

Robotyzacja procesów spawania dużych elementów

Mateusz Kieniewicz
Andrzej Syrczyński
Łukasz Zakrzewski

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów nieprzerwanie od kilkadziesiąt lat zaliczany jest do czołówki polskich firm w dziedzinie robotyki. Stale uczestniczy w procesie poszerzania dziedzin aplikacji robotów w przemyśle. W artykule oraz w przygotowywanej następnej publikacji poruszono tematykę wykorzystania robotów do spawania dużych elementów konstrukcyjnych maszyn. Prezentowane doświadczenia zostały zebrane w trakcie budowy i wdrażania pierwszych stanowisk zrobotyzowanych u klientów.

W ciągu ostatnich kilku lat można było zaobserwować w krajowym przemyśle znaczny wzrost zainteresowania robotyzacją w jej szerokim ujęciu, obejmującym zarówno wdrożenia lub modernizacje istniejących czy transferowanych linii produkcyjnych w dużych zakładach, jak i aplikacje w małych firmach. Zainteresowanie koncentruje się głównie na prostych rozwiązaniach, mających na celu zastąpienie brakującej kwalifikowanej siły roboczej, podniesienie jakości i wydajności.

W przypadku technologii spawalniczych te trzy motywy są bardzo dobrze widoczne na polskim rynku. Odpływ z kraju wykwalifikowanej siły roboczej, spawaczy i technologów, przy konieczności ciągłego podnoszenia wydajności i jakości powoduje, że pytanie o sens robotyzacji zmieniało swój wydźwięk z „czy?” na „kiedy?”. Przy dużym zainteresowaniu odbiorców, jakie ostatnio obserwujemy, konieczne jest jak najlepsze informowanie potencjalnych użytkowników. Bardzo istotne jest by producent, niezależnie czy mówimy o zakładzie międzynarodowego koncernu zatrudniającego tysiące osób, czy o firmie rodzinnej gdzie pracuje kilkanaście osób, miał świadomość, jak wiele czynników wpływa na udane wdrożenie zrobotyzowanego stanowiska.

Stopnie automatyzacji procesu spawania

Podczas konstruowania zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych można napotkać wszystkie problemy występujące w automatyzacji i robotyzacji, zwielokrotnione poprzez wymogi jakościowe technologii spawania. Mimo że robotyzacja spawania liczy już ponad ćwierć wieku i stanowi blisko 30 % ogółu aplikacji zrobotyzowanych, to spełnienie wszystkich warunków koniecznych do uzyskania optymalnego wyniku bywa trudne, zwłaszcza w warunkach pierw-

szych aplikacji. Zrobotyzowane stanowiska spawalnicze różnią się między sobą stopniem komplikacji i poziomem zautomatyzowania produkcji.

- (1) W najprostszym wariantcie robot tylko zastępuje pracę spawacza, a wszystkie operacje związane z montażem i transportem spawanych elementów są wykonywane ręcznie przez operatora. Przy takim rozwiązaniu, w czasie montażu i demontażu detali robot pozostaje unieruchomiony, aby pracownicy mogli bezpiecznie pracować na stanowisku. Wiąże się to oczywiście z wydłużeniem czasu międzyoperacyjnego i zmniejszeniem wydajności stanowiska.
- (2) Wariant rozszerzony, eliminujący czas przestoju na załadunek i rozładunek najczęściej jest rozwiązywany poprzez zastosowanie dwustołowego pozycjonera obrotowego albo fizycznie rozdzielonych stref pracy na dwóch stołach po przeciwnych stronach robota. Przy czym drugie rozwiązanie może wymagać zastosowania robota o większym zasięgu, bądź układu jezdnego do przemieszczania robota między gniazdami spawalniczymi. Konieczne może być również wprowadzenie dodatkowych mechanizmów zapewniających bezpieczeństwo człowieka wchodzącego w obszar pracy robota, zarówno przez dodatkowe odseparowanie obszaru wspólnego dla człowieka i robota, jak i dodatkową kontrolę obecności człowieka w strefie potencjalnie niebezpiecznej.
- (3) Trzeci wariant, o najwyższym stopniu automatyzacji, eliminuje całkowicie obecność i pracę człowieka w strefie działania robota. Wariant ten wymaga zapewnienia automatycznego podawania i odbierania detali, najczęściej rozwiązuje się to przez zastosowanie manipulatora, czy to w postaci wyspecjalizowanego podajnika, czy drugiego robota.

