



Projekt zrobotyzowanego stanowiska do spawania kolan rur preizolowanych o różnej średnicy

WOJCIECH KACZMAREK, IRENEUSZ JUŻAK¹

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Systemów Mechatronicznych,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, wkaczmarek@wat.edu.pl
¹EWABIS, 02-233 Warszawa, ul. Serwituty 25, i.juzak@gmail.com

Streszczenie. W artykule przedstawiono projekt zrobotyzowanej komory spawalniczej do produkcji kolan rur preizolowanych. Zaprezentowano możliwości środowiska RobotStudio firmy ABB oraz dwóch pakietów (ArcWelding PowerPack i ScreenMaker), które mogą posłużyć do wspierania programowania robotów przemysłowych tej firmy w procesach spawalniczych. Dzięki ich wykorzystaniu programowanie robotów staje się prostsze oraz istnieje możliwość tworzenia dodatkowych aplikacji znacznie ułatwiających pracę operatorów zautomatyzowanych komór produkcyjnych.

Słowa kluczowe: procesy przemysłowe, roboty przemysłowe, RobotStudio, proces spawania

1. Wstęp

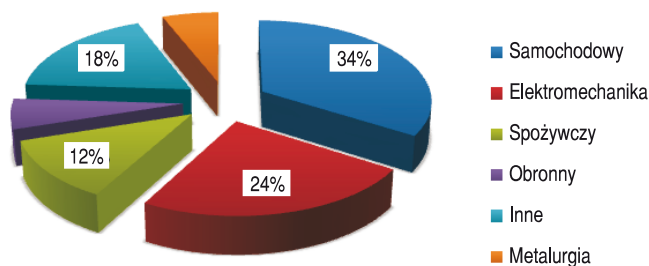
Problem robotyzacji procesu spawania, będący jednym z ważniejszych zagadnień w zastosowaniach robotów przemysłowych, jest niezmiernie trudny ze względu na wysokie wymagania stawiane przed zespawanymi detalami (m.in. wytrzymałość, ciągłość i jednorodność spoiny, wymagany brak przegrzania materiałów spawanych w celu zapewnienia ich najwyższej jakości).

Na liniach montażowych fabryk, zwłaszcza w dziedzinie motoryzacji, roboty spawalnicze udowodniły już swoją przydatność. Lawinowo rozwijająca się technika komputerowa, zwłaszcza w dziedzinie automatyki i robotyki, wskazuje na celowość poszukiwania nowych rozwiązań dla zastosowań przemysłowych. Rozwiązania takie powinny zwiększać możliwości przeprogramowywania robotów przemysłowych, przy jednoczesnym upraszczaniu ich obsługi. Głównym celem takich poszukiwań powinno być zwiększenie wydajności i dochodowości linii produkcyjnych.

Światowe firmy (m.in. ABB, FANUC, Mitsubishi) zaangażowane bezpośrednio w produkcję robotów przemysłowych, zdają się podążać w kierunku oferowania odbiorcom systemów, które są dedykowane poszczególnym procesom technologicznym (np. spawanie łukowe, paletyzacja, cięcie laserem). Objawia się to przez dołączanie do podstawowego oprogramowania specjalistycznych narzędzi (np. firma ABB ma w swojej ofercie m.in. aplikacje: ArcWelding, SpotWelding, DieCasting, Assembly), znacznie ułatwiających programowanie robotów oraz często pozwalających na tworzenie zaawansowanych aplikacji panelowych (np. ScreenMaker firmy ABB), których głównym zadaniem jest uelastycznienie produkcji przez udostępnienie prostego interfejsu dla operatora. Na odpowiednio przygotowanym stanowisku operator, pomimo braku specjalistycznej wiedzy dotyczącej programowania robotów, ma możliwość wprowadzenia zmian w wykonywaniu zrobotyzowanych zadań, co jest znaczące w przypadku produkcji małoseryjnej, w której jeszcze do niedawna zastosowanie robotów było nieopłacalne.

2. Proces spawalniczy w aspekcie jego automatyzacji

Wymagania narzucane współczesnym wytwórcom przez silną konkurencję wymuszają ciągle podnoszenie jakości wyrobów z jednoczesną redukcją kosztów produkcji. Automatyzacja wytwarzania pozwala spełnić te pozornie przeciwstawne sobie wymogi. Roboty zastępują pracowników w wielu żmudnych, męczących i niebezpiecznych czynnościach, pozwalają na efektywne wykorzystanie kwalifikacji i pracy ludzi oraz posiadanego parku maszynowego. Są niezastąpione w aplikacjach, w których kluczową rolę odgrywa wysoka dokładność i powtarzalność. Dodatkowo zmiana profilu produkcji, geometrii wytwarzanych detali, modernizacja stanowiska oraz optymalizacja procesu są stosunkowo proste i nie wymagają dużych nakładów finansowych. Największy udział stanowisk zrobotyzowanych występuje w sektorze samochodowym (rys. 1). Jest to branża, w której w latach 60. XX wieku po raz pierwszy użyto robota przemysłowego. Urządzenie o nazwie Unimate było przeznaczone do przenoszenia ciężkich elementów w odlewni, w fabryce Forda. Roboty

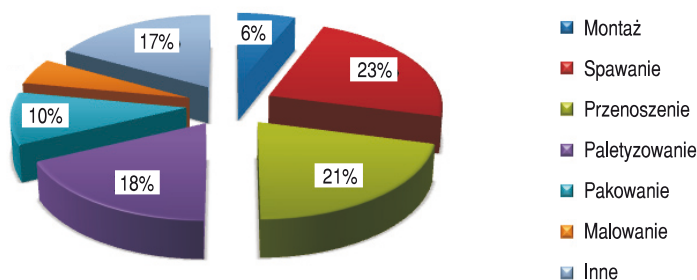


Rys. 1. Główne gałęzie przemysłu, w których wykorzystywane są roboty w Polsce [9]

zainstalowane w montowniach wykorzystuje się głównie do spawania i zgrzewania karoserii, a także do ich lakierowania oraz przenoszenia.

Kolejne miejsca zajmuje sektor elektromechaniczny, gdzie roboty służą przede wszystkim do montażu, obróbki i przenoszenia, oraz spożywczy z aplikacjami paletyzacji, pakowania i sortowania (rys. 2).

Najwięcej zrobotyzowanych stanowisk wykorzystywanych jest do spawania (rys. 2), głównie za sprawą montowni samochodów osobowych, gdzie procesy wytwarzania karoserii zostały praktycznie całkowicie zautomatyzowane. Na drugim miejscu znalazło się przenoszenie, a na trzecim coraz popularniejsze zastosowanie robotów — paletyzowanie. Zastosowanie robotów w aplikacjach spawania daje wiele korzyści. Przede wszystkim zwiększa wydajność produkcji oraz jakość wytwarzanych detali. Spawanie przy użyciu robota jest od dwóch do pięciu razy szybsze od innych metod [9]. Automatyzacja spawania eliminuje konieczność dokonywania poprawek oraz zmniejsza zużycie spoiwa. Robot w trakcie pracy generuje mniej odprysków oraz mniejsze ilości odpadów.

