

Zrobotyzowane stanowisko spawalnicze wykorzystujące technologię CMT na przykładzie aplikacji dla firmy Meden-Inmed w Koszalinie

▶ Mateusz Kieniewicz
Jan Olczak
Andrzej Syrczyński

Jednym z ważnych zadań Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów jest wprowadzanie w krajowym przemyśle najnowszych technologii i rozwiązań technicznych. Ostatnio Instytut, jako pierwszy w kraju, opracował i wdrożył zrobotyzowane stanowisko spawalnicze stosujące technologię CMT (*Cold Metal Transfer*). Nowa technologia zasadniczo podnosi jakość i dokładność spawów, szczególnie precyzyjnych wąskich spoiw, łączących cienkie blachy czy profile. W artykule omówiono aplikację zestawu urządzeń CMT powiązanych z robotem, zastosowaną do spawania asortymentu stołów terapeutycznych.

PIAP opracował i wdrożył zrobotyzowane stanowisko spawania typoszeregu ram stołów terapeutycznych do masażu leczniczego, produkowanych przez firmę Meden-Inmed Sp. z o.o. z Koszalina. Firma ta jest znanym producentem szerokiego asortymentu urządzeń medycznych. Aplikację zrealizowano w 2008 r., a pełną wydajność stanowisko osiągnęło w pierwszym kwartale 2009 r.

Głównym celem robotyzacji procesu było uzyskanie najwyższej jakości spawania, tak by ramy stołów spełniały bardzo wysokie wymagania dotyczące poziomu dokładności, powtarzalności wykonania i estetyki, stawiane obecnie urządzeniom medycznym, bez stosowania obróbki wykańczającej po spawaniu. Ramy stołów o długości do 2000 mm można zaliczyć do wyrobów wielkogabarytowych. Wymaganą dokładność wymiarów gotowych ram zamawiający ustalił na poziomie $\pm 0,2$ mm, dopuszczając wyjątkowo, w najtrudniejszych miejscach, dokładność nie gorszą niż $\pm 0,5$ mm. Drugim istotnym celem robotyzacji było zwiększenie wydajności.



Ilustr. 1. Ogólny widok stanowiska

▶ inż. Mateusz Kieniewicz, mgr inż. Jan Olczak
dr inż. Andrzej Syrczyński – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

W artykule podane są krótkie informacje o technologii CMT i systemie firmy Fronius, w tym spawarce CMT i współpracujących z nią urządzeniach. Dalej omawiane są rozwiązania struktury stanowiska, jak też dobór składników sprzętowych, zarówno urządzeń systemu CMT jak i pozostałych składników stanowiska. Przyjęte rozwiązania pozwoliły efektywnie wprowadzić nową technologię i w efekcie spełnić postawione wymagania zarówno co do jakości jak i wydajności. Na ilustr. 1. pokazano ogólny widok stanowiska.

Technologia spawania CMT

CMT jest skrótem nazwy procesu spawalniczego *Cold Metal Transfer* (przejście zimnego metalu), po raz pierwszy zaprezentowanego na Międzynarodowych Targach Schweissen und Schneiden (Essen, 2005) przez austriacką firmę Fronius International GmbH, wyznaczającą nowe kierunki rozwoju technologii i urządzeń spawalniczych na świecie.

W stosowanej dotychczas szeroko metodzie MIG/MAG do pewnego odrywania się kropli metalu konieczny jest płynący ciągle prąd o dużej wartości, co może powodować nadmierne nagrzewanie okolicy spawu, prowadzące do deformacji, a także silne iskrzenie, połączone ze znaczną emisją zanieczyszczeń. Istotą metody CMT jest zmiana sposobu podawania drutu spawalniczego i regulacji prądu. Druk jest nie tylko podawany naprzód, do jeziora ciekłego metalu, lecz jest także cyklicznie wycyfowany. Najistotniejszym wyróżnikiem procesu staje się drgający ruch spoiwa.

