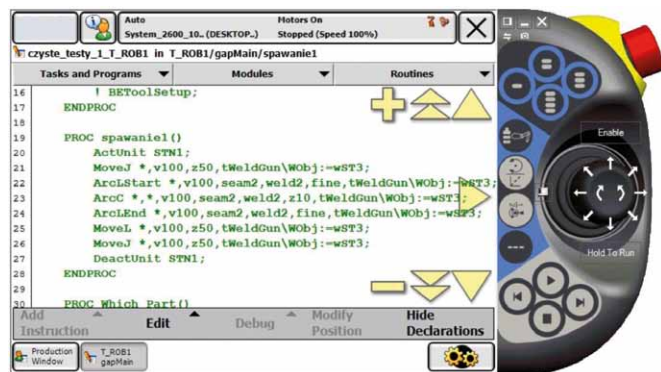
(Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)

- automatyczne czyszczenie dysz pistoletu spawalniczego (mechaniczne z wykorzystaniem frezu i bezdotykowe przez przedmuchiwanie i spryskanie natryskiwaczem środka czyszczącego);
- automatyczne obcinanie drutu (podczas realizacji procesu spawania konieczne jest przycinanie drutu spawalniczego na odpowiednią długość – zwykle 15 mm).
Poprawna integracja TSC z robotem pozwala na realizację procesu czyszczenia palnika w jednej sekwencji, zawierającej mechaniczne i pneumatyczne oczyszczenie oraz wtryskiwanie oleju do dyszy.

W aplikacjach spawalniczych układ współrzędnych narzędzia jest definiowany na końcówce drutu spawalniczego (ok. 15 mm od dyszy palnika). Procedura ręcznego definiowania



Rys. 6. Centrum serwisowania palnika (TSC): 1 - BullsEye do kalibracji układu współrzędnych narzędzia; 2 - obcinacz drutu; 3 - siłownik zaciskowy ustalający położenie palnika podczas frezowania dyszy; 4 - natryskiwacz; 5 - V-blok ustalający położenie palnika podczas frezowania dyszy; 6 - układ pneumatyki z zaworami i jednostką obsługującą; 7 - frez; 8 - napęd frezu; 9 - podstawa TSC



Rys. 7. Ogólny widok FlexPendants z rutyną spawalniczą oraz komenda spawania w ruchu liniowym (język RAPID):

ArcL - komenda ruchu liniowego;

Target10 - punkt, do którego jest wykonywany ruch;

v30 - prędkość ruchu [mm/s];

steam2 - grupa parametrów startu spoiny (może być pobierana automatycznie z programu źródła spawalniczego);

weld3 - grupa parametrów spoiny (może być pobierana automatycznie z programu źródła spawalniczego);

Weave - dana określająca geometrię ruchów pistoletu spawalniczego prostopadłych do kierunku spawania (zakosowanie);

fine - strefa przejścia przez punkt trajektorii;

tWeldGun - aktywne narzędzie (TCP)

TCP zajmuje sporo czasu i zależy od wyszkolenia operatora, dlatego celowa jest automatyzacja tego procesu (zwłaszcza podczas zautomatyzowanej realizacji reszty procesu). Wśród czynników wpływających na błędną definicję TCP można wyróżnić:

- kolizję z obiektem roboczym, na przykład uderzenie robota w uchwyt zaciskowy pozostawiony w złej pozycji;
- niewłaściwie zdefiniowane TCP;
- wymianę palnika;
- wymianę uchwytu spawalniczego.

Automatyzacja funkcji serwisowych przez zaprogramowanie okresowego wykorzystywania funkcji TSC w produkcji wielkoseryjnej eliminuje potrzebę zatrzymywania produkcji i wpływa na skrócenie czasu cykli. Zwiększa to jakość, wydajność i efektywność.

Zautomatyzowana realizacja procesu spawania jest możliwa po zastosowaniu źródła spawalniczego, które można zintegrować programowo z kontrolerem robota. Pełna integracja umożliwia wymianę danych między robotem a źródłem spawalniczym. Do komunikacji obu urządzeń stosuje się protokoły transmisji, na przykład protokół DeviceNet. Przykładowym źródłem jest źródło spawalnicze TransPuls Synergic (TPS) 5000 firmy Fronius, które pozwala na tworzenie programów (jobs) do konkretnych aplikacji spawalniczych. Programy źródła zawierają parametry spawania (np. natężenie prądu), które są automatycznie uwzględniane w stosowanych opcjach komend spawalniczych programu robota.