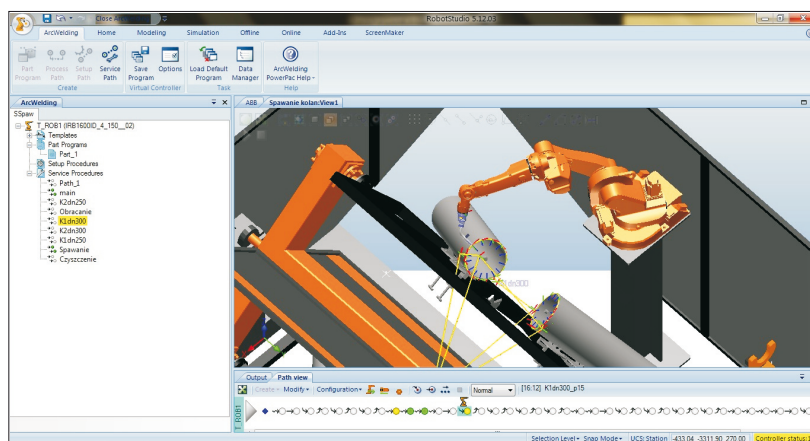


Rys. 2. Najczęściej wykonywane zadania przez roboty przemysłowe w Polsce [9]

Wykonanie spoiny o odpowiedniej jakości wymaga doświadczenia oraz wprawy, dlatego ważnym czynnikiem sprzyjającym zakupowi zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych jest niedobór wykwalifikowanych spawaczy na rynku pracy. Dzieje się to z kilku powodów: praca ta jest męcząca, brudna oraz przebiega często w szkodliwych warunkach. 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 oraz łatwością zabezpieczeń przed korozją. Połączenia spajane są nierozłączne; aby dokonać rozdzielenia spojonych części, trzeba zniszczyć element łączący spoinę. Te i inne zalety połączeń spajanych owocują ich powszechnym wykorzystaniem w tworzeniu konstrukcji i wyrobów w większości dziedzin gospodarki.

3. ArcWelding PowerPack — pakiet wspierający programowanie robotów firmy ABB

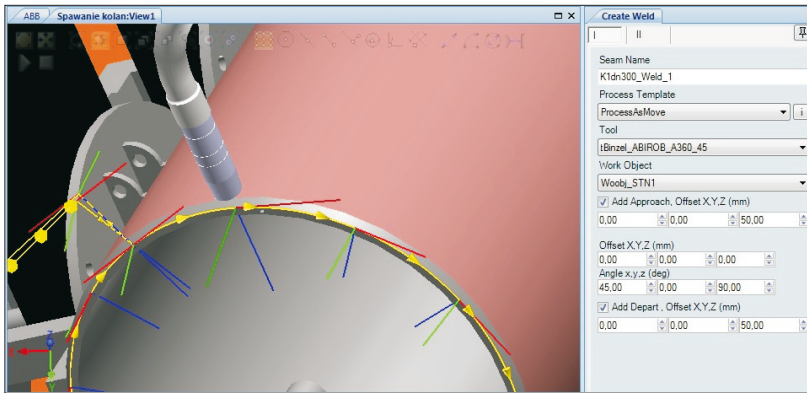
Aplikacją wspomagającą proces projektowania komór spawalniczych oraz ich programowania jest dodatek pakietu RobotStudio — ArcWelding PowerPac (rys. 3). Za pomocą ArcWelding można m.in. określić ścieżki spawania, modyfikować orientację palnika, określić zasięgi oraz w prosty sposób zweryfikować dostępność spoiny i zagrożenie ewentualnych kolizji.



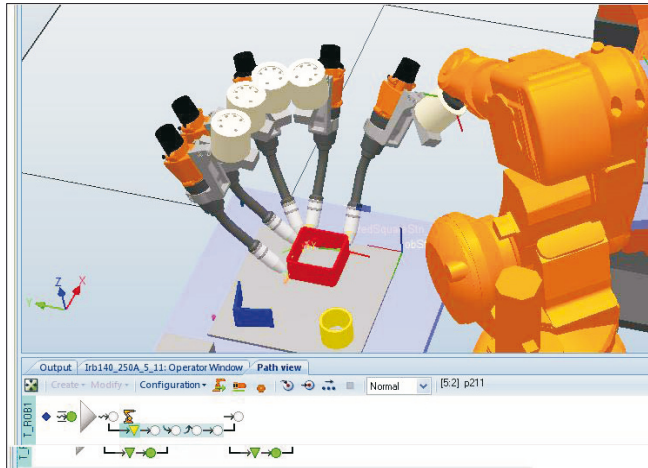
Rys. 3. Główne okno programu ArcWelding PowerPac

W przypadku korzystania z pakietu ArcWelding PowerPack, pierwszym etapem pracy jest wykonanie odpowiednich modeli spawanych detali, przyrządu spawalniczego i wyposażenia stanowiska oraz ustawienia ich w przestrzeni w oknie głównym. Następnie należy określić ścieżki ruchu palnika. Do wyboru są ścieżki liniowe oraz kołowe. Tworząc instrukcję ruchu, wybierane jest używane przez robota narzędzie oraz układ odniesienia. Orientację końcówki spawalniczej można określić względem wybranej powierzchni (rys. 4 — powierzchnia rury), pozwala to na wstępne ustawienie grupy punktów docelowych w żądanej orientacji. Po utworzeniu instrukcji jej poszczególne elementy mogą być w łatwy sposób modyfikowane. Na tym etapie określana jest również konfiguracja osi robota w punktach oraz sposoby przejścia między nimi.

Na rysunku 5 przedstawiono widok wirtualnej komórki spawalniczej w trakcie modyfikacji pozycji palnika. Istotnym udogodnieniem jest możliwość wyświetlenia jego pozycji w każdym punkcie ścieżki. Dzięki temu projektant może na bieżąco ocenić możliwość występowania kolizji. Główną zaletą korzystania z aplikacji jest możliwość szybkiej optymalizacji ruchów robota, co zmniejsza czas cyklu operacji spawania. Wyznaczone ścieżki oraz program sterujący pracą zrobotyzowanej komory



Rys. 4. Zakładka tworzenia instrukcji spawania dodatku ArcWelding PowerPac

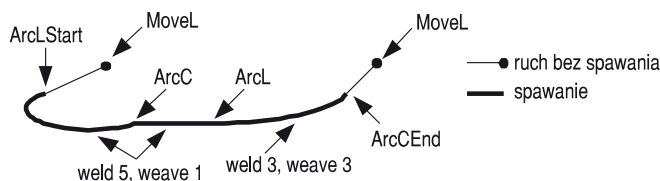


Rys. 5. Modyfikacje ścieżki spawania w dodatku ArcWelding PowerPac

spawalniczej mogą zostać w szybki sposób wysłane do rzeczywistego kontrolera, skracając czas poświęcony na programowanie robota na stanowisku.