W szybko działającej pętli sprzężenia zwrotnego pracują: układ pomiarowy i analizy prędkości podawania i cofania drutu, regulator mikrokomputerowy oraz serwonapęd prądu przemiennego znajdujący się w uchwycie spawalniczym. Tak zestawiony układ sterowania spawarki realizuje proces CMT poprzez bardzo szybkie zmiany prędkości i kierunku podawania drutu. Te ruchy naprzód/wstecz osiągają częstotliwości do 70 Hz. Chwilowe wartości przyspieszeń drutu w urządzeniach

CMT są ok. 130 razy większe niż w metodzie MIG/MAG. Wprowadzono również szybką regulację prądu spawania. O wiele szybsza regulacja pozwala bardziej precyzyjnie utrzymywać dynamiczną równowagę wszystkich parametrów procesu. Spawanie odbywa się przy mniejszych wartościach prądu, napięcia i mocy, przy czym wartości zadane są dokładnie utrzymywane. Zmniejszeniu ulega strefa wpływu ciepła, mniejsze są odkształcenia spawanych materiałów, poprawia się geometria spoiny, w konsekwencji zwiększa się dokładność wykonania spoiny. Ponieważ proces jest o wiele bliższy optymalnego, można bezpiecznie zwiększyć liniową prędkość spawania, nawet do wartości 2-3 m/min. Szybka i precyzyjna regulacja prądu wielokrotnie zmniejsza iskrzenie i odpryski spawalnicze. Także proces zajarzania łuku został udoskonalony: praktycznie zlikwidowano odpryski w tej fazie, a czas zajarzania zmniejszono dwukrotnie.

Najważniejsze zastosowania technologii CMT obejmują spawanie cienkich elementów, np. spawanie cienkich blach o grubości nawet 0,5 mm, łączenie ze sobą elementów stalowych i aluminiowych oraz lutowanie bezodpryskowe. W wielu zastosowaniach jakość spoiny jest tak wysoka, że zbędne staje się oczyszczanie i szlifowanie po spawaniu.

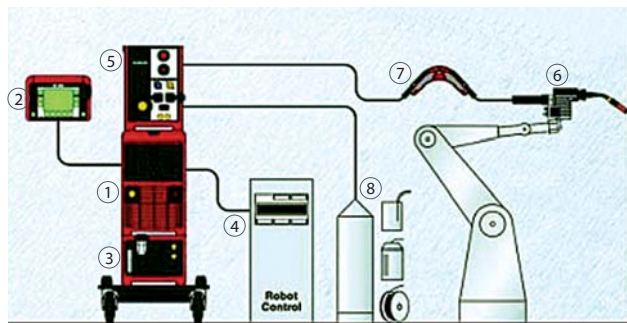
Konfiguracja systemu CMT

Konfigurację systemu spawania do omawianej aplikacji oraz dobór urządzeń przeprowadzono we współpracy z przedstawicielstwem firmy Fronius – Centrum Handlowym SUPRA ELCO, z siedzibą w Warszawie. Specyfikacja podstawowych spośród dobranych urządzeń i ich zadania są omawiane poniżej, przy wykorzystaniu ogólnego schematu funkcjonalnego z ilustr. 2, pochodzącego z materiałów promocyjnych Fronius. W opisie zachowano numerację składników podaną na schemacie:

1. spawarka pulsacyjna, serii TPS CMT, stanowiąca urządzenie przekształtnikowe, całkowicie zdigitalizowane, ze sterowaniem mikrokomputerowym. Uwzględniając specyfikę procesu spawania ram ustalono konieczne wartości prądu i mocy spawarki. Na tej podstawie została wybrana spawarka typu TransPuls Synergic TPS 4000 CMT.

Podstawowe parametry urządzenia:

- zasilanie trójfazowe	3 × 380–460 V
- moc pobierana	10,6–12,4 kVA
- sprawność	88–91 %



Ilustr. 2. Schemat funkcjonalny systemu CMT

- zakres prądu spawania 3–400 A
 - prąd spawania w warunkach cyklu 10 min/40°C, 50 % 400 A
 - napięcie robocze 14,2–34 V
2. pulpit zdalnego sterowania spawarki, typu RCU 5000i, z wyświetlaczem tekstowym i rozwijanym menu. Pulpit monitoruje dane procesu spawania oraz umożliwia operatorowi pełną kontrolę parametrów
 3. chłodnica płynowa, typu FK 4000-R FC, o mocy przenoszonej do 2000 W
 4. interfejs robota
 5. podajnik drutu, typu VR 7000-CMT MO/K, sterowany cyfrowo, dostosowany do wszystkich typów drutów spawalniczych spotykanych na rynku, zapewnia wysoką dokładność i powtarzalność nastaw prędkości podawania drutu
 6. uchwyt spawalniczy (głowica) z jednostką napędową, typu Robacta Drive CMT (ilustr. 3). Głowica mocowana złączem antykolizyjnym na ramieniu robota realizuje precyzyjny vibracyjny proces wydawania drutu. Głównym elementem głowicy jest silnik asynchroniczny prądu przemiennego, bezprzekładniowy, sterowany cyfrowo. Ponadto na głowicy jest zamontowany palnik spawalniczy Fronius
 7. bufor drutu, odspręża mechanicznie długie odcinki drutu oraz zawiera dodatkowy magazyn drutu, kompensujący wahania szybkości poboru. Bufor jest zamocowany na wieszaku przy robocie
 8. handlowy pojemnik drutu.



