

Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach metodą cięcia plazmowego

Ryszard Hylla, Zbigniew Pilat

Ukosowanie blach tradycyjnie jest wykonywane ręcznie, za pomocą tzw. sekatorów. Tak realizowany proces jest pracochłonny, a jego efekt często nie jest zadowalający pod względem jakości. Proces ukosowania ręcznego stwarza ponadto bardzo niebezpieczne warunki pracy. Te mankamenty nie występują w zrobotyzowanych stanowiskach ukosowania. W artykule przedstawiono techniczne, organizacyjne i ekonomiczne aspekty robotyzacji ukosowania blach z zastosowaniem technologii cięcia plazmowego. Wykorzystano doświadczenia z wdrożenia w Fabryce Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A. zrobotyzowanego stanowiska ukosowania opracowanego przez zespół aplikacyjny Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP przy udziale specjalistów z TAGOR. Opisane stanowisko jest eksploatowane w zakładzie od blisko dwóch lat.

Słowa kluczowe: cięcie metali, ukosowanie blach, robotyzacja

Robotyzacja procesów spawalniczych angażuje ponad 25 % wszystkich robotów zainstalowanych w przemyśle [1]. Większość z nich realizuje operacje spawania łukowego i zgrzewania punktowego. Do coraz częściej zrobotyzowanych technologii należą procesy cięcia metalu, szczególnie wycinanie detali o małych gabarytach, docinanie otworów i fazowanie (ukosowanie) krawędzi elementów przeznaczonych do spawania. Robotyzacja tej ostatniej operacji jest tematem wspólnych prac badawczych i wdrożeniowych prowadzonych przez PIAP i TAGOR S.A. od kilkunastu lat [4].

Pierwsze zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach zrealizowano w drugiej połowie lat 90. [2, 3]. Zastosowano w nim robota URP-6 na torze jezdnym, opracowanego w PIAP (rys. 1). Detale układane były na jednym z dwóch stołów roboczych ustawionych wzdłuż toru, co umożliwiało obróbkę elementów długich i smukłych ułożonych na obu stolach. W stanowisku wykorzystano cięcie tlenowe. Opracowano i wdrożono szereg nowych rozwiązań, m.in. automatyczną zapalarkę i mechanizm kończenia przerwanych faz.

W 2007 r. TAGOR zakupił w PIAP kolejne zrobotyzowane stanowisko ukosowania z cięciem tlenowym. Tym ra-



Rys. 1. Pierwsze zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach z wykorzystaniem robota URP-6

Fig. 1. The first robotized cell for metal sheets beveling with use of the URP-6 robot



Rys. 2. Zrobotyzowane stanowiska ukosowania z technologią cięcia tlenowego wykorzystujące roboty KR 16 firmy KUKA

Fig. 2. Robotized cell for beveling with oxygen cutting technology and use of KUKA KR 16 robots

zem zastosowano robota stacjonarnego, model KR 16 firmy KUKA (rys. 2). Obrótowe stoły pozycjonujące rozmieszczone po obu stronach robota mają ruszty robocze o wymiarach ok. 900×900 mm. Stanowisko jest więc wykorzystywane głównie do ukosowania elementów małych, a także do dopalania dodatkowych wcięć i otworów w elementach oraz wstępnie zmontowanych podzespołach.

Wymienione dwie instalacje pozwoliły realizować ukosowanie elementów o małych gabarytach, produkowanych przez TAGOR, prawie w 100 % na stanowiskach zrobotyzowanych. Problemem pozostało ukosowanie elementów większych, o długości i szerokości przekraczających 1 m. Robotyzacja tej operacji wymagała zastosowania większego robota. Detale o znacznych gabarytach mają na ogół również znacznie dłuższe odcinki fazowane. Dlatego w nowym stanowisku zdecydowano się wykorzystać technologię cięcia plazmowego, która zapewnia większą szybkość, a także zdecydowanie wyższą jakość niż cięcie tlenowe [5]. Zrobotyzowane stanowisko zostało opracowane przez zespół PIAP przy znacznym udziale specjalistów z TAGOR. Po zainstalowaniu w hali zakładu, po pracach uruchomieniowych i próbach technologicznych, stanowisko zostało przekazane do eksploatacji produkcyjnej w końcu 2008 r.