Opisywane dalej dwa zrobotyzowane stanowiska spawalnicze wdrożone przez PIAP w firmie Metal-Fach Sp. z o.o. w Sokółce, producenta wielu typów maszyn rolniczych, mogą być przykładami pierwszego, najprostszego wariantu robotyzacji procesów spawania, typowego dla pierwszych tego typu aplikacji w firmie.

*inż. Mateusz Kieniewicz, dr inż. Andrzej Syrczyński, mgr inż. Łukasz Zakrzewski
– Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów,
Warszawa*

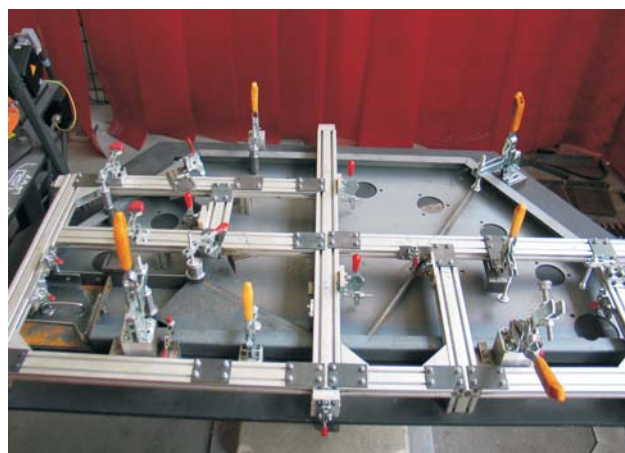
Stanowisko spawania dużych elementów płaskich

Pierwszym ze stanowisk jest aplikacja spawania dużych elementów płaskich – fot. 1. Stanowisko to zostało wykorzystane, w pierwszej kolejności, do spawania ścian pras zwijających bele siana. Na jednym stanowisku wykonywane są wszystkie elementy ścian, dające w sumie kompletną obudowę prasy, a mianowicie dwie części ściany lewej – przednią i tylną – oraz odpowiednie dwie części ściany prawej.



Fot. 1. Zrobotyzowane stanowisko spawalnicze elementów płaskich z dwoma pozycjonerami podwójnymi

Stanowisko jest obsługiwane przez robot sześciopiętrowy firmy KUKA typu KR16-L6-ARC, wyposażony w podajnik robotowy drutu spawalniczego firmy FRONIUS typu VR 1500 zamocowany na 3. osi robota, jak również złącze antykolizyjne palnika mocowane na kiści robota. Złącze to wykrywa kolizję palnika z przedmiotem i chroni przed uszkodzeniem, zatrzymując ruch robota. Spawanie odbywa się w osłonie gazu nieaktywnego (argon/ CO_2). Spawane ściany są ręcznie zakładane na dwa pozycjonery dwuosiowe typu KUKA DKP-400 o kącie obrotu osi pionowej $\pm 360^\circ$ oraz kątach przechyłu $+90^\circ$ i -45° . Wyposażenie stanowiska uzupełniają spawarka typu TPS 4000 firmy FRONIUS oraz zespół czyszczarki z funkcjami ucina-



Fot. 2. Pozycjoner lewy, przyrząd ścian tylnych z założoną ścianą lewą tylną

nia drutu i czyszczenia dyszy za pomocą freza napędzanego pneumatycznie.

Podjęta przez firmę decyzja zainstalowania dwóch pozycjonerów w przestrzeni pracy robota przedłuża czas nieprzerwanej pracy zarówno robota, jak i sekwencji ręcznych czynności montażowych, co poprawia wydajność stanowiska.

Na fot. 2 przedstawiono pozycjoner lewy wykorzystywany do spawania ścian tylnych prasy, z założoną ścianą lewą tylną. Na tarczy pozycjonera znajdują się, od dołu, płyta bazująca z kołkami, następnie spawana ściana wraz z licznymi elementami, które zostaną przyspawane do ściany. Najwyżej znajduje się nakładana rama montażowa („pająk”) z szeregiem zacisków służących do utrzymania elementów.

