

*Eugeniusz Idziak**, *Roman Szyszka**, *Andrzej Siennicki***, *Bogdan Turek***

ZROBOTYZOWANE SPAWANIE CZERPAKÓW KOPAREK

1. Wprowadzenie

Czerpaki to elementy koparek kołowych ulegające szybkiemu zużyciu na skutek urabiania bardzo dużych ilości nadkładu zalegającego nad podkładem węgla. Rocznie koparkami kołowymi pracującymi w BOT KWB „Bełchatów” SA zdejmuje się około 130 mln m³ nadkładu. Urabianie takiej masy ziemi jest możliwe tylko sprawnymi technicznie koparkami (tab. 1).

Koparkami SRs 2000 urabiany jest również węgiel. Warunki geologiczne są bardzo zróżnicowane — oscylują w zakresie od I do V klasy urabialności. Zużycie czerpaków zależy od dynamiki urabialności, klasy urabialności nadkładu, własności wytrzymałościowych materiałów, z których zbudowany jest czerpak, odporności krawędzi tnących na ścieranie, geometrii oraz wartości kąta przyłożenia.

W 2000 roku wdrożono w kopalni zrobotyzowane stanowisko do napawania czerpaków napoiną trudnościeralną. Napawanie naroży czerpaków wydłużyło 3-krotnie ich czas eksploatacji. Ponadto zlikwidowano bardzo szkodliwe i uciążliwe dla pracowników stanowisko ręcznego napawania (2).

Obecnie roczne zapotrzebowanie na regenerowane czerpaki wynosi (rys. 1–3):

- dla koparek SchRs 4000: czerpaki 4000 l — 110 szt.,
- dla koparek SchRs 4600: czerpaki 3500 l — 170 szt.,
- dla koparek SRs 2000: czerpaki 900 l — 185 szt.

Czerpaki są zbudowane z elementów stalowych o grubości od 10 do 60 mm.

Proces regeneracji czerpaków obejmuje:

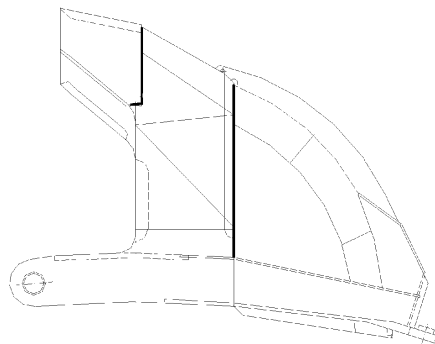
- wycięcie zużytych elementów, np. naroży, noży, płaszczy;
- dopasowanie nowych elementów;
- spawanie.

* ZPR BOT KWB „Bełchatów” SA

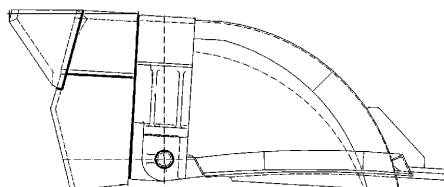
** CLOOS POLSKA sp. z o.o., Świdnica

TABELA I
Parametry techniczne koparek nadkładowych pracujących w BOT KWB „Bełchatów” SA

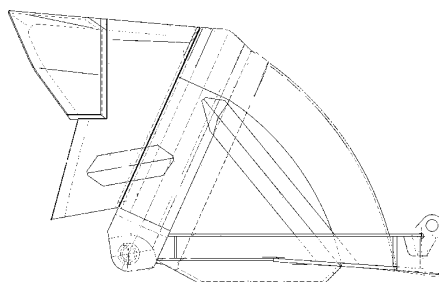
Typ koparki	Ilość maszyn, szt.	Średnica koła czerpakowego, m	Ilość czerpaków na kole, szt.	Pojemność czerpaka, m ³	Waga czerpaka, kg	Ilość wysypów na min.	Średnia wydajność koparki, m ³	Klasa urabialności
SchRs 4600	3	17,5	11	3,5	2774	34	4400÷5400	I-IV
SchRs 4000	3	17,3	16	4,0	2919	46	4000÷6500	I-IV
SRs 2000	5	9,2	18	1,0	1215	92	2000÷2400	-



Rys. 1. Czerpak 4000 l — masa 3390 kg



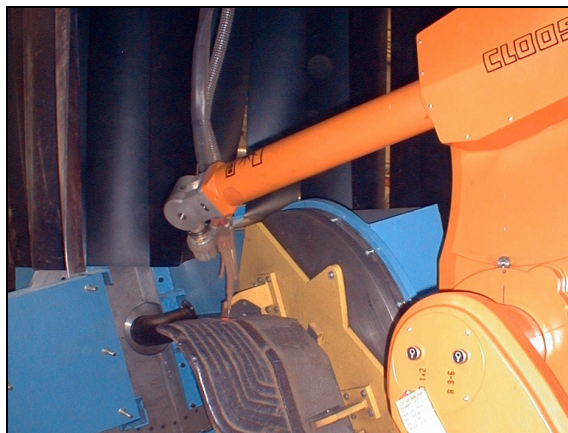
Rys. 2. Czerpak 3500 l — masa 2765 kg



Rys. 3. Czerpak 900 l — naroża odlewane, masa 1745 kg

Są to operacje powtarzalne i wykonywane w czasie każdej regeneracji, ale w różnym zakresie.