Na początku 2009 r. stanowisko z robotem przejezdnym zostało wycofane z eksploatacji z powodu znacznego zużycia. Na jego miejsce TAGOR zamówił w PIAP kolejne zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach z cięciem tlenowym. Zastosowano w nim robota model KR 16F firmy KUKA. Stanowisko od strony obsługi jest bliźniacze ze stanowiskiem z robotem KR 16. Zastosowany model robota został wyposażony w nadgarstek przeznaczony do pracy w podwyższonej temperaturze (charakteryzuje go specjalne wykonanie uszczelnień i nadmuchi sprężonym powietrzem). Na stanowisku tym zastosowano stacjonarne stoły pozycjonujące bez możliwości obrotu, ale o większej powierzchni roboczej: 1500×1000 mm. Pozwala to ukosować elementy o większych gabarytach niż poprzednio.

Obecnie w TAGOR S.A. pracują trzy zrobotyzowane stanowiska ukosowania: dwa z cięciem tlenowym i jedno z cięciem plazmowym. Zachowano stanowiska ręcznego ukosowania z cięciem tlenowym, wykorzystywane głównie do pojedynczych detali, dla których nieopłacalne jest tworzenie nowego programu robota. Niekiedy fazy są wykonywane w procesie obróbki mechanicznej. Dotyczy to detali małych, o skomplikowanych kształtach i trudnym dostępie do faz narzędziem



Rys. 3. Zrobotyzowane stanowisko ukosowania z technologią cięcia plazmowego i wykorzystaniem robota KR 60 firmy KUKA

Fig. 3. Robotized cell for beveling with plasma cutting technology and use of KR 60 KUKA robot

typu palnik. Można więc powiedzieć, że TAGOR ma wiedzę i praktyczne doświadczenie, które pozwalają ocenić różne metody ukosowania blach, ich wady i zalety technologiczne, wpływ na warunki pracy oraz efektywność ekonomiczną.

Ukosowanie w procesie produkcji konstrukcji stalowych

W procesie produkcji konstrukcji spawanych z blach grubych, ukosowanie krawędzi elementów przeznaczonych do łączenia jest jedną z podstawowych operacji technologicznych. Decydujący wpływ na cechy konstrukcji jako wyrobu końcowego, w tym na tak ważne właściwości, jak wytrzymałość i trwałość, ma jakość spoin. Zasadniczy wpływ na parametry wykonywanych spoin ma jakość przygotowania elementów, w tym operacji ukosowania. Tradycyjnie są one realizowane ręcznie, przy wykorzystaniu cięcia tlenowego i tzw. sekatorów, tj. przyrządów ułatwiających prowadzenie palnika (rys. 4). Tak realizowany proces jest bardzo pracochłonny, a jego efekt często nie jest zadowalający pod względem jakości. Operatorzy mają trudności przy wykonywaniu faz na łukach, a zwłaszcza w miejscach przejścia z fazy prostoliniowej na odcinek łuku lub w drugą stronę. Parametry geometryczne fazy są tam na ogół za-



Rys. 4. Tradycyjne stanowisko ukosowania ręcznego – operator podczas pracy

Fig. 4. Traditional cell for manual beveling – operator during work

burzone, nierzadko pojawiają się wżery. To powoduje, że detal fazowany ręcznie musi być w kolejnej operacji doczyszczany, wyrównywany. Wydłuża to czas procesu ukosowania realizowanego ręcznie. Na obniżenie jego efektywności wpływa również fakt, że operator wykonujący fazowanie jednego detalu, aby uzyskać dobry dostęp do kolejnych krawędzi musi na ogół przekładać element, zmieniając jego sposób mocowania. Dodatkowo w stanowiskach ukosowania ręcznego panują bardzo trudne warunki pracy. Operator znajduje się bezpośrednio przy płomieniu. Narażony jest na wdychanie niebezpiecznych dymów i oparów, na hałas, poparzenia odpryskami i rozgrzanym detalem. Częste przekładanie detali wiąże się z zagrożeniem przygniecenia.