4. Wybrane komendy języka RAPID ułatwiającej tworzenie aplikacji spawalniczych

Aplikacje spawalnicze wymagają specjalnych komend oraz struktur danych odpowiedzialnych za sterowanie źródłem prądu spawania. Na rysunku 6 przedstawiono przykładową ścieżkę spawania oraz odpowiednie komendy ją określające. Robot przemieszcza liniowo TCP za pomocą instrukcji MoveL do punktu początkowego spoiny — w końcowej fazie tego ruchu przeprowadzane są czynności



Rys. 6. Widok przykładowej ścieżki spawania

przygotowawcze (*Flying start*). Instrukcja ArcLStart rozpoczyna spawanie po łuku z parametrami opisanymi w strukturach weld5 oraz weave1. Instrukcja ArcL steruje spawaniem w linii prostej. ArcCEnd jest poleceniem zakończenia spawania po łuku z parametrami zapisanymi w strukturach weld3 oraz weave3. Robot oddala TCP od spoiny za pomocą funkcji MoveL.

5. Projekt zrobotyzowanego stanowiska do spawania kolan rur preizolowanych

Rury preizolowane są elementem współczesnych systemów ciepłowniczych, wykorzystywanym do transportu nośnika ciepła pod postacią gorącej wody lub pary. Ze względu na wysokie właściwości izolacyjne oraz prostotę montażu wyparły tradycyjne metody budowy sieci przesyłu ciepła (rys. 7). Rury preizolowane są dostarczane na plac budowy jako kompletny produkt, a tam spawane ze sobą i izolowane w miejscach łączenia. Ze względu na intensywny rozwój budownictwa mieszkaniowego oraz liczne inwestycje publiczne ostatnio znacznie wzrosło zapotrzebowanie na ten produkt.

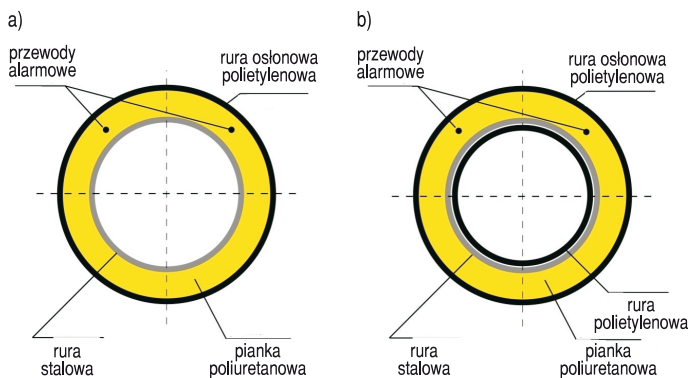
W Polsce zakłady produkujące rury są zautomatyzowane w małym stopniu lub wcale. Dzieje się to z wielu przyczyn, głównym powodem jest małoseryjny



Rys. 7. Ogólny widok gotowych kolan preizolowanych (firma ELZAS-Leszno)

charakter produkcji (różne średnice rur, konieczność wykonywania różnego typu łączników oraz kolan), sezonowość liczby wytwarzanych elementów preizolowanych oraz złożoność procesu preizolacji. W dużych zakładach przemysłowych można spotkać stanowiska częściowo zautomatyzowane, jednak są one najczęściej związane bezpośrednio z produkcją samych rur. Brakuje natomiast stanowisk bezpośrednio związanych z wykonywaniem połączeń (np. kolana i sekcje zaworów).

Elementy preizolowane składają się z rury stalowej przewodowej umieszczonej centrycznie w płaszczu z rury poliuretanowej (rys. 8). Możliwe jest także umieszczanie wielu rur stalowych w pojedynczej izolacji. Wolna przestrzeń wypełniona jest sztywną pianką poliuretanową. Elementy te są wykonywane w systemie zespolonym, tzn. pianka złączona jest z rurą przewodową oraz z płaszczem ochronnym i nazywane są izolacją cieplną. System rurociągu preizolowanego zawiera także m.in. kolana, trójniki, kołnierze oraz zwężki.



Rys. 8. Przekrój rury preizolowanej z instalacją alarmową: a) bez rury wewnętrznej; b) z wewnętrzną rurą polietylenową

W celu zapewnienia niezawodności i bezpieczeństwa pracy sieci preizolowanych, stosowany jest elektroniczny system alarmowy, kontrolujący sieć i wykrywający wszelkie awarie w ich wczesnym stadium. Wytwarzanie rur preizolowanych jest wieloetapowym i złożonym procesem. Po pobraniu rur stalowych i ich oczyszczeniu zostają założone opaski dystansowe podtrzymujące osłonową rurę poliuretanową oraz ewentualnie przewody alarmowe. Całość jest wygrzewana i napełniana pianką poliuretanową pod wysokim ciśnieniem. Wymiary rur preizolowanych, ich wytrzymałość i inne właściwości są regulowane normami. Według normy PN-EN 235:2005 na rury przewodowe powinna być stosowana stal gatunku P235Gh2 zgodnie z normami EN 10216-2, EN 10217-2 lub EN 10217-5. Rury wykorzystywane do produkcji są wykonane z różnych stopów stali takich jak: R35, P235TR1, P235TR2, St 37.0. Średnica rury stalowej powinna być zgodna z normą ENV 10220. Tolerancje zewnętrznej średnicy (dz) rury przewodowej na jej końcach powinny być zgodne z tabelą 1. W celu uniknięcia naprężeń powodowanych różnicą temperatur

i niewspółosiowością, tolerancje średnicy zewnętrznej muszą być mniejsze od podanych w normach EN 10216-2, EN 10217-2 lub EN 10217-5. Nominalna grubość ścianki, T, i masa powinny być zgodne z ENV 10220.

