

Analiza uwarunkowań zapewnienia punktu roboczego narzędzia w zrobotyzowanych aplikacjach spawania MIG/MAG

The analysis of conditions to ensure the Tool Center Point in robotic applications of MIG/MAG welding

Streszczenie

Jedną z cech uniwersalnych robotów przemysłowych jest możliwość definiowania parametrów geometrycznych użytego organu roboczego, np. chwytaka lub narzędzia. Zachowanie dużej staranności podczas procedury pomiarowej punktu roboczego narzędzia (TCP) pozwoli na uzyskanie licznych korzyści, zarówno podczas programowania, jak i eksploatacji stanowiska. W przypadku zrobotyzowanego spawania łukowego MIG/MAG, pomimo pozornej łatwości wyboru położenia punktu roboczego, pojawiają się problemy z zachowaniem jego wysokiej powtarzalności. W artykule przedstawiono typową metodikę definiowania parametrów punktu roboczego narzędzia oraz środki racjonalizujące jego wyznaczenie, programowanie z udziałem zdefiniowanego narzędzia oraz utrzymanie podczas eksploatacji stanowiska produkcyjnego.

Słowa kluczowe: robot przemysłowy, TCP, spawanie, MIG/MAG

Abstract

The article discussed the problem of providing TCP applications in robotic MIG / MAG welding. One of the features of universal industrial robots is the ability to define the geometric parameters of the working tool (for example, the gripper or electrode holder). Providing high diligence during the measurement procedure of the working tool (TCP) would provide many benefits, both for programming and operation of the robotic station. In the case of robotic arc welding MIG / MAG, despite the apparent ease in selecting the position of the working point, there are problems with maintaining its high repeatability. The article presents an analysis of the typical methodology to define the tools working point and rationalization of its determination, programming involving defined tools and maintenance during operation position production.

Keywords: industrial robot, TCP, welding, MIG/MAG

Wstęp

Zgodnie z PN-EN ISO 8373 Roboty przemysłowe – Terminologia, *punkt roboczy narzędzia* TCP (*Tool Centre Point*) to punkt zdefiniowany dla danego zastosowania, odniesiony do układu współrzędnych interfejsu mechanicznego. *Interfejs mechaniczny* to po-

wierzchnia montażowa tarczy kołnierzowej, wieńczącej strukturę przegubową ramienia robota. Układ współrzędnych interfejsu mechanicznego jest układem kartezjańskim przypisanym do kiści robota, w którym osie X i Y leżą zwykle na płaszczyźnie równoległej do tarczy

Dr inż. Paweł Cegielski – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: p.cegielski@wip.pw.edu.pl

kołnierzowej, natomiast oś Z jest do niej prostopadła i pokrywa się z jej osią obrotu. Początek układu może być zlokalizowany na przecięciu ostatnich osi orientowania, w tzw. *punkcie odniesienia kiści* (POK) lub może leżeć wprost na płaszczyźnie tarczy kołnierzowej. Układ ten jest związany bezpośrednio z kinematyką robota i określany jest na podstawie dokumentacji technicznej. Na parametry punktu roboczego składają się współrzędne liniowe, określające jego położenie względem układu współrzędnych interfejsu mechanicznego, uzupełnione o kąty, obrazujące orientację kątową osi narzędzia względem tego układu.

Przytoczona definicja punktu roboczego oznacza, że dla każdego przypadku powinien on być określony indywidualnie w obrębie danego narzędzia, w miejscu, które w danym zastosowaniu odgrywa istotną rolę. Dla spawalniczych uchwytów elektrodowych MIG/MAG najczęściej wskazywanym punktem roboczym jest koniec wysuniętego odcinka drutu, a dzięki odpowiedniej konstrukcji samego uchwytu elektrodowego oraz elementów pośredniczących w montażu jest on często lokalizowany na styku z osią obrotu tarczy kołnierzowej robota (rys. 1). Oś dla tak wskazanego narzędzia określa prostoliniowy odcinek drutu elektrodowego wysunięty z końcówki prądowej uchwytu.