Te mankamenty znikają w stanowiskach zrobotyzowanych. Odsunięcie operatora od procesu praktycznie likwiduje wspomniane zagrożenia. Technologia zrobotyzowana zapewnia wysoką i bardzo stabilną jakość wykonywanych faz. Stanowiska zrobotyzowane dają również zdecydowanie wyższą wydajność. Można w nich wykorzystywać zarówno cięcie tlenowe, jak i plazmowe (w operacjach cięcia innych rodzajów materiałów stosuje się także cięcie laserowe i strumieniem wody).

Szczególnie efektywne jest zrobotyzowane ukosowanie przy wykorzystaniu technologii cięcia plazmowego, która pozwala uzyskać większą prędkość i mniejszą szczylinę cięcia. Dodatkowo w tym procesie węższa jest strefa wydzielania ciepła (SWC) oraz mniejsze deformacje materiału niż przy zastosowaniu cięcia tlenowego. Podczas cięcia plazmowego występuje jednak dużo wyższy poziom hałasu, a także niebezpieczne dla człowieka promieniowanie świetlne. Dlatego stanowiska wykorzystujące tę technologię muszą być wyposażone w odpowiednie zabezpieczenia i instalacje ochronne.

Budowa zrobotyzowanego stanowiska ukosowania z cięciem plazmowym

Stanowisko zainstalowane w TAGOR S.A. (rys. 5) wyposażone jest w następujące podstawowe urządzenia:

1. robot przemysłowy
2. zestaw plazmowy
3. szafa sterownicza stanowiska

4. pulpit stanowiska, pod którym umieszczony jest panel programowania robota
5. dwa stoły robocze – lewy i prawy
6. ochronna kabina przejezdna (czopuch)
7. dwa żurawiki – lewy i prawy
8. agregat wentylacyjny.

Centralnym urządzeniem stanowiska jest robot przemysłowy KR 60 L30 HA firmy KUKA. Narzędziem tnącym jest palnik plazmowy zasilany i sterowany przez układ sterowania zestawu Kjellberg FineFocus 800. Zaprogramowana trajektoria ruchu robota ma zapewnić cięcie blachy wzdłuż krawędzi, pod wymaganym kątem.

Robot został posadowiony na postumencie między dwoma stołami roboczymi (prawym P i lewym L), na których może być wykonywane cięcie. W związku z tym obszar pracy robota podzielony został na dwa sektory pracy – sektor lewy (L) oraz sektor prawy (P). Oba stoły są wentylowane od spodu. Orurowanie systemu wentylacji w obszarze stanowiska jest poprowadzone kanałami w posadzce. Tymi samymi kanałami poprowadzone są kable zasilające i sterujące, łączące elementy stanowiska.



Rys. 5. Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach metodą cięcia plazmowego z wykorzystaniem robota KR 60 firmy KUKA – widok ogólny

Fig. 5. Robotized cell for beveling with plasma cutting technology and use of KR 60 KUKA robot – general view

Wzdłuż stanowiska zamontowane jest torowisko, po którym porusza się kabina ochronna (czopuch). Ściany boczne kabiny są wykonane z pełnego materiału, zapewniającego wygłuszenie hałasu, który powstaje podczas cięcia plazmowego. W obu ścianach bocznych zainstalowano okna zasłonięte lamelami spawalniczymi, wykonanymi z materiału pochłaniającego promieniowanie świetlne pochodzące od łuku plazmowego. Obie frontowe ściany kabiny są zamykane drzwiami wypełnionymi lamelami spawalniczymi. Długość lamel jest tak dobrana, że umożliwia swobodne zamykanie i otwieranie drzwi ponad stołami. Po zamknięciu, drzwi kabiny są blokowane rygłem. Specjalny czujnik zamontowany obok rygła informuje układ sterowania o tym, czy drzwi są dobrze zamknięte. Robot nie zacznie pracy automatycznej, jeżeli drzwi z obu stron czopucha nie są prawidłowo zamknięte. Podobnie, jeżeli podczas pracy automatycznej drzwi zostaną otworzone, robot przerwie pracę i wyłączy zestaw plazmowy.

Na wszystkich czterech rogach kabiny zainstalowane są zestawy sygnalizacyjne zawierające trój kolorowe wieże sygnali-

zacyjne, sygnalizatory dźwiękowe z lampkami ostrzegawczymi oraz przyciski STOP AWARYJNY. Do zestawów sygnalizacyjnych dołączone są wyłączniki typu zderzak, zamontowane na każdym rogu kabiny (pomalowane w żółto-czarne pasy). Mają one zabezpieczać kabinę przed kolizją.