TABELA 1

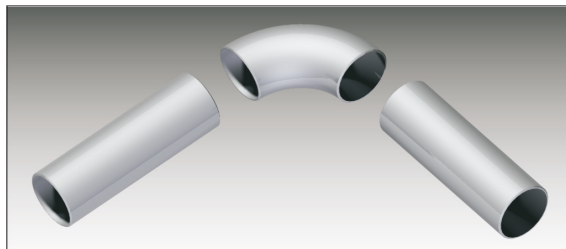
Tolerancja zewnętrznej średnicy dz na końcach rur [7]

Rura ze szwem		Rura bez szwu	
dz [mm]	Tolerancja [mm]	dz [mm]	Tolerancja [mm]
dz ≤ 48,3	+/-0,3	dz ≤ 114,3	+/-0,4
48,3 < dz ≤ 168,3	+/-0,005 dz	114,3 < dz ≤ 219,1	+/-0,005 dz
168,3 < dz ≤ 323,9	+/-1,0	219,1 < dz < 711,0	+/-0,006 dz
323,9 < dz ≤ 1219,0	+/-1,6		

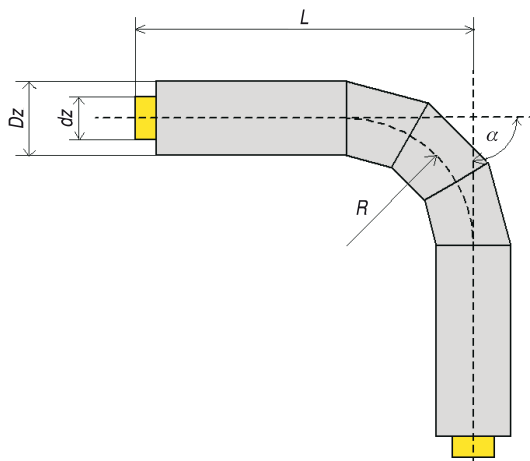
W normie PN-EN 253:2005 określony jest również stan powierzchni rury stalowej, jaki powinna mieć w celu zapewnienia właściwego zespolenia rury przewodowej z izolacją z pianki PUR. Powierzchnia rury przed zaizolowaniem powinna być oczyszczona z oleju, smaru, kurzu, farby, rdzy oraz innych zanieczyszczeń i wilgoci. Przed oczyszczeniem rury jej zewnętrzna powierzchnia powinna odpowiadać stopniom czystości A, B lub C wg ISO 8501-1:1988, bez śladów korozji wżerowej. Proces produkcji staje się bardziej złożony w przypadku elementów łączeniowych, takich jak kolana lub trójniki. Powyższe wyroby przed preizolacji należy zespawać w odpowiedni sposób.

Część przewodowa przeznaczona do preizolacji składa się z kolana hamburskiego typu 3d wykonanego zgodnie z DIN 2605-1 o odpowiednim kącie środkowym oraz dwóch rur przyciętych do odpowiedniej długości (rys. 9). Przed spawaniem krawędzie są oczyszczone oraz odpowiednio fazowane. Na rysunku 10 przedstawiono geometrię kolan preizolowanych.

Kolana występują w sześciu wariantach kąta zgięcia kolana: 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. Proces spawania przeprowadzany jest ręcznie za pomocą automatu



Rys. 9. Model 3D elementów części przewodowej kolana



Rys. 10. Geometria kolana preizolowanego: D_z — średnica zewnętrzna kolana preizolowanego; d_z — średnica zewnętrzna rury przewodowej; R — promień kolana hamburskiego; α — kąt kolana preizolowanego; L — długość kolana preizolowanego

spawalniczego MIG. Elementy przewodowe spinane są centrownikami. Bardzo często w zakładzie nie ma wydzielonego jednego stanowiska do spawania kolan i w zależności od warunków i średnicy nominalnej kolan czynności przeprowadzane są w różnych miejscach.

Spawanie jest czasochłonnym i kluczowym, ze względu na jakość wyrobu finalnego, etapem produkcji kolan, co uzasadnia próbę jego automatyzacji. Główną trudnością w zaproponowaniu racjonalnego ekonomicznie rozwiązania jest fakt wytwarzania kolan w krótkich seriach, które różnią się wymiarami. Rozpiętość średnic nominalnych kolan preizolowanych wynosi od 20 mm do nawet 2000 mm. Jednakże opierając się na analizie produkcji, można stwierdzić, iż wytwarzane są głównie kolana o średnicach nominalnych w przedziale od 40 mm do 300 mm i kącie zgięcia 90 stopni. Zastosowanie zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego pozwoliłoby podnieść jakość produktów, zwiększyć wydajność, poprawić warunki pracy i w efekcie zmniejszyć koszty produkcji. Zawężenie średnic nominalnych rur spawanych na stanowisku zrobotyzowanym do podanego wyżej przedziału jest konieczne ze względu na racjonalność kosztów i jest zgodne z zasadą stosowania automatyzacji w tych przypadkach, w których jest ono korzystne. Pozostałe warianty wymiarów kolan dalej będą spawane ręcznie.