Wymagania technologiczne

Przeprowadzona analiza dokumentacji konstrukcyjnej elementów pras zwijających i doświadczenia produkcji tych maszyn pokazują, że w przypadku zrobotyzowanego spawania elektrodą topliwą, sumaryczna dokładność pozycjonowania spoiny powinna być nie gorsza niż $\pm 0,3$ mm dla spoin o licu 3 mm. Dla spoin węższych ta dokładność siłą rzeczy powinna być lepsza, a dla spoin szerszych można przyjąć dokładność $\pm 0,5$ mm. Kolejne wymagania, typowe dla aplikacji zrobotyzowanych, obejmują:

- niezmienność pozycjonowania powierzchni obrabianej
- uniemożliwienie wykorzystania detali niespełniających założonych tolerancji
- dostępność powierzchni obrabianej dla narzędzia, czyli palnika.

Odpowiednie wymagania muszą być spełnione najpierw w procesie mechanicznej obróbki części, dalej przy budowie przyrządu spawalniczego i następnie w toku ręcznego montażu elementów na płycie bazującej pozycjonera. Ponadto spełnienie trzeciego warunku wymaga nie tylko znajomości kształtu geometrycznego palnika, ale również jego dopuszczalnych pozycji podczas procesu spawania. Spawanie metodą MIG/MAG charakteryzuje się dość dużą elastycznością. W sytuacji, gdy nie ma możliwości ustawienia detalu w optymalnej pozycji, można dokonywać korekcji za pomocą zmiany parametrów spawania. Ponadto zapewnienie swobodnego dostępu dla palnika pozwala wykorzystać różnorodne metody poprawy spoin czy przeciwdziałania błędowi ułożenia spoiny.

Podział i optymalizacja procesu spawania

W celu zoptymalizowania pracy stanowiska zrobotyzowanego z reguły dąży się do minimalizacji ilości wykonywanych cykli tak, aby element był obrabiany z jak najmniejszą liczbą przestojów międzyoperacyjnych. Dla ściany wg fot. 2 zastosowano rozwiązanie polegające na rozdzieleniu etapów szepienia i spawania. W pierwszym cyklu pracy, przy założonym przyrządzie, robot na-

kłada spoiny szepiające. W drugim cyklu, już bez przyrządu, robot nakłada spoiny końcowe. Był to konieczny kompromis między minimalną liczbą cykli, ograniczeniem wpływu cieplnego i naprężeń spawalniczych a optymalną konstrukcją przyrządu spawalniczego.

Z kolei dla ścian przednich, które zarówno gabarytem jak i stopniem skomplikowania znacznie różniły się od ścian tylnych, konieczne było zastosowanie trzystopniowego procesu spawania, składającego się z dwóch etapów szepiania i spawania wykańczającego. W tym przypadku dodatkową trudnością, wynikającą z dużej liczby detali składowych, było takie rozłożenie kolejności spawania, aby wpływ cieplny został maksymalnie ograniczony.

Niestety utworzenie jednolitego wzorca dla takiego postępowania okazało się w praktyce niemożliwe. Jediną metodą dającą wysoką skuteczność są badania empiryczne, czyli metoda prób i błędów. Można określić kilka podstawowych etapów działania, które taką optymalizację zdecydowanie ułatwiają:

- określenie obszaru największego zagęszczenia spoin
- wytypowanie elementów głównych, bazowych, których jednoznaczne umiejscowienie pozwoli zminimalizować nakładanie się błędów
- wyeliminowanie jak największej liczby detali dodatkowych, niewpływających istotnie na sztywność konstrukcji
- uszeregowanie kolejności spawania detali składowych w kolejności od najsilniej wpływających na sztywność konstrukcji do najmniej znaczących w tej kwestii.

Pomimo zminimalizowania zagęszczenia spoin na ścianach przednich, regularnie nawracającym zjawiskiem było klinowanie się ściany na kołkach pozycjonujących. Dopiero wspomniane wcześniej podzielenie procesu spawania na etapy tak, by spoiny były układane równomiernie po obwodzie, dało pozytywne rezultaty. Takie postępowanie wydłużyło nieznacznie czas potrzebny na wykonanie spawania, ale dało wymierne efekty w postaci eliminacji odkształceń ściany. Ponadto znacząco skróciło czas rozładunku stanowiska.