Na ścianie za kabiną zainstalowany jest pulpit operatorski do obsługi stanowiska. Jego płyta czołowa została podzielona na trzy obszary, grupujące przyciski i lampki związane z konkretnymi urządzeniami:

- sekcja „Robot”
- sekcja „FineFocus800”
- sekcja „Czopuch”.

W sekcji „Czopuch” znajduje się także włącznik oświetlenia wnętrza kabiny. Pod pulpitem operatorskim jest zamontowany uchwyt na panel programowania robota.

Pracę stanowiska nadzoruje układ sterowania zainstalowany w oddzielnej szafie, ustawionej obok szafy zestawu FineFocus 800 i szafy robota. W skład układu sterowania wchodzi m.in.:

- sterownik PLC zarządzający pracą stanowiska
- sterownik bezpieczeństwa nadzorujący elementy bezpieczeństwa całego stanowiska
- dwa sterowniki napędów przesuwu kabiny.

Nad szafą sterowniczą znajduje się główna skrzynka rozdzielcza zasilania elektrycznego stanowiska. Na lewo od niej są zamontowane zawory sprężonego powietrza i tlenu wraz z elementami regulującymi tych mediów.

Na lewo od szaf sterowniczych znajduje się agregat wentylacyjny (rys. 6) z własnym sterowaniem i osobno załączany. Agregat oczyszcza powietrze zasysane od dołu spod rusztów stołów roboczych oraz od góry przez otwór w dachu kabiny.

Odciągi w stołach są podzielone na cztery sekcje – po dwie w każdym stole. Sekcje są załączane przez przepustnice sterowane sygnałami z robota. Stoły są wentylowane tylko w czasie cięcia plazmą. W danym momencie otwarta jest tylko ta sekcja, nad którą robot wykonuje cięcie.

Do wspomaganiania operatorów podczas zakładania detali na stoły i ich zdejmowania, na końcach torowiska zainstalowano dwa żurawiki transportowe. Ponieważ żuraw musi obsłu-



Rys. 6. Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach metodą cięcia plazmowego z wykorzystaniem robota KR 60 firmy KUKA – instalacja odciągowa pyłów i dymów

Fig. 6. Robotized cell for beveling with plasma cutting technology and use of KR 60 KUKA robot - exhaust ventilation system

giwać obszar stołu roboczego, kabina przejezdna może znaleźć się w jego obszarze roboczym. Aby zapobiegać kolizjom, na ramieniu każdego żurawika zainstalowano wyłącznik krańcowy. Informuje on układ sterowania, że ramię danego żurawia jest w pozycji kolizyjnej z kabiną. W takiej sytuacji system sterowania uniemożliwia ruch kabiny w stronę tego żurawia. Przewody od tych wyłączników są poprowadzone po słupie żurawia, a następnie kanałami w posadzce doprowadzone do szafy sterowniczej stanowiska.

Działanie i obsługa zrobotyzowanego stanowiska ukosowania

Stanowisko jest obsługiwane przez dwóch operatorów. Przed przystąpieniem do pracy muszą oni włączyć i przygotować poszczególne urządzenia stanowiska. Działania te obejmują następujące czynności inicjalizacyjne polegające na włączeniu:

- zasilania stanowiska na głównej skrzynce rozdzielczej
- zasilania pneumatycznego i tlenu odpowiednimi zaworami na ścianie
- systemu wentylacji
- zasilania szafy sterowniczej stanowiska
- zestawu FineFocus
- robota KR 60 L30 HA.

Układ sterowania robota, po uruchomieniu programu systemowego, sprawdza warunki pracy, m.in. kontroluje stan obwodów bezpieczeństwa. Informacja o wyniku tych sprawdzeń jest podawana w postaci komunikatów na panelu robota. Operator odczytuje te komunikaty i podejmuje działania stosownie do ich treści i znaczenia (potwierdzenie, kasowanie, ustalenie parametrów).

Tę sekwencję czynności obsługa wykonuje raz, po włączeniu stanowiska. Instalacja ukosowania w TAGOR S.A. pracuje na ogół w trzymianowym systemie produkcji. Podczas przerwy w eksploatacji (sobota, niedziela) stanowisko nie jest wyłączane. Główne urządzenia przełącza się w stan czuwania (np. robot ma wyłączone napędy). Dzięki temu, przy wznowieniu produkcji nie ma konieczności powtarzania czynności inicjalizacyjnych.