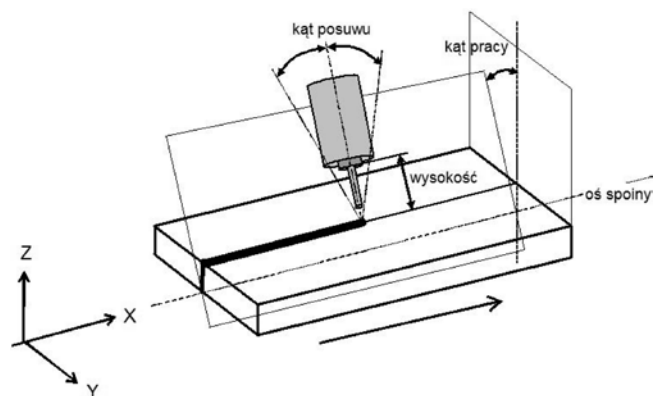


Rys. 1. Usytuowanie narzędzia spawalniczego oraz punktu TCP względem ramienia robota (Kawasaki FA006E)

Fig. 1. Positioning of the welding tool and TCP in relation to the robot arm

Roboty przemysłowe wykorzystywane do zadań spawalniczych programowane są przede wszystkim w sposób dyskretny przez nauczanie (w trybie *on-line*) lub, o ile istnieje odpowiednio oprogramowanie, także metodami wirtualnymi *off-line* [1, 5, 6, 8, 11, 13]. W pierwszym przypadku, wprowadzanie pozycji i parametrów przemieszczeń odbywa się z rzeczywistym obwiedzeniem programowanego toru ruchu przez maszynę manipulacyjną. Operator, przez ręczne sterowanie serwonapędami, doprowadza końcówkę wysuniętego drutu do określonych punktów w przestrzeni (tzw. *punktów podporządkowanych toru*), które składają się na programowany tor ruchu. Przyjmuje on postać następujących po sobie elementarnych przemieszczeń robota, a sposób przejścia między zaprogramowanymi punktami określa operator za pomocą argumentów instrukcji

programowania lub układ sterowania wybiera automatycznie, zgodnie z algorytmem pracy robota. W przypadku spawania łukowego podstawowe parametry geometryczne orientacji elektrody, istotne z punktu widzenia trajektorii ruchu robota, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Podstawowe parametry geometryczne orientacji elektrody podczas spawania łukowego

Fig. 2. Basic geometric parameters of the orientation of the electrode during arc welding

Praktyczne znaczenie poprawnie zdefiniowanego punktu TCP jest nie do przecenienia. Jednym ze sposobów zapamiętywania kolejnych punktów programowanego toru ruchu robota jest zapisywanie w instrukcji programu użytkowego współrzędnych i orientacji zdefiniowanego narzędzia względem określonego układu odniesienia, np. bazowego, związanego z podstawą robota, lub względem poprzedniego położenia. Przytoczony niżej fragment kodu programu użytkowego robota IRp-6 pokazuje zadeklarowane parametry punktu roboczego narzędzia:

Narzędzie: 1
 $X = 10\text{MM}$, $Y = 0\text{MM}$, $Z = 346\text{M}$
 $N = 63\text{DEG}$, $P = -89\text{DEG}$

Kolejny fragment kodu przedstawia przykładowe instrukcje pozycjonowania (poprzedzone symbolem POZ), opisujące kolejne punkty zaprogramowanego toru, z widocznymi współrzędnymi liniowymi i orientacją narzędzia zapamiętanymi w tych punktach (ruchy bezwzględne):

0: 30 POZ QLIN V = 50% ZGRUBN BZWG
 $X = 714.95\text{MM}$, $Y = 0\text{MM}$, $Z = 255.11\text{MM}$
 $N = 102.96\text{DEG}$, $P = -176.91\text{DEG}$

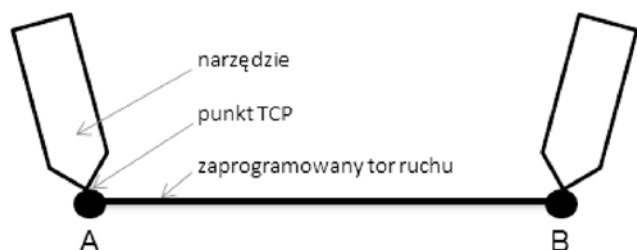
0: 35 CZEKAJ 1S

0: 40 POZ LIN V = 100% ZGRUBN BZWG
 $X = 669.67\text{MM}$, $Y = -576.8\text{MM}$, $Z = 55.9\text{MM}$
 $N = 119.84\text{DEG}$, $P = 170.68\text{DEG}$

Dzięki przedstawionej procedurze, w przypadku utraty lub deformacji pierwotnie zdefiniowanego narzędzia, np. wskutek kolizji, naprawy lub wymiany na nowe, może nie być potrzebna jakakolwiek korekta programu użytkowego, w tym jego tworzenie od początku. Wystarczy, że powtórzona zostanie procedura definiowania parametrów nowego narzędzia. Działanie programu pozostanie bez zmian – nowo zdefiniowane narzędzie będzie „trafiać” w pierwotnie zaznaczone

ślady zapisane w kolejnych instrukcjach pozycjonowania. Obrazowo mówiąc – jeśli nowe narzędzie będzie dłuższe, odtwarzaniu programu towarzyszyć będzie nieco większe oddalenie ramienia robota od punktów odtwarzanego toru. Oczywiście, należy się liczyć z ograniczeniami tego typu adaptacji, wynikających z zakresu ruchu poszczególnych osi robota czy też obecności przeszkód podczas operowania w ograniczonej przestrzeni.