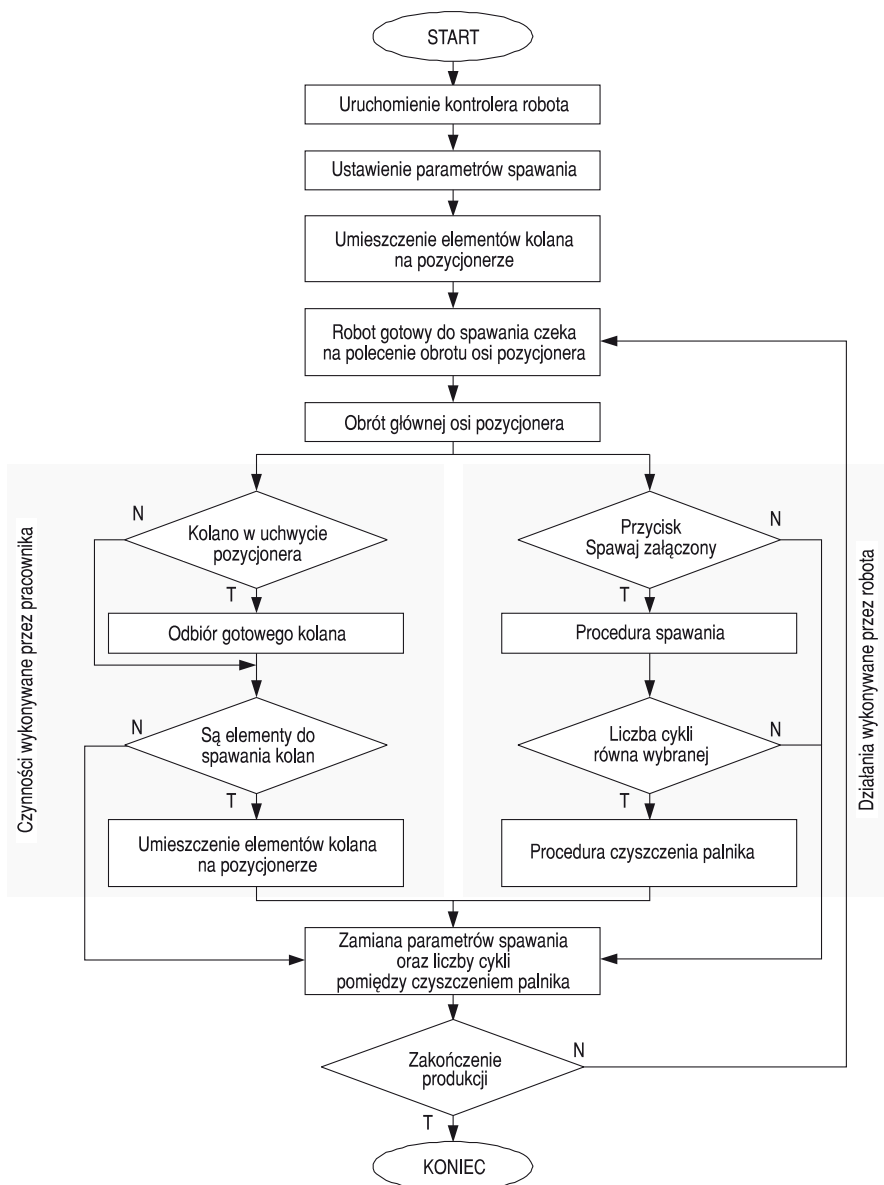
5.1. Koncepcja stanowiska

W pierwszej kolejności określono podstawowe wymagania stawiane aplikacji. Analizując charakter produkcji (w oparciu o potrzeby rynku), opracowano następujące założenia:

- średnice nominalne rur przewodowych kolan wytwarzanych na stanowisku będą zawierać się w przedziale od 40 mm do 300 mm,
- stanowisko będzie przystosowane do spawania kolan we wszystkich wariantach kątów środkowych,
- sterowanie stanowiskiem ma zapewniać szybkie zmiany wariantów produkcji kolan, gdzie jako wariant definiuje się kolano o określonej średnicy nominalnej i kącie,
- opracowany mechaniczny system pozycjonowania i unieruchamiania elementów kolana zwany dalej przyrządem spawalniczym, pozwoli na mocowanie kolan do pozycjonera,
- stanowisko będzie tworzyło zwartą całość,
- stanowisko będzie wyposażone w interfejs operatora, co pozwoli na sterowanie stanowiskiem,
- stanowisko zapewni wymaganą jakość produktów i skróci czas produkcji,
- stanowisko spełni wymagania bezpieczeństwa.

Dokonując analizy ekonomiczno-technicznej, zdecydowano się na projekt stanowiska z wykorzystaniem pozycjonera trzyosiowego oraz jednego robota spawalniczego. Pozycjoner zapewnia możliwość równoległego przeprowadzenia spawania przez robota i instalacji elementów kolana w pozycjonerze, co pozwala wykorzystać w pełni moce produkcyjne robota i obsługi (brak przestojów w spawaniu spowodowanych koniecznością montażu części kolana przed spawaniem i demontażu gotowego kolana po spawaniu). Dodatkowo, pozycjoner stanowi siódmą oś robota, co umożliwi dojdzie pistoletu spawalniczego do spoiny na całym obwodzie spawanych elementów. Część stanowiska została ogrodzona, a personel ma dostęp jedynie do pozycjonera w celu montażu elementów kolana oraz odbioru gotowego wyrobu. W celu ułatwienia obsługi stanowiska, opracowano oprogramowanie, które zapewnia sterowanie i monitoring pracy. Ponieważ charakter pracy przy stanowisku wymaga od pracowników używania grubych rękawic ochronnych, a także ze względu na ergonomię i dbałość o żywotność panelu dotykowego, główne przyciski sterujące zostały zdublowane w formie wytrzymałej i łatwo dostępnej skrzynki sterowniczej, która dodatkowo została wyposażona w czytelną sygnalizację stanu pracy stanowiska. Kontroler robota, automat spawalniczy oraz materiały eksploatacyjne (butla z gazem ochronnym, szpula z drutem spawalniczym) umieszczono poza barierami ochronnymi, tak aby można było wykonywać podstawowe czynności serwisowe w trakcie pracy stanowiska. W celu zwiększenia automatyzacji, stanowisko zawiera stację czyszczącą palnik i przycinającą drut spawalniczy.

Na rysunku 11 przedstawiono algorytm procesu spawania kolan rur przewodowych na zrobotyzowanym stanowisku produkcyjnym. Praca stacji spawalniczej została podzielona na główne procedury, takie jak spawanie, czyszczenie palnika i obrót (rys. 15). Wykonanie procedury spawania, która następuje po każdym obrocie głównej osi pozycjonera, jest uzależnione od włączenia przyciskiem przez



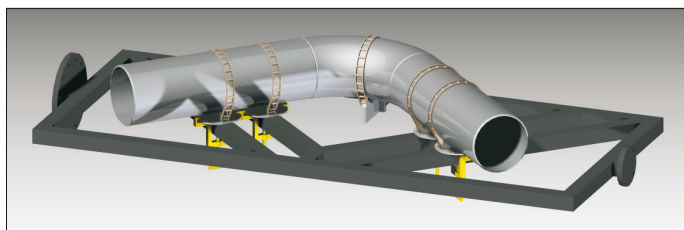
Rys. 11. Algorytm procesu spawania kolan na stanowisku zrobotyzowanym

operatora funkcji spawaj. Umożliwia to odebranie gotowego kolana z przeciwnego przyrządu, kiedy na przyrządzie po stronie operatora nie zostały założone elementy do spawania i po obrocie robot nie miałby co spawać. Zmiana parametrów spawania i wariantu produkcji może się odbyć w dowolnym momencie, jednak jeśli

robot już rozpoczął procedurę spawania, czynność ta będzie przebiegała zgodnie z poprzednimi ustawieniami. Dzięki wykorzystaniu pozycjonera trzyosiowego, operacje przeprowadzane przez robota i operatora mogą być wykonywane jednocześnie. Gdy jeden detal jest spawany, operator odbiera poprzedni, a następnie montuje części kolejnego kolana. Obrót głównej osi pozycjonera możliwy jest po naciśnięciu przycisku na skrzynce sterowniczej. Kontroler umożliwia wykonanie tej operacji tylko wtedy, gdy robot jest w stanie oczekiwania na obrót (świecenie zielonej lampki na skrzynce sterowniczej). Ze względu na charakter procesu, palnik spawalniczy wymaga cyklicznego czyszczenia. Ponieważ poszczególne warianty produkcji różnią się znacznie średnicą nominalną, a co za tym idzie długością spoiny, liczbę spawanych detali, po których czyszczenie jest konieczne, można ustawić za pomocą interfejsu umieszczonego na Flexpendancie. Przedstawiony sposób sterowania jest wygodny dla obsługujących stanowisko pracowników, zapewnia dużą elastyczność i bezpieczeństwo oraz szybkie szkolenie operatorów.