Po przygotowaniu stanowiska do pracy operatorzy przechodzą do działań obsługowych w jednym z czterech trybów:

- praca ręczna – obejmuje oprogramowanie ukosowania nowego detalu
- praca automatyczna – obejmuje wykonanie ukosowania elementów na stole lewym lub prawym oraz regulację ustawień palnika
- obsługa przejezdnej kabiny ochronnej (czopucha) – obejmuje przemieszczanie kabiny pomiędzy stołami roboczymi
- obsługa sytuacji awaryjnych – układ sterowania stanowiska zapewnia monitoring stanu i działania poszczególnych urządzeń oraz ich współdziałania. Realizowany jest on przez system stopu awaryjnego i system bezpieczeństwa. Wykrycie sytuacji niebezpiecznych powoduje wprowadzenie stanowiska w stan sytuacji awaryjnej, który wymaga od operatora specyficznego działania.

W trybie pracy ręcznej operatorzy mogą wejść w obszar pracy robota. Po otwarciu kabiny zakładają nowy detal na wybranym stole roboczym. Ważną czynnością jest zainstalowanie na stole baz, które pozwolą umieścić kolejny detal w tej

samej pozycji. Następnie operatorzy przygotowują program dla nowego detalu. Na ogół odbywa się to na drodze modyfikacji ostatnio używanego programu. Dzięki takiemu podejściu praca operatorów ogranicza się do wprowadzenia pozycji i instrukcji sterowania palnikiem podczas fazowania, dostosowanych do nowego detalu. Cała struktura programu, fragmenty związane z komunikacją z operatorem oraz części odpowiedzialne za współpracę z innymi urządzeniami pozostają bez zmian. W efekcie czas opracowania programu dla nowego detalu jest bardzo krótki. Można jako punkt odniesienia przyjąć, że całkowite przygotowanie stanowiska do ukosowania detalu, w którym jest 6 faz prostoliniowych, trwa poniżej 15 min.

Pracą stanowiska w trybie automatycznym zarządza główny program aplikacyjny robota KUKA. Zostały w nim umieszczone sekwencje komunikatów informujących operatorów o stanie poszczególnych urządzeń i podpowiadających kolejne czynności do wykonania. Oprogramowano również okna decyzyjne, w których pracownik obsługujący stanowisko może wybierać sposób dalszego działania. Informacje te pojawiają się na panelu programowania robota. W ten sposób zorganizowana jest konwersacja operatora z systemem, co znakomicie ułatwia pracę ze stanowiskiem, a zwłaszcza ogranicza błędy obsługi.

Na początku głównego programu aplikacyjnego robot zajmuje pewną wyróżnioną pozycję, tzw. pozycję neutralną-startową (ramię robota pomiędzy stołami), i na wyświetlaczu panelu programowania pojawia się okno decyzyjne umożliwiające wybór jednej spośród trzech funkcji realizowanych przez stanowisko:

- ukosowanie na stole lewym
- ukosowanie na stole prawym
- wykonanie regulacji palnika.

Przed rozpoczęciem ukosowania operator musi przesunąć czopuch do odpowiedniej pozycji prawej lub lewej, w zależności od tego, gdzie robot ma wykonywać fazowanie. Niemożliwy jest start programu robota dla ukosowania na konkretnym stole, jeśli kabina nie znajduje się nad tym stołem. W tym przypadku próba wywołania programu zostaje zablokowana, a na ekranie panelu programowania robota pojawia się stosowny komunikat.

Podczas ukosowania świecą się odpowiednie lampki sygnalizacyjne na pulpicie operatora i na rogach kabiny ochronnej. Po wykonaniu cięcia robot ustawia się w pozycji neutralnej-startowej, a na ekranie panelu programowania pojawia się ponownie okno z podpowiedzią, jak wybrać jedną z trzech możliwości dalszej pracy stanowiska.