Kolejnym powodem definiowania punktu roboczego narzędzia TCP jest umożliwienie programowania ruchu robota z użyciem funkcji interpolacji [5, 6, 8, 13]. Przykładowo, ruch z zadaną interpolacją liniową, zaprogramowany pomiędzy kolejnymi punktami A i B (rys. 3), spowoduje prostoliniowe przejście tylko tej części narzędzia, która zdefiniowana została jako TCP, a orientacja narzędzia zmieni się proporcjonalnie do przebytej drogi. Podobnie, w przypadku interpolacji kołowej, precyzyjne zakreślenie łuku lub okręgu dotyczyć będzie tylko punktu roboczego.



Rys. 3. Idea ruchu punktu TCP narzędzia z wykorzystaniem interpolacji liniowej

Fig. 3. The idea of moving of the TCP tool with linear interpolation

Pozytywną konsekwencją definiowania parametrów TCP jest także uzyskana w ten sposób możliwość ręcznego poruszania ramieniem robota, np. podczas programowania, nie tylko osobno poszczególnymi osiami, ale bezpośrednio zdefiniowanym narzędziem np. w układzie kartezjańskim odniesionym do podstawy robota, zdefiniowanego narzędzia, a nawet w układzie zmodyfikowanym przez samego użytkownika. W istotny sposób ułatwia to proces programowania i modyfikacji pracy robota.

Z eksploatacją zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych wiąże się problem powtarzalnego usytuowania końcówki roboczej (w metodach MIG/MAG najczęściej końca wysuniętego na określoną długość drutu elektrodowego), który stanowił pierwotny wzorec narzędzia (TCP). Konieczność wymiany zużywających się części uchwytu (tulejek prądowych, dysz gazowych, a nawet całego uchwytu), kolizje (nawet drobne, w tym powodujące jedynie deformacje wysuniętego końca drutu elektrodowego), niedoskonałości toru podawania drutu elektrodowego itp. mogą niestety sprawić, że położenie tego punktu oraz oś zdefiniowanego narzędzia mogą ulec zmianie. W konsekwencji spoiny nie będą wykonywane dokładnie tam, gdzie je pierwotnie zaprogramowano. Problem w równym stopniu dotyczy tych systemów, w których zastosowano układy korygujące, oparte np. na skanerach laserowych lub detekcji dotykowej [2, 3, 7, 10, 12].

Wyznaczanie i kalibracja TCP w spawaniu łukowym

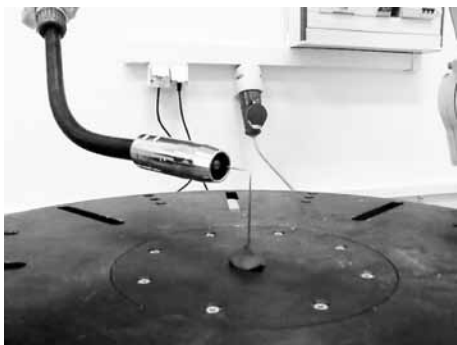
W praktyce możliwych jest wiele sposobów wyznaczenia parametrów geometrycznych narzędzia (TCP). Najmniej praktyczny i niedokładny pomiar na rzeczywistym robocie może zostać zastąpiony tzw. metodą bezpośrednią [7, 8], polegającą na odczytaniu wymiarów z dokumentacji konstrukcyjnej zastosowanego narzędzia oraz urządzeń towarzyszących (złącze antykolizyjne, wysięgnik mocujący itp.) i ich ręcznym wprowadzeniu do systemu. Na rysunku 4 pokazano przykład formularza wyświetlanego na ekranie panelu programowania robota, umożliwiającego na bezpośrednie wprowadzanie parametrów geometrycznych TCP, tu dodatkowo rozszerzonych o szczegółowe informacje dotyczące obciążenia.