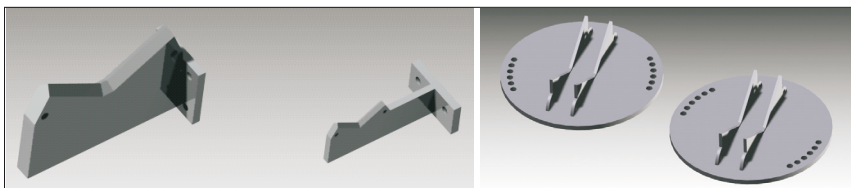
5.2. Projekt uchwytu spawalniczego

Uchwyt spawalniczy jest integralną częścią stanowiska, ma ścisły związek z jego wydajnością oraz prawidłowym przebiegiem procesu. Przyrząd ma przede wszystkim zapewniać stałą pozycję elementów podczas spawania. Jednocześnie jego konstrukcja umożliwia bezkolizyjną pracę robota oraz prawidłowe dojście końcówki spawalniczej do spoiny. Projekt tego urządzenia (rys. 12) uwzględnia powstawanie odkształceń spawalniczych oraz ergonomię i tempo montażu części i demontażu już zespawanych detali. W rozpatrywanym przypadku główną trudnością było dostosowanie przyrządu do detali o dużej rozpiętości gabarytowej. Mimo to zaproponowane rozwiązanie zapewnia uniwersalność, a co za tym idzie minimalizację kosztów.

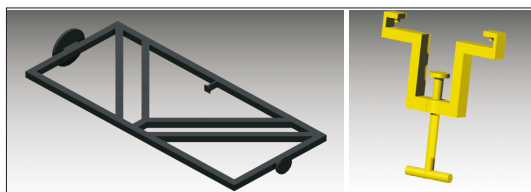


Rys. 12. Ogólny widok uchwytu spawalniczego wraz z zamocowanymi elementami kolana

Uchwyt mocowany jest w osiach pozycjonera IRBP K. Składa się z ramy, klinów centrujących (po dwa na każdą rurę) oraz klina centrującego kolano hamburskie (rys. 13 i rys. 14). Elementy centrujące są mocowane do ramy poprzez ścisaki zapewniające łatwą i szybką regulację położenia. Detale przytwierdzone są łańcuchami



Rys. 13. Ogólne widoki od lewej klinów środkowych centrujące kolano oraz lewego i prawego klina centrującego



Rys. 14. Ogólne widoki od lewej ramy przyrządu spawalniczego oraz ścisku mocującego kliny centrujące do ramy przyrządu spawalniczego

do klinów centrujących. Całość operacji mocowania detali przeprowadzana jest ręcznie przez operatora/operatorów.

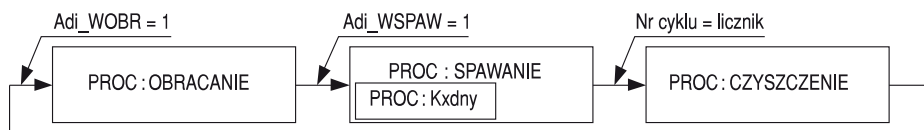
Wszystkie elementy uchwytu spawalniczego zamodelowano w programie SolidEdge. Ich modele zostały wyeksportowane do środowiska RobotStudio w formie plików .sat oraz powiązane z modelami wyposażenia wirtualnej komory spawalniczej w celu przeprowadzenia symulacji.

5.3. Program kontrolera robota

Praca na stanowisku przebiega zgodnie z opracowanym programem. Poszczególne etapy pracy stanowiska zostały zorganizowane w procedury (rys. 15) przechowywane w module CYKL_SPAWANIA. Sterowanie stanowiskiem podzielono na trzy główne procedury:

- spawanie — procedura przeprowadzająca spawanie,
- obracanie — procedura przeprowadzająca obracanie pozycjonerem,
- czyszczenie — procedura przeprowadzania obsługi palnika wykonywana raz na n cykli spawania.

Procedura Spawanie w zależności od zmiennych numerycznych „średnica” oraz „kat” przekazywanych z aplikacji umieszczonej we FlexPendancie za pomocą instrukcji CallByVar wywołuje procedurę, w której zapisana jest ścieżka spawania kolana o wybranej średnicy oraz kącie. Przejście do kolejnych procedur jest warunkowane poleceniami obsługi stanowiska poprzez sygnały wysyłane ze skrzynki sterowniczej oraz aplikację HMI.



Rys. 15. Zależności pomiędzy poszczególnymi procedurami

Sygnały oraz zmienne wykorzystywane w programie:

Ado_GOTOWY — wyjściowy sygnał cyfrowy, sygnalizacja gotowości stacji spawalniczej do wykonania cyklu spawania,

Ado_CZYSC — wyjściowy sygnał cyfrowy, sygnalizacja operacji obsługi palnika w automatycznej stacji czyszczącej,

Ado_SPAW — wyjściowy sygnał cyfrowy, sygnalizacja operacji spawania,

Ado_OBR — wyjściowy sygnał cyfrowy, sygnalizacja procesu obracania pozycjonera wokół osi głównej,

Adi_WSPA — wejściowy sygnał cyfrowy, załączenie procedury spawania, gdy po procedurze obrotu stan sygnału będzie niski, robot nie rozpocznie spawania i wystawi sygnał Ado_GOTOWY,

Adi_WOBR — wejściowy sygnał cyfrowy, załączenie procedury obrotu pozycjonera wokół osi głównej,

Licznik — zmienna typu num, przechowuje częstotliwość operacji obsługi palnika w automatycznej stacji czyszczącej,

Srednica — zmienna typu num, przechowuje wartość średnicy nominalnej spawanego kolana,

Kat — zmienna typu num, przechowuje wartość kąta spawanego kolana,

Nazwa — zmienna typu num, przechowuje wartość używaną do wyboru ścieżki spawania na podstawie funkcji CallByVar. Wartość zmiennej jest wyznaczana na podstawie wzoru: nazwa = srednica + kat.

Programowo zabezpieczono komorę spawalniczą przed ewentualnymi zdarzeniami wynikającymi z nieprawidłowej obsługi. Wymuszenie obrotu pozycjonera przez operatora jest możliwe jedynie wtedy, gdy robot znajduje się w stanie gotowości i nie przeprowadza żadnej operacji. Ze względu na brak możliwości zasymulowania parametrów procesu spawalniczego, w ścieżkach spawania nie zastosowano instrukcji typu „Arc”, a jedynie podstawowe instrukcje ruchu.