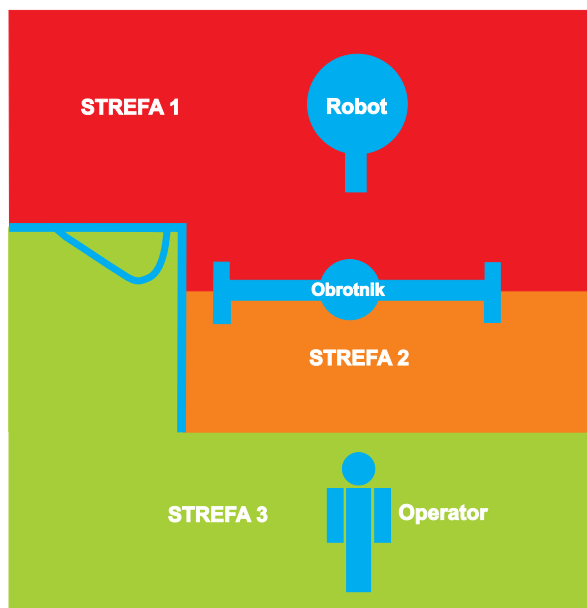
Ilustr. 3. Głowica Robacta Drive CMT

Funkcjonalność i struktura stanowiska

Jako główne założenia projektu stanowiska przyjęto:

- zastosowanie technologii spawania CMT, w celu uzyskania wysokiej jakości i dokładności
- maksymalne wykorzystanie czasu pracy robota i spawarki i przez to zbliżenie się do warunków pracy ciągłej
- całkowite wyodrębnienie i rozdzielenie trzech stref bezpieczeństwa: (1) pracy robota, (2) czynności załadowniczych i (3) strefy bezpiecznej.

Celem łącznego rozwiązania problemów wydajności i bezpieczeństwa zastosowano obrotnik wieloosiowy (pozycjoner) o wysokiej powtarzalności położeń. Zapewniło to z jednej strony możliwość optymalnego wykorzystania czasu pracy robota. W przybliżeniu można przyjąć, że czas spawania przez robota jest zbliżony do czasu manualnych czynności załadowniczych. Wtedy jedyną przerwę między okresami ciągłej pracy robota występują w toku wykonywania obrotów osi pionowej i poziomej obrotownika. Z drugiej strony kurtyna na obrotniku



Ilustr. 4. Podział stanowiska na strefy bezpieczeństwa

skutecznie rozdzieliła strefy pracy. Trzy strefy na które podzielono stanowisko są rozróżnione kolorami na ilustr. 4:

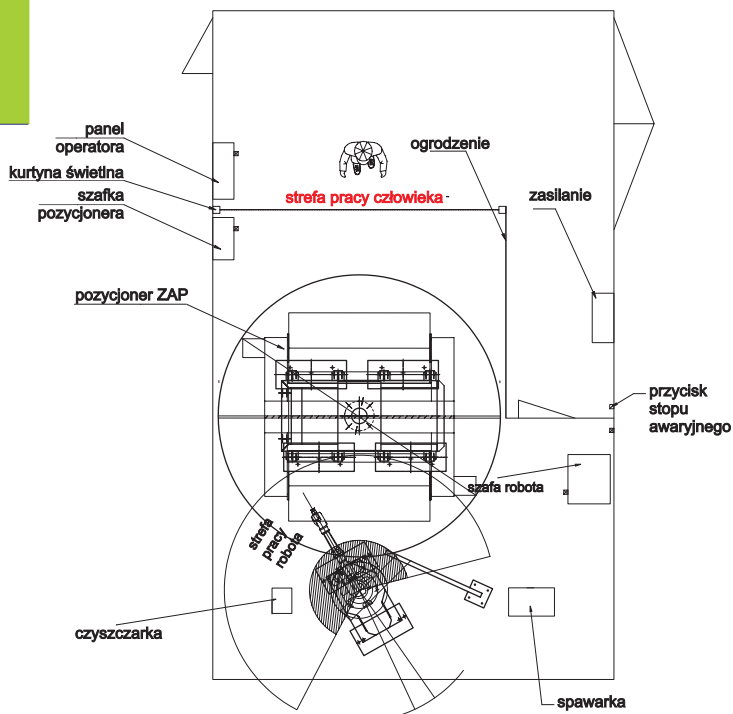
- (1) Strefa pracy robota, niedostępna dla personelu w toku pracy automatycznej, w której jest zamknięty proces spawania. W strefie (1) występuje większość czynników niebezpiecznych bądź szkodliwych dla ludzi, a więc ruchy osi robota o dużym zasięgu i wysokiej prędkości kątowej, promieniowania łuku, iskry i wypryski metalu, zadyminienie. Strefa pracy robota jest oddzielona od strefy (2) obrotową metalową kurtyną (ilustr. 5) zamocowaną centralnie w osi obrotownika, uzupełnioną nieruchomymi ściankami, ustawionymi poniżej kurtyny. Na czas ruchów obrotownika robot jest zatrzymywany w pozycji bezpiecznej, z ramieniem cofniętym poza skrajnię ruchów obrotownika z kurtyną.
- (2) Strefa czynności załadowczych, w której obsługa uwalnia zaciski na pospawanej ramie stołu i transportuje ramę poza drugą strefę, a następnie wprowadza do drugiej strefy