Rys. 4. Formularz do bezpośredniego wprowadzania parametrów TCP i obciążenia robota: X, Y, Z – współrzędne punktu roboczego narzędzia; O, A, T – kąty obrotu osi narzędzia, *load mass* – ciężar narzędzia, *center of gravity* – współrzędne środka ciężkości, *moment of inertia* – moment bezwładności (Kawasaki)

Fig. 4. Form to directly enter the TCP and load the robot: X, Y, Z – coordinates of the working tools; Load Mass, Center of Gravity, Mas Moment of Inertia, (Kawasaki)

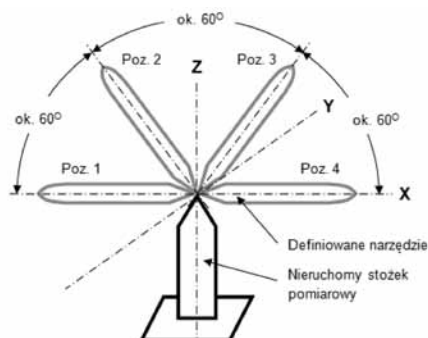
Najdokładniejsze są jednak automatyczne procedury (programy) wspomagające. Opierając się na zewnętrznym punkcie odniesienia, a niekiedy dodatkowym narzędziem wzorcowym (o znanych parametrach TCP), operator dokonuje szeregu ściśle określonych ustawień ramienia robota (zwykle od trzech do sześciu), po czym układ sterowania automatycznie wylicza szukane parametry geometrii narzędzia (rys. 5 i 6) [7, 8, 13].

Oprócz starannego zdefiniowania parametrów geometrycznych narzędzia, stosowane są środki i metody dokładnej, bieżącej kontroli położenia punktu TCP. Można np. w programie użytkowym uwzględnić dojazd kontrolny narzędzia do wcześniej ustalonego, zewnętrznego punktu odniesienia lub sensorycznej stacji kontrolno-pomiarowej (rys. 7). W przypadku stwierdzenia odchyłki można ponownie zdefiniować punkt roboczy narzędzia i przypisać go do realizowanego programu lub, o ile nie jest to możliwe, mechanicznie dogiąć końcówkę roboczą uchwytu elektrodowego do przyjętego wcześniej położenia TCP (rys. 8). W sensorycznych stacjach pomiarowych, odpowiednia korekta może zostać wprowadzona do programu automatycznie.



Rys. 5. Definiowanie parametrów TCP spawalniczego uchwytu elektrodowego względem zewnętrznego punktu odniesienia

Fig. 5. Defining the TCP welding electrode holder on the basis of an external reference



Rys. 6. Definiowanie parametrów TCP na podstawie cyklu czterech ustawień narzędzia (robot Kawasaki FA006E)

Fig. 6. Defining the TCP parameters based on a series of four settings tool (robot Kawasaki FA006E)



Rys. 7. Sensoryczna stacja do kontroli i kalibracji TCP uchwytów spawalniczych (ABB)

Fig. 7. Sensory station for control and calibration TCP welding torches (ABB)

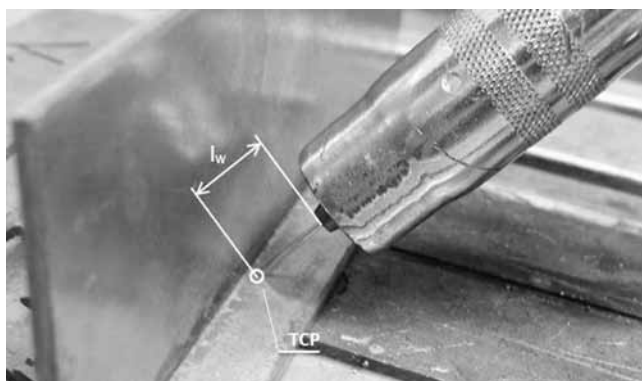


Rys. 8. Stanowisko ręcznego doginania końcówki roboczej spawalniczego uchwytu elektrodowego do przyjętego położenia TCP (TBI)

Fig. 8. The position of ro-bending manual working tip of the welding electrode holder to the adopted position of the TCP (TBI)

Ograniczenia konwencjonalnego układu wskazującego

O powszechnej praktyce programowania na podstawie wskazań końca wysuniętego drutu elektrodowego (rys. 8) zadecydowały: prostota, wygoda, intuicyjność i funkcjonalność, umożliwiające na natychmiastowe przechodzenie od fazy programowania do testów spawania i odwrotnie. W czasie programowania drut wysunięty jest na odległość odpowiadającą roboczej długości tzw. *wolnego wylotu elektrody* l_w (rys. 9), dzięki czemu programista ma możliwość bezpośredniej oceny bieżącej pozycji i orientacji elektrody, dostępu do złącza, ewentualnych kolizji czy ułożenia okablowania technologicznego na korpusie robota.