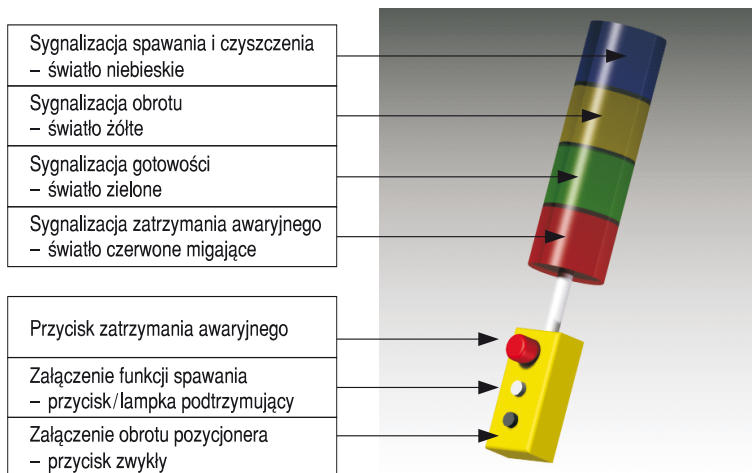
5.4. Sterowanie zrobotyzowaną komorą spawalniczą

Ze względu na specyfikę pracy operatora na stanowisku spawalniczym, sterowanie procesem podzielono na dwa poziomy. Poziom podstawowy polega na przesyłaniu do stanowiska sygnałów cyfrowych wymuszających obrót pozycjonera wokół osi głównej oraz załączenie spawania po obrocie. Ponieważ zmiana wariantu spawania będzie

przeprowadzana rzadziej, operator nie będzie musiał zdejmować rękawic roboczych i specjalnie podchodzić do Flexpendanta, aby wykonać podstawowe czynności.

Na rysunku 16 przedstawiono przykładowy panel sterowniczy z zamocowanym na nim sygnalizatorem modułowym.

Zmiana rodzaju produkowanego kolana oraz okresu pomiędzy obsługą palnika przeprowadzana jest z poziomu aplikacji umieszczonej w Flexpendancie (rys. 17).



Rys. 16. Ogólny widok panelu sterowniczego



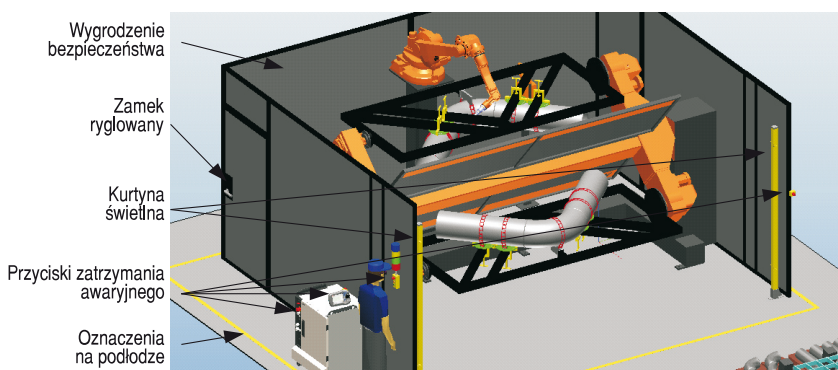
Rys. 17. Okno aplikacji umieszczonej w Flexpendancie

Operator może w każdej chwili zmieniać jedną z trzech wartości: średnicę nominalną spawanego kolana, kąt oraz liczbę spawanych detali między czyszczeniem palnika. Dodatkowo zamieszczona została informacja o statusie pracy komory spawalniczej: tryb automatyczny (kolor zielony) lub manualny (kolor żółty). Interfejs został wykonany w dedykowanym edytorze do tworzenia aplikacji

HMI ScreenMaker firmy ABB. Wartości obiektów zostały powiązane ze zmiennymi zadeklarowanymi poprzednio w odpowiednim module RAPID.

5.5. System bezpieczeństwa

Głównym elementem zabezpieczającym jest wygradzenie bezpieczeństwa jako prosty i skuteczny środek bezpieczeństwa przed wtargnięciem w strefę zasięgu robota spawalniczego (rys. 18). W celu umożliwienia czynności serwisowych, komora wyposażona jest w drzwi zabezpieczone zamkiem ryglującym typu AI. Ponieważ wymagany jest dostęp do pozycjonera, zdecydowano się na zastosowanie kurtyn świetlnych, które będą stanowić zabezpieczenie w trakcie obrotu pozycjonera wokół głównej osi. Wybrano urządzenie GuardShield firmy Allen-Bradley wykonane zgodnie z kategorią 4 bezpieczeństwa.

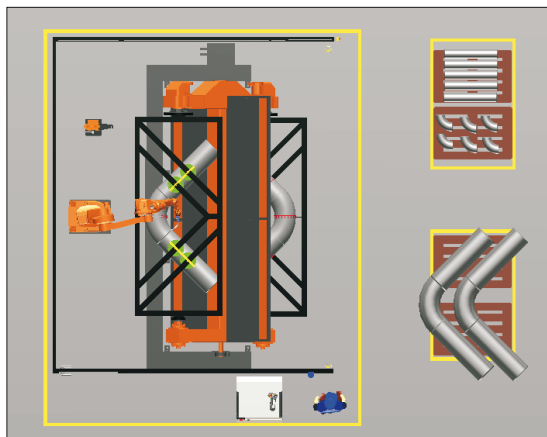


Rys. 18. Ogólny widok systemu bezpieczeństwa zastosowanego na stanowisku

6. Symulacja pracy stanowiska w środowisku RobotStudio

Zaprojektowana komora spawalnicza została zamodelowana w środowisku do programowania robotów w trybie off-line — RobotStudio (RS). Modele robota spawalniczego, pozycjonera oraz stacji czyszczącej TSC zaimportowano z bibliotek środowiska. Elementy uchwytu spawalniczego wykonano w programie SolidEdge, a następnie złożono za pomocą modułu assembly, wyeksportowano do RS w formacie .asm. Korzystając z narzędzi dostępnych w zakładce modelling, rozmieszczono poszczególne elementy wyposażenia stanowiska oraz wykonano dodatkowe wyposażenie, takie jak taśmy oznakowania, palety oraz panele sterownicze (rys. 19).

W programie sterującym robota wykorzystano trzy układy współrzędnych STN1 STN2 oraz INTERCH. Dwa pierwsze (ruchome) są umieszczone w odpowiednich osiach pozycjonera. Układ INTERCH został usytuowany w początku globalnego



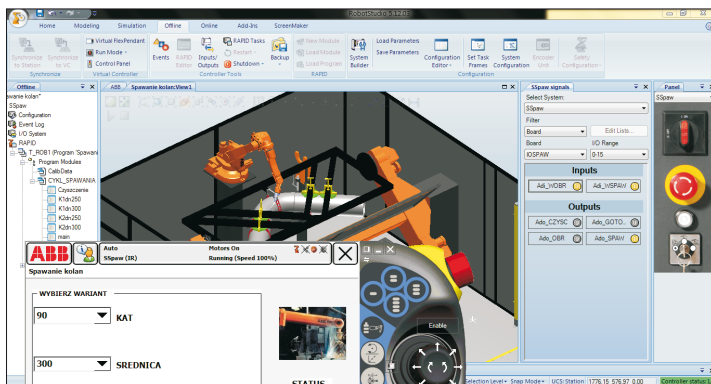
Rys. 19. Ogólny widok stanowiska wykonanego w programie RobotStudio (widok z góry)

układu współrzędnych i wykorzystywany jest do umieszczenia ścieżek serwisowych oraz obrotu osią główną pozycjonera.