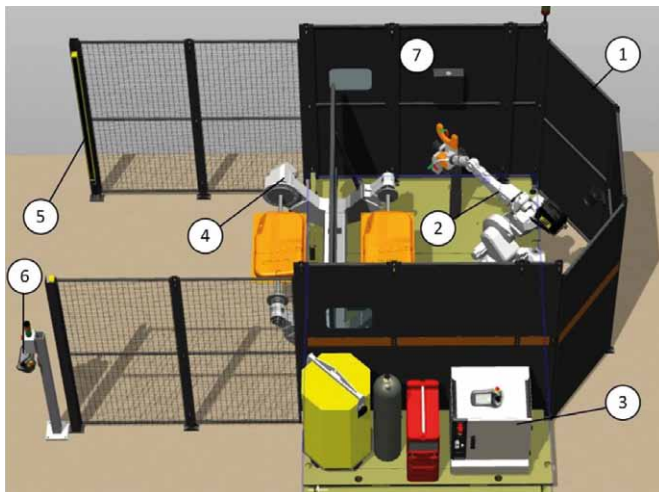
Zrobotyzowane stanowiska spawalnicze

- konfiguracja stacji

Przy projektowaniu zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych należy zwrócić uwagę na:

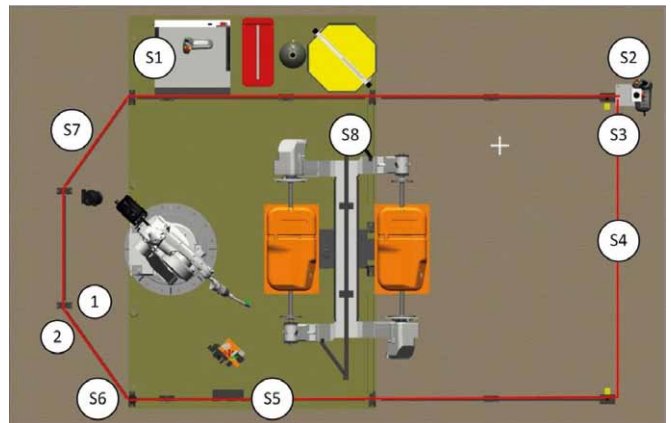
- bezpieczeństwo personelu obsługującego stanowisko oraz pracowników mogących przebywać w sąsiedztwie stanowiska;
- spełnienie wymagań spawania łukowego:
 - zapewnienie ciągłego zapasu drutu spawalniczego, dostarczanego z odpowiednią prędkością,
 - zapewnienie ciągłego zapasu gazu szlachetnego,
 - zapewnienie ciągłego zapasu płynu chłodzenia na potrzeby pistoletu spawalniczego,
 - zapewnienie dokładnego ruchu pistoletu spawalniczego,
 - zagwarantowanie powtarzalności ruchów robota w zakresie 0,04-0,1 mm,
 - zastosowanie elementów stanowiska (w tym czujników) odpornych na wysokie temperatury i lecące iskry,
 - implementację oprogramowania umożliwiającego ruch narzędzia w interpolacji liniowej i kołowej, realizację ruchów oscylacyjnych oraz szeroki zakres prędkości.

W większości przypadków stanowiska spawalnicze są montowane na płycie, która zapewnia dokładne i jednoznaczne rozmieszczenie komponentów stacji (rys. 8). Robot przemysłowy wyposażony w osprzęt spawalniczy jest mocowany na podeście w celu maksymalnego wykorzystania jego przestrzeni roboczej. Do zwiększenia elastyczności stanowiska można zastosować pozycjoner. W stanowisku obok robota opcjonalnie można umiejscowić centrum obsługi palnika. Powinno ono umożliwić wykonanie wszystkich czynności serwisowych. Należy zwrócić uwagę na fakt, że podczas automatycznego wyznaczania TCP



Rys. 8. Zrobotyzowane stanowisko spawalnicze:
1 – ogrodzenie stanowiska; 2 – robot spawalniczy; 3 – kontroler z Teach Pendantem; 4 – pozycjoner; 5 – kurtyna bezpieczeństwa; 6 – panel operatora; 7 – drzwi serwisowe z oknem inspekcyjnym

(Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)



Rys. 9. Elementy bezpieczeństwa zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego: 1 – strefa niebezpieczna; 2 – strefa bezpieczna; S1 – przyciski zatrzymania awaryjnego na kontrolerze robota i Teach Pendancie; S2 – przycisk zatrzymania awaryjnego na panelu operatora; S3 – przycisk żądania wejścia do stacji i potwierdzenia wyjścia ze stacji; S4 – kurtyna bezpieczeństwa; S5 – zamek drzwi serwisowych; S6 – kolumna sygnalizacyjna; S7 – ogrodzenie; S8 – przesłona ochraniająca operatora podczas montażu detalu

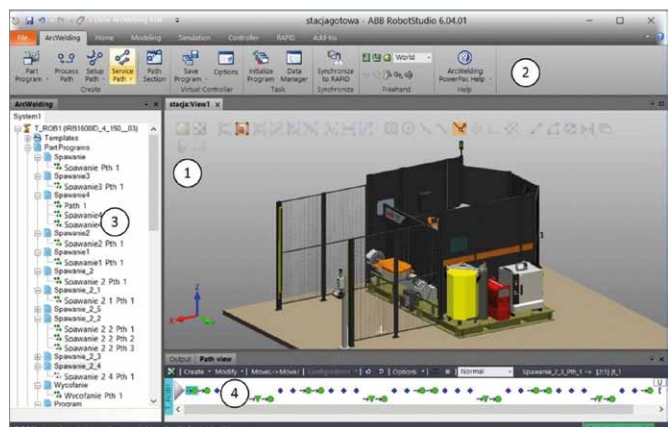
(Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)

robot wykonuje wiele przejść przez TSC z różnych stron i pod różnymi kątami, dlatego konieczne jest zarezerwowanie odpowiedniej przestrzeni. Kontroler robota przemysłowego powinien znajdować się na zewnątrz stanowiska w łatwo dostępnym miejscu, w takiej odległości od robota, aby możliwe było podejście do niego z Teach Pendantem (rozwiązanie takie ułatwia programowanie ścieżek spawalniczych). W łatwo dostępnym miejscu powinny również się znajdować zasobniki mediów spawalniczych (pakiet z drutem oraz butla z gazem osłonowym). Z uwagi na specyfikę procesu ogrodzenie powinno zapewnić osłonę przed ruchomymi mechanizmami oraz jarzeniem się łuku spawalniczego. W ogrodzeniu powinny znajdować się wyposażone w zamek bezpieczeństwa drzwi serwisowe z oknem inspekcyjnym. Pozwoli to na autoryzację wejść (rozłączenie obwodu bezpieczeństwa) oraz monitoring i obsługę pistoletu spawalniczego (przez okno inspekcyjne, bez rozłączania obwodów bezpieczeństwa). W przypadku pracy półautomatycznej stację zabezpiecza się kurtyną bezpieczeństwa, przed którą należy zamieścić panel operatora umożliwiający sterowanie procesem.

Stanowisko powinno być wyposażone w system bezpieczeństwa. Przykładowe elementy systemu przedstawiono na rysunku 9:

- ogrodzenie;
- przesłony zabezpieczające operatora podczas wymiany detali;
- przyciski zatrzymania awaryjnego (*Emergency Stop*);
- przyciski żądania wejścia do wnętrza stanowiska oraz przyciski potwierdzenia wyjścia;
- bariera bezpieczeństwa;
- zamek bezpieczeństwa;
- kolumna sygnalizacyjna.

Przy projektowaniu zrobotyzowanych stanowisk można wspierać się nowoczesnymi środowiskami z modułami dedykowanymi do konkretnych rozwiązań. Na rysunku 10



Rys. 10. Okno RobotStudio z aktywną zakładką ArcWelding:
1 – okno główne; 2 – belka narzędziowa; 3 – drzewo projektu;

4 – okno widoku ścieżki (Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)

przedstawiono okno programu RobotStudio z uruchomionym pakietem ArcWelding PowerPac [II.3].

Bibliografia dostępna pod linkiem:
nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki:
Robotyzacja procesów produkcyjnych
W. Kaczmarek, J. Panasiuk,
Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017