Stanowisko spawania wielkogabarytowych elementów przestrzennych

Drugie stanowisko, zrealizowane dla firmy Metal-Fach w Sokółce, może być przykładem zadań, jakie stawia robotyzacja spawania przestrzennych elementów wielkogabarytowych. Podstawowy problem, jaki się pojawia z takim zadaniem, to stworzenie koncepcji przyrządu spawalniczego, który powtarzalnie i dokładnie pozycjonuje wszystkie elementy, a ponadto pozostawia dostatecznie dużo przestrzeni na dojście palnika do wszystkich spoin. Kolejne kwestie, które trzeba brać pod uwagę przy konstruowaniu przyrządu, to funkcjonalność przy załadunku i rozładunku oraz odpowiednia wytrzymałość przyrządu, aby

utrzymał stałą pozycję ciężkiego elementu i po wielu cyklach spawalniczych nie doznał odkształceń.

Omawiane stanowisko wykorzystuje sprzęt robotowy identyczny jak w pierwszym stanowisku. Istotna różnica dotyczy doboru pozycjonerów. Do spawania elementów przestrzennych zastosowano pozycjonery jednoosiowe, również firmy KUKA, z osią poziomą, typów DWP 500 i DWP 1000. Liczby zawarte w symbolu oznaczają udźwieg w kilogramach. Największym z elementów spawanym na tym stanowisku jest łyżka do materiałów sypkich – fot. 3 – o długości 2 m. Stanowi ona jedną z kilku opcji wyposażenia maszyny nazwanej ładowaczem czołowym.



Fot. 3 . Przyrząd spawalniczy z zamocowanym elementem – łyżką do materiałów sypkich

Opracowanie sposobu składania w przyrządzie spawalniczym tak dużego przestrzennie modułu spawalnego robotem wymagało symulacji przestrzeni pracy robota wspólnie z wariantami projektu rozwiązania przyrządu. Często zastosowanie przyrządu o określonej specyfice wymaga zmian konstrukcyjnych i technologicznych w samym elemencie spawanym. W tym przypadku przyrząd został przygotowany do stabilnego bazowania i zamocowania detalu, żeby mógł on obracać się wokół własnej osi, tak dobranej, że przechodzi przez środek ciężkości łyżki. Dzięki temu zminimalizowano obszar roboczy, jaki był potrzebny do obsłużenia całego elementu i zminimalizowano siły powstające podczas obracania blisko półtonowej masy. W przypadku spawania łyżki do materiałów sypkich robot pracował na granicy swego zasięgu i w kilku miejscach niezbędne ułożenie palnika musiało być poprzedzone szeregiem skomplikowanych ruchów na drodze dojścia do spoiny.

Drugim elementem spawanym na opisywanym stanowisku była rama chwytaka do przenoszenia bel siana. Rama jest elementem mniejszym od łyżki, ale bardziej skomplikowanym pod względem złożoności przestrzennej. Ponieważ rama jest spawana z kilkunastu detali ciętych i wyginanych stanowiących łącznie moduł, to wymaga szczególnie dokładnego pozycjonowania części. Ich sumaryczna dokładność w krytycznym stopniu określa wykonalność procesu spawania. Jeśli w konkretnym egzemplarzu dokładność jest

niewystarczająca, na styku elementów powstają szczeliny, których zaspawanie stanowi poważny problem. W miejscach potencjalnych szczelin zastosowano ruch oscylacyjny palnika podczas procesu spawania, dzięki czemu poszerzono spoiny i zminimalizowano negatywne skutki ewentualnych szczelin występujących pomiędzy detalami.

Wytwarzanie detali do spawania

W przypadku wielkogabarytowych elementów przestrzennych powstaje istotny problem dokładności wytwarzania elementów składowych. Duże nagromadzenie elementów w jednym miejscu powoduje skomplikowanie przyrządu spawalniczego, a niedokładność wykonania dowolnego z detali może odbić się na położeniu następnego, względem którego jest on bazowany.

Szczególnie krytyczna jest powtarzalność gięcia elementów, która to operacja pojawia się bardzo często w licznych konstrukcjach tego typu. Kolejny aspekt to jakość powierzchni spawanych, np. odpowiednie oszlifowanie powierzchni, przygotowanie brzegów czy też ich metaliczna czystość.

Tu daje znać o sobie bardzo istotna kwestia, bez rozwiązania której robotyzacja procesu spawania jest niemożliwa. Kwestią tą jest zapewnienie niezbędnego parku maszynowego, dającego gwarancję jakości podzespołów wchodzących w skład spawanego elementu.