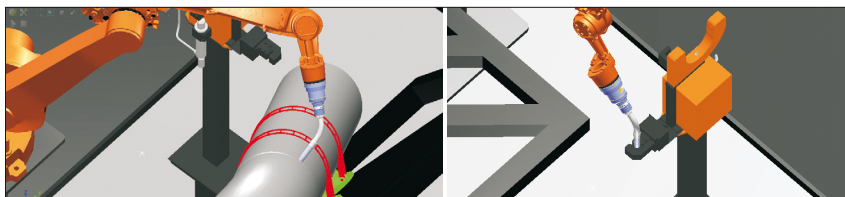
Wykorzystując dodatek ArcWelding PowerPac, określono punkty docelowe robota spawającego i połączono je w ścieżki spawania. Zastosowanie dodatku było niezbędne ze względu na złożony kształt spoiny.

Za pomocą edytora języka RAPID zaprogramowano kontroler robota oraz umieszczono w wirtualnym FlexPencie uprzednio wykonaną za pomocą Screemaker aplikację sterowania komorą spawalniczą. Środowisko RobotStudio umożliwiło przeprowadzenie pełnych symulacji pracy oraz podgląd i analizę sygnałów wyjściowych (rys. 20 i 21).

Na potrzeby symulacji przygotowano kompletne ścieżki spawania dla kolan o kącie 90 stopni oraz średnicach nominalnych 300 mm oraz 250 mm. Przyjęto



Rys. 20. Widok okna Programu RobotStudio podczas przeprowadzania symulacji



Rys. 21. Symulacja spawania kolana

także orientacyjną prędkość spawania 20 mm/s, dla której czas cyklu bez czyszczenia palnika wyniósł 180 sekund.

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia związane z problematyką tworzenia aplikacji spawalniczych na przykładzie procesu spawania kolan do rur preizolowanych. Zaprezentowano kolejność wykonywania działań przy projektowaniu, programowaniu oraz symulowaniu zrobotyzowanych procesów technologicznych. Głównym celem autorów było przedstawienie możliwości tworzenia aplikacji pozwalających na wprowadzanie modyfikacji podczas pracy robotów przemysłowych na liniach technologicznych bez konieczności znajomości specjalistycznych języków programowania (w przedstawionym przypadku języka RAPID) oraz przedstawienie możliwości zrobotyzowania procesu spawania kolan.

Oferta firm produkujących roboty przemysłowe pozwala na zamówienie (u integratorów zautomatyzowanych systemów produkcyjnych) rozwiązań, których jedną z głównych cech będzie elastyczność. W omawianym przypadku jest to możliwość obsługi zrobotyzowanego stanowiska przez operatora, którego głównymi zadaniami są: zamocowanie elementów kolana na pozycjonerze, uruchamianie procesu spawania, zdjęcie zespanego detalu, w przypadku zmiany średnicy produkowanych kolan proste przeprogramowanie robota do nowych wymagań.

Obecnie, przy rosnącej konkurencji, producenci różnego typu asortymentu muszą liczyć się z tym, iż zmiany w produkcji są nieodzownym elementem utrzymania się w branży. Są one podyktowane wieloma czynnikami (m.in. zastosowanie nowych materiałów, z których wykonywane są produkty, nowe wzory produkowanego asortymentu). Konieczne jest więc rozwijanie aplikacji, które pozwalają inżynierom na elastyczne przygotowanie produkcji.

W artykule nie przedstawiono obszaru problematyki związanej bezpośrednio z analizą samego procesu spawania. Samodzielne stanowisko spawalnicze dopiero po przeprowadzeniu testów na rzeczywistych detalach oraz poprawieniu wykonanych uprzednio ścieżek spawania w trybie off-line może zostać uznane za ukończone. Przykład ten pokazuje potrzebę ścisłej współpracy pomiędzy inżynierami robotykami

i doświadczonymi technologami automatyzowanego procesu. Na etapie projektowania off-line zostały jednak wzięte pod uwagę podstawowe zasady spawania obwodowego. W celu uniknięcia zniekształceń robot spawa ścieżki w odwrotnych kierunkach, co eliminuje odkształcenia. Aby zmniejszyć czas wykonania cyklu robota, nie jest przewidziane wykonywanie spoin szczepnych, a wszelkie zmiany kształtu są brane pod uwagę podczas blokowania elementów kolana w przyrządzie spawalniczym.

Artykuł wpłynął do redakcji 13.01.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w lutym 2011 r.

LITERATURA

- [1] K. FERENC, *Spawalnictwo*, WNT, Warszawa, 2007.
- [2] W. KACZMAREK, *Elementy Robotyki Przemysłowej*, Wojskowa Akademia Techniczna, 2008.
- [3] G. KAZIMIERCZAK, B. PACULA, A. BUDZYŃSKI, *Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania*, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2004.
- [4] M. KIENIEWICZ, A. SYRYCZYŃSKI, Ł. ZAKRZEWSKI, *Robotyzacja spawania dużych elementów*, PAR, 4, 2009.
- [5] A. KLIMPEL, *Spawanie, zgrzewanie i cięcie metali*, WNT, Warszawa, 1999.
- [6] Norma EN 10217-2.
- [7] Norma ENV 10220.
- [8] Norma EN 10216-2.
- [9] R. ZDANOWICZ, *Robotyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2009.
- [10] *Arc and Arc Sensor — Application Manual*, Rev. F, ABB.
- [11] *Arc Welding Power Pac — Operating Manual*, ABB.
- [12] Katalog komponentów automatyki przemysłowej OEM AUTOMATIC.
- [13] Katalog Techniczny — TASTA Armatura Sp. z o.o.
- [14] Katalog wyrobów — Producent rur preizolowanych „ELZAS”.
- [15] *Wybór i wprowadzenie zrobotyzowanych systemów*, SMT Systeme GmbH & Co. KG, 2009.
- [16] Materiały promocyjne firmy ABB.
- [17] Materiały promocyjne firmy Abicor Binzel.
- [18] Materiały promocyjne firmy Esab.
- [19] Materiały promocyjne firmy PIAP.

W. KACZMAREK, I. JUŻAK

A project of industrial robot application for welding process of elbows of various-diameter pre-insulated pipes

Abstract. In this paper, the project of application for supporting a welding process was presented. The authors touched a very important problem of creating applications. Using professional environment, (e.g. RobotStudio) which is equipped with special packets (ArcWelding PowerPack and ScreenMaker) improves the possibilities of RobotStudio environment.

Keywords: industrial processes, industrial robots, RobotStudio, welding process