Ilustr. 5. Strefa (2) stanowiska

elementy następnej ramy, układa je na przyrządzie spawalniczym i mocuje za pomocą zacisków. Strefa (2) ma zmienny status bezpieczeństwa, bowiem okresowo występuje w niej poważne zagrożenie życia i zdrowia, wprowadzane ruchami obrotownika. Przed uruchomieniem obrotownika pracownicy muszą opuścić strefę (2), znaleźć się na zewnątrz kurtyny świetlnej, rozgraniczającej strefy (2) i (3). Kurtyna świetlna jest uaktywniana na czas ruchów obrotownika i jej naruszenie w tym okresie zatrzymuje napędy.

- (3) Strefa bezpieczna (operatora), przeznaczona dla stałego dozoru pracy stanowiska przez operatora, jest także miejscem zewnętrznych czynności transportowych.



Ilustr. 6. Konfiguracja stanowiska

Rozmieszczenie urządzeń stanowiska zostało przedstawione na ilustr. 6. W strefie (1) jest zainstalowany robot, w zasięgu jego ramienia znajduje się jedna strona obrotownika ze spawaną ramą oraz czyszczarka, natomiast w pobliżu robota lecz poza zasięgiem roboczym umieszczono zestaw spawarki Fronius wraz z chłodnicą i podajnikiem drutu. W strefie (1) zainstalowano także szafę sterującą robota. W strefie (2) znajduje się druga strona obrotownika, na której są prowadzone ręczne prace przygotowawcze. Pozostałe urządzenia, to jest panel operatora, szafka sterująca obrotownika i zespół zasilania zostały umieszczone w strefie (3), gdyż te elementy muszą być stale dostępne dla personelu obsługującego.

Po zakończeniu niezależnie biegnących czynności w obu strefach chronionych, pierwszej i drugiej, co robot sygnalizuje automatycznie w momencie zakończenia realizacji programu spawania, a operator sygnalizuje odpowiednim przyciskiem po wyjściu pracowników ze strefy (2) do strefy (3), oś pionowa obrotownika jest obracana o 180°. Wykonanie tego obrotu zamienia

funkcje dwóch osi poziomych obrotnika i rozpoczyna nowy cykl pracy stanowiska. Tak zrealizowana konfiguracja stanowiska umożliwi jego elastyczne wykorzystanie. Jeżeli w danym okresie stanowisko ma spawać pary ram do stołów terapeutycznych, to jest ramę dolną i ramę górną, wtedy na obu stronach obrotnika montuje się różne przyrządy spawalnicze. Natomiast jeżeli potrzebne jest spawanie dużych serii identycznych wyrobów, to po obu stronach obrotnika, czyli na obu osiach poziomych, można zamontować identyczne przyrządy spawalnicze.

Dobór pozostałych składników stanowiska

Uwzględniając maksymalne wymiary spawanych ram, wynoszące 1900×900 mm, wybrano robot spawalniczy firmy KUKA, typu KR16 L6 ARC, o udźwigu 6 kg plus 10 kg wyposażenia oraz zasięgu 1911 mm.