Po wybraniu przez operatora opcji „Regulacja palnika”, robot dochodzi do położenia dającego obsłudze wygodny dostęp do palnika. W celu wykonania czynności regulacyjnych lub wymiany elementów eksploatacyjnych, operator musi wejść do kabiny w obszar pracy robota. Program aplikacyjny robota zostaje wstrzymany. Po zakończeniu działań regulacyjnych i wyjściu z kabiny, operator wznawia wykonanie programu i robot powraca do pozycji neutralnej-startowej, a na ekranie panelu programowania pojawia się ponownie okno z podpowiedzią dotyczącą możliwości dalszej pracy stanowiska.

Przejazd kabiny ochronnej jest inicjowany przez pracownika obsługującego stanowisko za pomocą przycisków na pulpicie operatorskim. Ruch kabiny nie jest możliwy, gdy robot nie

znajduje się w pozycji neutralnej-startowej. Gdy kabina znajduje się w ruchu, obsługa oraz otoczenie stanowiska są informowane sygnałami dźwiękowymi i świetlnymi o przejeździe kabiny.

Problemy eksploatacyjne

Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach metodą cięcia plazmowego charakteryzuje się wysoką niezawodnością pracy. W okresie wdrożeniowym (ok. 3 miesiące) pojawiały się awarie układu chłodzenia, palnika plazmowego, czujnika i jednostki filtrującej. Jedną z głównych przyczyn występowania tych awarii był brak doświadczenia i wiedzy pracowników obsługujących i dozoru. Obecnie na stanowisku nie występują awarie, które powodowałyby długie przestoje. W okresie dotychczasowej eksploatacji (ok. 1,5 roku w reżimie produkcyjnym) wystąpiła jedna awaria braku połączenia elektrycznego, spowodowana usterką styków na złączach, oraz dwie awarie palnika. W celu ograniczenia przestoju na skutek awarii palnika TAGOR zakupił palnik rezerwowo. Jednocześnie przeanalizowano dokładnie sytuacje, w których dochodziło do awarii (obsługa dokumentuje okoliczności takich przypadków). Widać, że palnik plazmowy jest bardzo wrażliwy na zatkanie z elementem fazowanym. Następuje wtedy zniszczenie jednego z elementów dyszy gazowej. Jest to część eksploatacyjna, podlegająca okresowej wymianie i usunięciu takiej awarii nie jest zbyt czasochłonne (pojedyncze minuty). Przyczyną zaistnienia takiej sytuacji jest najczęściej błąd obsługi, np. niestaranne umieszczenie kolejnego detalu. W stanowisku zastosowano wiele zabezpieczeń ograniczających ryzyko powstania takich awarii, jak i minimalizujących ich skutki, m.in. kontrola odległości palnika od detalu, czujnik kolizji w mocowaniu palnika. Działania te, w połączeniu z podniesieniem umiejętności (szkolenia) i nabyciem doświadczenia przez obsługę, pozwoliły ograniczyć częstość awarii do poziomu, który nie wpływa na płynność produkcji.

Stanowisko, ze względu na konfigurację (rewersyjna praca na dwóch stołach) i wysoką wydajność, wymaga stałej obsługi przez dwóch pracowników. Pracują oni pojedynczo po dwóch stronach. Obsługa stanowiska przez jednego pracownika powoduje skrócenie efektywnego czasu pracy robota w ciągu 8-godzinnej zmiany o około 75 % (robot czeka na pracownika).

Bardzo wysoka wydajność fazowania (duża prędkość cięcia plazmowego) wymaga od dozoru oraz działu technologicznego dobrego planowania produkcji, tak aby zabezpieczyć na czas odpowiednią liczbę elementów do fazowania. Ważnym czynnikiem jest też logistyka transportu wewnątrz zakładu i na hali (gdzie jest zainstalowane stanowisko) – musi zapewniać sprawne dostarczanie elementów do fazowania i odbiór detali pofazowanych.

Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach metodą cięcia plazmowego podlega regularnym, okresowym przeglądom technicznym. Przeglądem i obsługą techniczną objęta jest jednostka filtrująca (co 2 tygodnie czyszczenie filtrów), układ chłodzenia, połączenia elektryczne, zabezpieczenia, wyłączniki krańcowe. Przeglądy robota są dokonywane według zaleceń producenta, stosownie do liczby przepracowanych godzin.

Stanowisko poddawane jest okresowemu czyszczeniu i odkurzeniu. Co dwa tygodnie usuwana jest zendra i resztki po fazowaniu z wanien znajdujących się pod wentylowanymi stołami roboczymi.