Rys. 9. Wykorzystanie drutu elektrodowego do bezpośredniego wskazywania programowanej trajektorii z orientacyjnym zaznaczeniem wolnego wylotu drutu elektrodowego l_w

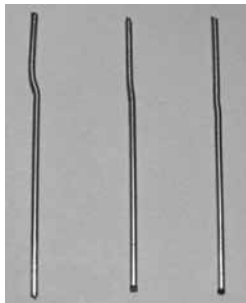
Fig. 9. The use of wire for direct indication of the programmed trajectory, showing the free section of wire – l_w

Odwijany ze szpuli drut elektrodowy, przez rolki mechanizmu podającego (typowo w układzie *pchaj*), wprowadzany jest do przewodnika wewnątrz przewodu spawalniczego, a następnie przez końcówkę prądową uchwytu elektrodowego kierowany jest w obszar spawania, gdzie ulega stopieniu.

Niestety, pomimo wielu zalet, specyficzne cechy drutu elektrodowego (niewielka średnica – zwykle $0,8 \div 1,6$ mm, podatność na deformację), jak i poszczególnych elementów układu jego podawania, mogą być przyczyną nieprzewidzianych i nawet znacznych różnic pomiędzy faktycznym a teoretycznym, wynikającym z konstrukcji uchwytu, położeniem końca elektrody. W konsekwencji, wskutek operowania niewłaściwym wzorcem, pojawić się mogą różnice pomiędzy zaprogramowanym ruchem końca elektrody a torem, obserwowanym podczas pracy testowej i automatycznej. W tabelicy I zestawiono najważniejsze problemy towarzyszące wykorzystaniu końca drutu w roli wskaźnika programowanego toru.

Deformacje mechaniczne wysuniętego końca drutu elektrodowego mogą mieć miejsce w wyniku nawet niewielkiego otarcia o przeszkodę, zarówno podczas pracy testowej i automatycznej, jak i wskutek błędu programisty. Sprzyja temu mała sztywność drutu oraz konieczność ręcznego operowania robotem w niewielkiej odległości od

licznych przeszkód – elementów złącza i oprzyrządowania montażowego. Jak pokazuje praktyka, pozornie łatwe, ręczne wyprostowanie wskaźnika nie musi przywracać prawidłowej geometrii. Dotyczy to przede wszystkim drutów stalowych, które podczas nagłego zginania ulegają miejscowemu umocnieniu, niepozwalającemu na łatwe wyprostowanie w tym samym miejscu (rys. 10).



Rys. 10. Deformacja drutu elektrodowego po próbie wyprostowania. Drut stalowy o średnicy 1 mm. Wygięcie początkowe, od lewej: 90°, 60° i 30° [9]

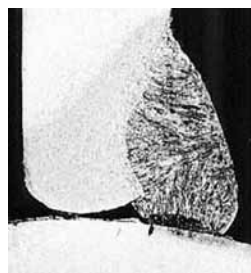
Fig. 10. The deformation of electrode wire after trying to straighten. Steel wire with a diameter of 1 mm. Initial bend, from left: 90°, 60° and 30° [9]

Nadmiernie zużyte końcówki prądowe (rys. 11) powodują nieosiowe wyprowadzanie drutu elektrodowego oraz wiele innych, niekorzystnych zjawisk, w tym zmniejszenie przekroju spoiny i wzrost rozprysku.



Rys. 11. Prawidłowa i nadmiernie zużyte końcówki prądowe z niesymetryczną deformacją otworu wylotowego

Fig. 11. Proper and destroyed the tip current with asymmetrical deformation outlet