Jako urządzenie manipulacyjne zastosowano trzyosowy obrotnik (pozycjoner obrotowy) typu PH-2-100/4 produkcji firmy ZAP-Robotyka Ostrów Wielkopolski, specjalnie zmodyfikowany do omawianej aplikacji. Po modyfikacji osiągnięto następujące parametry:

- główna oś, pionowa, napędzana siłownikiem pneumatycznym, o kącie obrotu 180° i czasie obrotu 8 s
- dwa stanowiska robocze, o osiach poziomych, z napędami elektrycznymi sterowanymi cyfrowo, z 5 pozycjami zatrzymania
- masa przedmiotu obrabianego, wraz z oprzyrządowaniem (na każdym ze stanowisk roboczych) do 150 kg
- maksymalne wymiary każdego ze stanowisk roboczych (czyli maksymalne wymiary przyrządów spawalniczych) 2000 × 1000 mm
- powtarzalność pozycjonowania ±0,15 mm.

W toku wdrożenia potwierdzono spełnienie powyższych parametrów, a kinematyka i dokładność pozycjonowania odpowiadają wszystkim wymaganiom funkcjonalnym stanowiska.

Na dwóch stanowiskach roboczych obrotnika, wyposażonych w osie poziome, zamontowano dwa przyrządy spawalnicze, o znacznym stopniu uniwersalności, zaprojektowane i wykonane przez PIAP. Pozwalają one spawać wiele typów ram. Najczęściej stanowisko jest wy-



Ilustr. 7. Rama po spawaniu, zamocowana na przyrządzie

korzystywane do spawania dolnej i górnej ramy danego typu stołu terapeutycznego. W toku ręcznego przygotowania ramy do spawania poszczególne części są mocowane wzajemnie i do przyrządu licznymi zaciskami firm RAIS i CLOOS. Na ilustr. 7 przedstawiono zespaną ramę stołu umieszczoną na przyrządzie spawalniczym. Stanowisko jest sterowane przez sterownik PLC firmy Mitsubishi typu FX3u-48M, zaś bezpieczną koordynację pracy robota, ruchów pozycjonera oraz czynności pracowników zapewnia programowalny przełącznik bezpieczeństwa firmy PILZ typu PNOZ m0p. Te najnowocześniejsze urządzenia wyróżniają się wysokim stopniem integracji. Dwie niewielkie skrzynki naścienne zastąpiły trzy szafy wypełnione tradycyjną aparaturą. Interfejs między sterownikiem PLC a układem sterowania robota pracuje za pomocą sygnałów cyfrowych dołączonych do zacisków wejść-wyjść robota. Natomiast interfejs użytkownika zrealizowano na panelu PRO-FACE, z terminalem dotykowym typu AGP 35000-T 1-D24.

Przebieg wdrożenia i osiągnięte rezultaty

Wdrożenie stanowiska przebiegało pomyślnie, głównie dzięki bardzo dobremu przygotowaniu przez zamawiającego otoczenia i okablowania obiektowego. Końcowe odbiory przeprowadzono w grudniu 2008 r., produkcja ruszyła od 20 stycznia 2009 r. Stopniowo w okresie I kwartału osiągnięto zamierzoną wysoką wydajność. Zmierzona szybkość spawania wynosi 1 m/min, przy szerokości spoin 2 mm, przy czym ramy są spawane z profili stalowych o grubości ścianek 1,5–2 mm.

Na stanowisku wykonywane są automatycznie wszystkie spawy. Spawanie ramy stołu dzieli się na dwa etapy, pierwsze są kładzione spoiny od góry, następnie oś pozioma pozycjonera obraca przyrząd spawalniczy z ramą stołu o 180° i są kładzione spoiny po dolnej stronie ramy. Czas spawania ramy od strony górnej wynosi 7 min, odpowiednio od strony dolnej 11 min.

Dzięki robotyzacji nastąpiło zwiększenie wydajności procesu spawania. Znaczne poprawienie wydajności procesu przygotowania do spawania przyniosły oryginalne rozwiązania przyrządów spawalniczych, skonstruowanych w PIAP. Obecnie zamiast dwóch monterów i jednego spawacza wystarcza jeden pracownik. Jednak nadal ograniczeniem wydajności stanowiska jest czas przygotowania, który trwa dłużej niż spawanie.

Przy ocenie stanowiska użytkownicy podkreślają uzyskaną wysoką jakość i estetykę spoin. Dotyczy to szczególnie krótkich spoin. Sprawdzianem było uzyskanie identyczności i powtarzalności ośmiu krótkich spoin, długości po ok. 3 cm, blisko siebie położonych. Zgodnie z założeniem technologicznym ramy po spawaniu nie są szlifowane, przed lakierowaniem są tylko myte.

Uległy poprawie warunki BHP. Stanowisko pracuje bez odprysków i beziskrowo, do wyprowadzenia zanieczyszczeń lotnych zamontowano wyciąg ścienny o dużej wydajności.