Dzięki prowadzonej regularnie obsłudze i kontroli stanowiska oraz wysokim kwalifikacjom obsługi obecnie stanowisko wykazuje dyspozycyjność techniczną na poziomie 99,7 %.

Ocena efektywności zrobotyzowanego ukosowania metodą cięcia plazmowego

Po okresie półtora roku użytkowania zrobotyzowanego stanowiska ukosowania blach metodą cięcia plazmowego, pracującego w reżimie produkcyjnym, można dokonać oceny zastosowanej technologii i jej wdrożenia. Uzyskane efekty można przedstawić w trzech grupach: techniczne, organizacyjne i ekonomiczne.

Efekty techniczne związane są z wysoką, powtarzalną jakością wykonania faz spawalniczych oraz ze stworzonymi możliwościami technicznymi i uzyskanymi parametrami technicznymi instalacji produkcyjnej, w której zastosowano technologię zrobotyzowanego ukosowania blach z wykorzystaniem cięcia plazmowego.

Wysoka jakość wykonania to uzyskanie powtarzalnych faz spawalniczych z tolerancją wymiarową maks. 0,5 mm, czysta, płaska powierzchnia fazowania, pozbawiona trudno usuwanej zendry, łatwy w usunięciu grat (rys. 7).



Rys. 7. Przykładowy detal po ukosowaniu metodą cięcia plazmowego na stanowisku zrobotyzowanym

Fig. 7. Element after beveling with use of the plasma cutting in the robotized cell

Uzyskane parametry techniczne (prędkość ukosowania, czas inicjowania procesu) są wyższe około trzy–cztery razy w porównaniu z powszechnie stosowanymi metodami tlenowego ręcznego fazowania. Na przykład, uzyskiwane prędkości wykonywania fazy o wymiarach 10/45° wynoszą 0,02 m/s (metodą ręczną 0,006 m/s), natomiast fazy o wymiarach 20/45° wynoszą 0,02 m/s (metodą ręczną 0,005 m/s).

Czas inicjowania procesu na stanowisku zrobotyzowanego ukosowania blach z wykorzystaniem cięcia plazmowego wynosi do 1 s, podczas gdy w powszechnie stosowanej metodzie cięcia tlenowego 4–8 s (podgrzewanie). Uwzględniając czasy pomocnicze oraz powyższe parametry, wykonanie faz elementów realizuje się nawet 4 razy szybciej niż tradycyjną metodą cięcia tlenowego na stanowiskach ukosowania ręcznego.

Konfiguracja stanowiska oraz zastosowanie robota o sześciu stopniach swobody stwarza nieograniczone możliwości wyko-

nania faz z góry i z dołu bez obracania elementu. Zasięg robota pozwala wykonywać ukosowanie na stołach o polu roboczym 1600×3200 mm. Zastosowany mechanizm kontroli odległości palnika od ukosowanego detalu gwarantuje zachowanie stałej szerokości fazy przy deformacjach lub odkształceniach termicznych detalu.

Efekty organizacyjne związane są z konfiguracją i rewersyjną pracą stanowiska. Dzięki takiemu rozwiązaniu technicznemu stworzono warunki do bardzo dobrego wykorzystania czasu pracy obsługi oraz zminimalizowano czasy pomocnicze T_{prz} (czas przygotowawczo-zakończeniowy). Stanowisko umożliwia wykonywanie jednocześnie faz na kilku elementach o różnych postaciach konstrukcyjnych. Brak częstej obsługi technicznej i niezawodność pracy stwarza możliwość racjonalnego planowania produkcji.

Efekty ekonomiczne powiązane są wprost z wyżej już opisanymi efektami technicznymi i organizacyjnymi. Uzyskane efekty pozwoliły na wprowadzenie nowych normatywów technologicznych. Normatywy zostały pomniejszone nawet czterokrotnie w zależności od postaci wykonywanej fazy. Uwzględniając udział pracochłonności operacji fazowania w ogólnej pracochłonności wykonania wyrobu, uzyskano obniżenie pracochłonności ogólnej wykonania o ok. 2 %, co przekłada się na obniżenie kosztów wykonania wyrobu. Atrakcyjność cenowa i szerokie możliwości techniczne pozwalają na wykonywanie usług dla poddostawców i klientów zewnętrznych firmy TAGOR oraz powiększanie wartości sprzedaży.