Rys. 12. Przyklejenie i brak symetrii w spoinie pachwinowej

Fig. 12. Sticking and asymmetry in the fillet weld

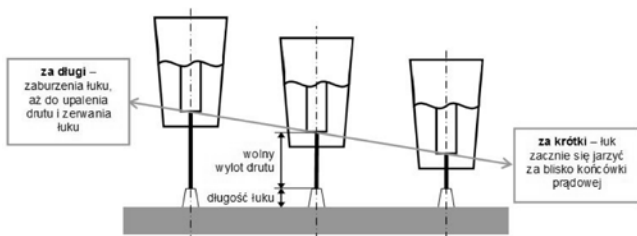
Jak widać, zjawisko niekontrolowanego odchylenia osi drutu (wskaźnika) od osi uchwytu elektrodowego (końcówki prądowej) może skutkować zaprogramowaniem błędnej trajektorii i wykonaniem przesuniętej spoiny. W takim przypadku najczęściej konieczne staje się wprowadzenie korekt do programu. Występujący w metodzie MIG/MAG mechanizm samoregulacji, utrzymujący stałą długość łuku niezależnie od jego wysunięcia, dopuszcza wprowadzić pewną tolerancję dla niekontrolowanej zmiany wolnego wylotu drutu elektrodowego, należy jednak pamiętać o nieprzekraczaniu zalecanych limitów (łuk zwarciovy: 6÷15 mm, łuk natryskowy: 18÷25 mm [5]). W przypadku ich przekroczenia mogą pojawić się znaczące różnice w przebiegu i efektach spawania (rys. 13):

- im większa długość wolnego wylotu drutu przy tym samym prądzie spawania, tym większa wydajność stapiania drutu,
- przy niezmiennych parametrach spawania, ze wzrostem wolnego wylotu drutu zmniejsza się wartość prądu spawania,
- z obniżaniem wolnego wylotu drutu rośnie głębokość wtopienia, odwrotnie – wtopienie staje się mniejsze od nominalnego,
- zwiększenie wolnego wylotu drutu zmniejsza natężenie prądu krytycznego – granicy przejścia do łuku natryskowego.

Tablica I. Typowe problemy towarzyszące wykorzystaniu końca drutu elektrodowego jako wskaźnika programowanego toru ruchu robota

Table I. Typical problems associated with the use end of the wire electrode as an indicator of programmed trajectory of the robot

Zjawisko	Przyczyna	Skutek
Niekontrolowane odchylenie osi drutu (wskaźnika) od osi uchwytu elektrodowego (końcówki prądowej)	Deformacja drutu wskutek uderzenia o przeszkodę (rys. 10)	Przesunięcie programowanej trajektorii w losowym kierunku w stosunku do zdefiniowanej osi narzędzia (osi końcówki prądowej). Może spowodować zaprogramowanie błędnej trajektorii (leżącej obok właściwej). Podczas spawania mogą wystąpić przyklejenia w spoinach pachwinowych lub błędy wtopienia w spoinach czołowych (rys. 12)
	Nadmierny otwór źle dobranej końcówki prądowej	
	Nadmierne, często niesymetryczne zużycie końcówki prądowej (rys. 11)	
	Trwała deformacja drutu elektrodowego (zwłaszcza stalowego) nawiniętego na standardowych szpulach (15÷20 kg) o niewielkiej średnicy	
Niekontrolowana zmiana wolnego wylotu drutu elektrodowego	Swobodne cofanie i wysuwanie się końca wysuniętego odcinka drutu z tulejki prądowej pod wpływem ruchów uchwytu elektrodowego. Zjawisko szczególnie widoczne w układach z oddalonym podajnikiem drutu (w układzie <i>pcha</i>), gdzie zmiany mogą osiągnąć nawet kilka milimetrów [9]	Może spowodować zaprogramowanie błędnej trajektorii ze zmienną (niewłaściwą) długością wolnego wylotu elektrody. Podczas spawania mogą wystąpić znaczące zmiany geometrii spoiny, a nawet zaburzenia jarzenia łuku (rys. 13)
Błędy programisty	Zjawisko paralaksy, skutkujące niezgodnością obrazu tego samego obiektu obserwowanego z różnych perspektyw	Jak w poprzednich przypadkach



Rys. 13. Wpływ długości wolnego odcinka drutu elektrodowego na przebieg procesu spawania [5]

Fig. 13. The effect of the free section of the electrode wire to the welding process [5]

Zapobieganie błędom programowania trajektorii spawania

Oprócz wymienionych w tabelicy I przyczyn niekorzystnych zjawisk należy wskazać dodatkowo dwa czynniki: wymianę eksploatacyjną elementów części roboczej uchwytu elektrodowego lub ich deformację po kolizji. Nie są one konsekwencją właściwości drutu w roli wskaźnika, ale mają na niego ogromny wpływ. Nowe elementy uchwytu mogą nieznacznie odbiegać wymiarowo od zastosowanych pierwotnie (i ujętych w definicji TCP), a pozornie niegroźna kolizja może powodować nadmierną deformację. Jednak w obydwu przypadkach, o ile w porę wykryto odstępstwo trajektorii,

przeważnie wystarczy zastosować jedną z metod:

- ponownie zdefiniować punkt roboczy TCP dla zmodernizowanego lub odkształconego (o ile jest nadal sprawne) narzędzia i przypisać je do bieżącego programu użytkowego,
- przeprowadzić kalibrację automatyczną w oparciu o stację sensoryczną (rys. 7),
- przeprowadzić kalibrację mechaniczną narzędzia (rys. 8).