Kolejną kwestią wymagającą głębszej analizy jest to, czy wymogi dotyczące spoin na elementach, które nie wymagają dużej precyzji wykonania, są tak ostre, że celowe było zastosowanie robota przemysłowego.

Specyfika pierwszych robotyzacji spawania w krajowych firmach

Na podstawie zarówno szeregu aplikacji, jak i licznych kontaktów z zainteresowanymi firmami, można wskazać kilka specyficznych cech pierwszych zastosowań robotów do celów spawania:

- prosta, autonomiczna struktura stanowisk; z reguły nie ma potrzeby powiązań z innymi maszynami czy liniami transportowymi
- integracja funkcji sterowniczych w komputerze robota; dla przykładu, zastosowanie technologii sprzężenia ruchów pozycjonerów z ruchem robota, jako osi zewnętrznych, pozwala znacząco skrócić czasy międzyoperacyjne i w rezultacie zwiększyć wydajność procesu
- koncentracja środków inwestycyjnych na sprzęcie robotowym, przy ograniczeniu nakładów na otoczenie
- wymóg uniwersalności stanowisk, które powinny być łatwo przeobrażane do spawania różnych elementów w niewielkich seriach
- przewaga rozwiązań z ręcznym montażem części oraz ręcznym załadunkiem i rozładunkiem stanowisk.

Na sukces i korzyści osiągnięte przy wdrażaniu zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego wpływa wiele różnorodnych czynników. Za najważniejszy można uznać kompleks spraw związanych z przygotowaniem elementów przychodzących na stanowisko; ich zgodności z dokumentacją i jakości powierzchni. Oczywistym jest staranne dobranie technologii i metody realizacji pracy na stanowisku, w tym zapewnienie technologiczności połączeń, które mają być wykonane. Zrealizowane w firmie Metal-Fach w Sokółce projekty zrobotyzowanych stanowisk spawalniczych pokazały, że równie istotny wpływ ma jakość przepływu informacji pomiędzy kadrą zarządzającą a pracownikami produkcji. Także świadomość wymogów i następstw wdrożenia stanowisk zrobotyzowanych musi być na dostatecznie wysokim poziomie na każdym szczeblu hierarchii w zakładzie.

Warto poświęcić kilka słów trudnościom. Pierwsza instalacja robota w firmie kategorii MŚP wymaga pokonania wielu przeszkód i wyrobienia nowych nawyków. Często robot jest pierwszą maszyną tak niebezpieczną dla ludzi i tak bezwzględnie wymagającą swojego wyłącznego miejsca oraz porządku i dyscypliny w otoczeniu. Każda aplikacja robotowa wymaga dokładnego przygotowania, przeprowadzenia analizy ryzyka, wydzielenia i ogrodzenia strefy zagrożonej, doboru i zainstalowania urządzeń ochronnych, przestrzegania od początku przepisów bezpieczeństwa. Dla tworzenia dobrych nawyków wśród pracowników, korzystne jest uruchamianie stanowiska i podejmowanie prób eksploatacji po wprowadzeniu wszystkich środków ochronnych.

Wdrożenie zrobotyzowanego systemu produkcji, zamiast spawania ręcznego, przy spełnieniu odpowiednich warunków, może dać bardzo wymierne korzyści, między innymi:

- podniesienie jakości wytwarzanych konstrukcji i następnie utrzymywanie wysokiej jakości, dzięki dużej powtarzalności w pełni zautomatyzowanego procesu spawania
- wymuszenie istotnej poprawy dyscypliny technologicznej w działach przygotowujących części do spawania
- zwiększenie wydajności procesu – w przypadku omawianych stanowisk proces robotyzacji podniósł wydajność (w przeliczeniu na jedną zmianę) niemal trzykrotnie, w porównaniu z pracą spawacza
- poprawa warunków pracy, co jest bardzo ważne, szczególnie po wprowadzeniu w Polsce europejskich przepisów normujących ochronę pracy. W zrobotyzowanych stanowiskach operator zostaje odsunięty od procesu spawania. Dzięki temu zdecydowanie zmniejsza się ekspozycja człowieka na szkodliwe czynniki jak hałas, opary i pyły, ciepło i światło łuku
- często następuje znaczące zdobycieie rangi firmy, co obejmuje wzrost ogólnej kultury technicznej, poprawę pozycji na rynku, uzyskanie możliwości szybkiego wprowadzania nowych produktów.