Jest też czwarta, mniej wymierna, ale równie ważna grupa efektów wprowadzenia technologii zrobotyzowanego ukosowania blach z wykorzystaniem cięcia plazmowego. Obejmuje ona **poprawę bezpieczeństwa i warunków pracy**.

Podsumowanie

Technologia zrobotyzowanego ukosowania blach metodą cięcia plazmowego sprawdziła się w procesie produkcji elementów konstrukcyjnych z blach grubych, przeznaczonych do łączenia za pomocą spawania łukowego. Potwierdza to jej zastosowanie w stanowisku, które zostało wdrożone w zakładzie TAGOR S.A. Wysoki poziom techniczny opracowanych rozwiązań został doceniony w licznych konkursach, prezentacjach i wystawach. Stanowisko otrzymało do tej pory:

- Złoty Medal Międzynarodowej Wystawy Innowacji, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki Brussels EUREKA 2009
- Złoty Medal Międzynarodowej Wystawy Wynalazków IWIS 2009

mgr inż. Ryszard Hylla ukończył studia na Wydziale Mechaniczno-Hutniczym Politechniki Śląskiej w Gliwicach (1985) oraz studia podyplomowe na Wydziale Górniczym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (1988, 2006). Jest pracownikiem Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A. w Tarnowskich Górach. Pełni funkcję Dyrektora ds. Technicznych. Jego praca zawodowa od 25 lat związana jest z projektowaniem, wytwarzaniem, kontrolą konstrukcji spawanych i produkcją zmechanizowanych obudów górniczych.
e-mail: ryszard.hylla@tagor.eu

- Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Warszawa 2010
- Złoty Medal Międzynarodowych Targów Poznańskich 2010 w kategorii: „Transfer Wyników Badań Naukowych do Praktyki Gospodarczej”
- Wyróżnienie w Konkursie Polski Produkt Przyszłości 2010 w kategorii „Technologie Przyszłości w Fазie Wdrożeniowej”.

Bibliografia

1. World Robotics 2004. United Nations, International Federation of Robotics (IFR), Geneva (Switzerland) 2004.
2. Domański P., Kubica J., Pilat Z.: *Technologiczne i techniczne problemy robotyzacji ukosowania blach*. Automation '97, Warszawa 1997, T II, s. 529-536.
3. Pilat Z.: *Zrobotyzowane stanowisko ukosowania blach – doświadczenia z eksploatacji*. PAR 7/8/98.
4. Pilat Z.: *Robotyzacja cięcia i ukosowania blach – 15 lat doświadczeń*. Przegląd Spawalnictwa 6/2010.
5. Klimpel A.: *Spawanie, zgrzewanie i cięcie metali*. WNT Warszawa 1999.
6. [www.kuka-robotics.com/germany/de] - KUKA Roboter GmbH.
7. [<http://kjellberg.de/german/plasma/index.php>] - Kjellberg Finsterwalde Plasma und Maschinen GmbH.

Robotised cell for metal sheets bevelling with use of plasma cutting

Traditionally, metal sheets bevelling has been performed manually. It is a very laborious process, whose effects are often not satisfactory in terms of quality. Moreover, manual bevelling is performed in highly hazardous work environment. Robotized cells eliminate all such disadvantages. The economic, organizational and technical aspects of the robotised metal sheets bevelling with of plasma cutting are presented in the paper. Authors have utilised the experiences from preparation and application of robotized cell for metal sheets bevelling by plasma cutting. It was first developed through the joint effort of PIAP's design & implementation team with the help of specialists from TAGOR S.A. In this factory the cell was installed and is exploited since two years.

Keywords: metal cutting, metal sheets bevelling, robotization

mgr inż. Zbigniew Pilat jest absolwentem Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1984). Od początku pracy zawodowej związany z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów PIAP. Obecnie kieruje Ośrodkiem Mechatroniki. Specjalizuje się w automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych. Prowadzi wiele prac wdrożeniowych. Bierze także udział w krajowych i międzynarodowych projektach naukowo-badawczych w obszarze automatyki i robotyki.
e-mail: zpilat@piap.pl