Najprostszym, często stosowanym sposobem niezależnienia definiowanego punktu roboczego oraz programowanej trajektorii od kondycji wysuniętego odcinka drutu, jest zastąpienie go wskaźnikiem zastępczym. Najprostszy może mieć postać sztywnego, zastrzonego pręta, wkręcanego w miejsce końcówki prądowej. Niestety, sztywny wskaźnik nie zabezpiecza uchwytu i robota przed przypadkowymi kolizjami. Korzystne może być zatem jego zamocowanie poprzez element podatny, np. sprężynę.

W odróżnieniu od fantomów mechanicznych, firma Binzel proponuje wskaźnik laserowy Abidot z równoczesną projekcją czterech płamek świetlnych, zbiegających się w ustalonym punkcie TCP (rys. 14). Urządzenie montowane jest na końcu uchwytu elektrodowego w miejsce dyszy gazu osłonowego. Adapter z naniesioną skalą liniową umożliwi precyzyjne ustalenie miejsca ogniskowania wiązek. W przypadku prowadzenia robota zbyt blisko lub za wysoko następuje rozproszenie wiązek i projekcja czterech oddzielnych

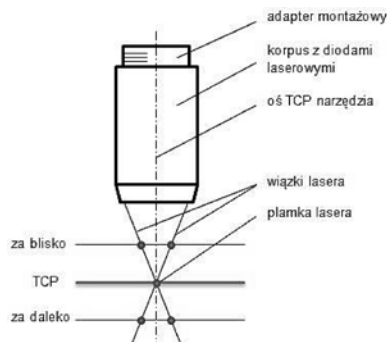
Tablica II. Wybór metod zwiększających dokładność i powtarzalność wymiarową końca wysuniętego drutu elektrodowego

Table II. The choice of methods to increase the accuracy and dimensional repeatability of the electrode wire tip

Metoda	Budowa i działanie	Skutek
Masowe zasobniki drutu elektrodowego	Beczki z drutem zwiżanym przy użyciu techniki z przeciwwskretem, zapobiegającym jego obracaniu się wokół własnej osi podczas rozwijania (Marathon Pac, ESAB)	Zmniejszenie krzywizny podawanego drutu. Mniejsze zużycie końcówki prądowej wskutek tarcia i iskrzenia na krawędziach
	Szpule masowe – większa średnica nawoju	
Specjalne końcówki prądowe	W formie otwartej spirali z wymuszonym, fałistym ruchem drutu (Helix, ESAB)	Zmniejszenie krzywizny podawanego drutu. Zminimalizowany wpływ zużycia końcówki na położenie drutu. Wydłużona żywotność – 5÷10 razy).
	Z ruchomą szczęką dociskową dopasowującą końcówkę do różnych średnic drutu (Context, Fronius)	
Rolki prostujące	Mechanizmy wielorolkowe do prostowania drutu elektrodowego. Bez napędu, wstawiane pomiędzy szpulę z drutem a podajnikiem lub zintegrowane z podajnikiem	Zmniejszenie lub całkowita eliminacja krzywizny podawanego drutu. Mniejsze zużycie końcówki prądowej wskutek tarcia i iskrzenia na krawędziach
Układy podające <i>pchaj – ciągnij</i>	Dodatkowy mechanizm podający w uchwycie elektrodowym	Zmniejszenie krzywizny podawanego drutu oraz zjawiska swobodnego cofania i wysuwania się końca wysuniętego odcinka drutu z tulejki prądowej pod wpływem ruchów uchwytu elektrodowego
Specjalne przewodniki drutu wewnątrz przewodu spawalniczego	Budowa z wewnętrznym rdzeniem cienkościennym i dodatkowym opłotem drucianym zapewnia większą odporność na deformację w czasie wysuwania drutu elektrodowego (QCC i QCC-HD, Electron Beam Technologies)	Ogranicza zjawisko swobodnego cofania i wysuwania się końca wysuniętego odcinka drutu z tulejki prądowej pod wpływem ruchów uchwytu elektrodowego
Automatyczne ucinaczkę drutu elektrodowego	Stacje czyszczące dysze gazowe zintegrowane z nożycami do ucinania drutu	Kalibracja wysuniętego odcinka drutu elektrodowego

plamek. Niestety, brak fizycznego wskaźnika utrudnia ocenę orientacji kątowej elektrody, konieczne jest także stosowanie zabezpieczeń wzroku programisty (laser).

Wykorzystanie wskaźników zastępczych wiąże się z koniecznością przezbrajania uchwytu elektrodowego. Zdefiniowany za ich pomocą punkt roboczy narzędzia,



Rys. 14. Schemat działania systemu Abidot

Fig. 14. Operation scheme operation of the system Abidot

a następnie utworzony program użytkowy, już na etapie pracy (testowej i automatycznej) realizowany będzie ponownie z użyciem obarczonego licznymi wadami drutu elektrodowego. Znaczna część niekorzystnych zjawisk omówionych w tablicy I nadal będzie miała wpływ na postać odtwarzania zaprogramowanej ścieżki, a więc na jakość spawania. Problem w największym stopniu dotyczył będzie spoin cienkościennych, jedno-warstwowych spoin pachwinowych oraz złączy o złożonych, przestrzennych trajektoriach. Kluczowe staje się zatem zapewnienie jednakowych warunków definiowania narzędzia, tworzenia programu użytkowego, a następnie pracy automatycznej. Najlepiej powyższy postulat spełnić może wskaźnik najprostsz, jakim jest koniec wysuniętego drutu, jednak przy zapewnieniu możliwie jak największej dokładności i powtarzalności wymiarowej. Jest to możliwe przy zastosowaniu dodatkowych środków (tabl. II). W prezentowanym zestawieniu pominięto wiele dodatkowych korzyści, zarówno technicznych, jak i ekonomicznych, jakie pociągają za sobą przedstawione metody.

Wnioski

Konfiguracja zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego wymaga nie tylko zgromadzenia odpowiednich maszyn i wyposażenia technologicznego, ale także ich prawidłowej, wzajemnej instalacji mechanicznej [2, 4]. Zapewnienie wysokiej jakości i powtarzalności połączeń spawanych może się także wiązać z pozornie błahym zagadnieniem doboru niektórych elementów toru podawania drutu elektrodowego. Część z omówionych środków zaradczych niesie za sobą dodatkowe korzyści

techniczne i ekonomiczne, np. układy podawania drutu *pchaj – ciągnij* zwiększają stabilność procesu, a masowe zasobniki drutu elektrodowego obniżają cenę materiałów dodatkowych, zmniejszają zużycie tulejek prądowych oraz redukują przestoje związane z załadunkiem drutu elektrodowego. W każdym przypadku prawidłowo dobrana, dobrej jakości i w porę wymieniona tulejka prądowa skutecznie przyczyni się do ogólnej poprawy warunków programowania i spawania.

Literatura

- [1] Cegielski P.: Automatykacja i robotyka w budowie maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Tempus, Warszawa 1997.
- [2] Cegielski P., Kolasa A., Golański D., Sarnowski T., Oneksiak A.: Innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne w przemysłowych urządzeniach do automatyzacji procesów spawalniczych. Przegląd Spawalnictwa 1/2013, s. 30-35.
- [3] Cegielski P., Kolasa A., Sarnowski T.: Dostosowanie robotów do spawania elementów o obniżonej dokładności. Przegląd Spawalnictwa 6/2011, s. 25-28.
- [4] 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.
- [5] Ferenc K., Cegielski P. i in. (praca zbiorowa): Technika spawalnictwa w praktyce. Poradnik inżyniera konstruktora i technologa. Rozdział 7. Mechanizacja, automatyzacja, robotyzacja. Verlag Dashofer, Warszawa 2012.
- [6] Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. WNT, Warszawa 2010.
- [7] Kontroler serii D. Instrukcja użytkownika. Kawasaki. ASTOR.
- [8] Kost G., Świder J. (red.) i in.: Programowanie robotów online. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2008.
- [9] Lach M.: Wybrane problemy ręcznego sterowania ramieniem robota podczas programowania procesów spawania łukowego. Praca dyplomowa inżynierska. Kierujący pracą dr inż. P. Cegielski. Politechnika Warszawska 2013.
- [10] Materiały firmowe: Kawasaki, Fanuc, Kuka, ABB.
- [11] Nowak M., Wiśniewski D., Czeladziński Ł., Buchowski J.: Programowanie off-line i on-line na przykładzie rozwiązań Panasonic. Przegląd Spawalnictwa 5/2012, s. 42-48.
- [12] Paul C., Höfner L.: Sensory w robotyzacji spawania. Przegląd Spawalnictwa 8/2011, s. 28-31.
- [13] Podręcznik programowania robotów IRp-6/10. ZAP S.A. Zakład Robotów Przemysłowych, Ostrów Wielkopolski, 1997.