Przeprowadzane operacje spawalnicze są pracami pracochłonnymi, szkodliwymi i uciążliwymi dla zdrowia spawaczy. W celu wyeliminowania negatywnych czynników dla zdrowia pracowników oraz obniżenia kosztów i podwyższenia jakości regeneracji, podjęto decyzję o maksymalnym zautomatyzowaniu procesu regeneracji czerpaków. Należy zaznaczyć, że na powyższą decyzję duży wpływ miały efekty, jakie osiągnięto po wdrożeniu zrobotyzowanego stanowiska do napawania naroży czerpaków (rys. 4).



Rys. 4. Proces zrobotyzowanego napawania naroży czerpaków

Po analizie całego procesu regeneracji czerpaków ustalono, jakie operacje będą wykonywane w trybie automatycznym:

1. wycinanie zużytych elementów palnikiem tlenowym,
2. spawanie nowych elementów metodą o dużej wydajności,
3. napawanie wybranych powierzchni czerpaków drutami rdzeniowymi.

Ponadto założono, że stanowisko powinno umożliwiać spawanie innych konstrukcji o maksymalnych wymiarach $2000 \times 3000 \times 5000$ mm i wadze do 5000 kg oraz cięcie plazmowe elementów stalowych o grubości do 40 mm. Ważnym zespołem stanowiska powinien stanowić układ wentylacji wyciągowej oraz system bezpieczeństwa obsługi (1).

2. Wybór koncepcji stanowiska zrobotyzowanego

Przy wyborze koncepcji stanowiska kierowano się parametrami technicznymi czerpaków oraz wymaganiami technologicznymi procesu regeneracji. W projekcie należało uwzględnić:

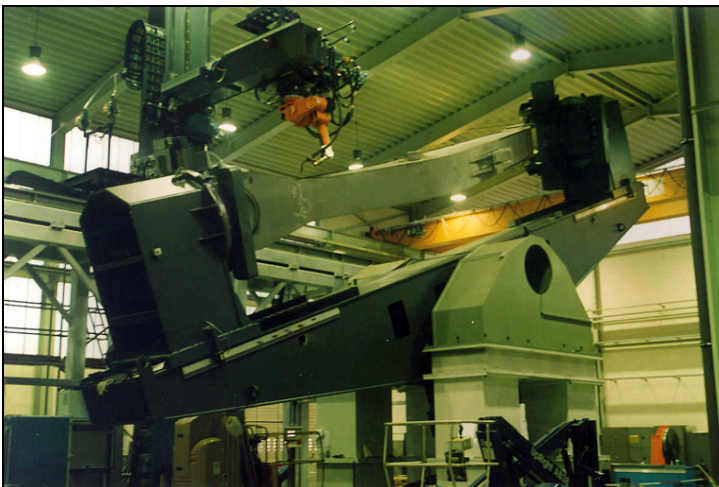
- trzy typy czerpaków o pojemności 900, 3500 i 4000 l. Każdy z czerpaków mocowany jest w różny sposób na kole koparki, w związku z czym oprzyrządowanie do zamocowania czerpaka na manipulatorze spawalniczym powinno posiadać wymienne bazy i uchwyty dostosowane do każdego czerpaka;
- proces regeneracji czerpaków, który obejmuje odcinanie i spawanie naroży lub naroży wraz z nożem. Kształt trajektorii cięcia i spawanie przebiega w przestrzeni w układzie XYZ. W związku z tym w celu spełnienia wymogu wykonania spoin w pozycji podłonej konieczne jest zastosowanie pozycjonera o dwóch osiach obrotu. Ponadto osie po-

- zycjonera powinny być zsynchronizowane z osiami robota tak aby można było proces spawania łuków wykonywać przy odpowiednim usytuowaniu uchwytu spawalniczego;
- kształt czerpaków i konieczność wykonywania spoin dwustronnych wymagającą wprowadzenie robota do środka czerpaka, oraz prowadzenie procesu spawania po stronie zewnętrznej czerpaka. Aby ten wymóg spełnić należy zastosować układ jezdni do przemieszczenia robota w osiach XYZ;
 - zastosowanie kilku technologii tzn. cięcia gazowego, cięcia plazmowego, spawanie i napawanie na jednym stanowisku przez jeden robot spowodowało potrzebę zastosowania tzw. systemu automatycznej wymiany narzędzia;
 - zwiększenie wydajności procesu spawania ze względu na znaczne grubości spoin, z tego powodu zastosowano metodę TANDEM polegającą na równoczesnym spawaniu dwoma drutami, które stapiają się tworząc jedno jeziorko spawalnicze.

W wyniku analizy powyższych wymagań oraz biorąc pod uwagę warunki lokalizacyjne i inne czynniki technologiczne rozpatrywano dwie koncepcje budowy stanowiska, wykorzystując do tego celu środki techniczne z oferty firmy Cloos, które zostały sprawdzone w innych aplikacjach robotów.

WARIANT I

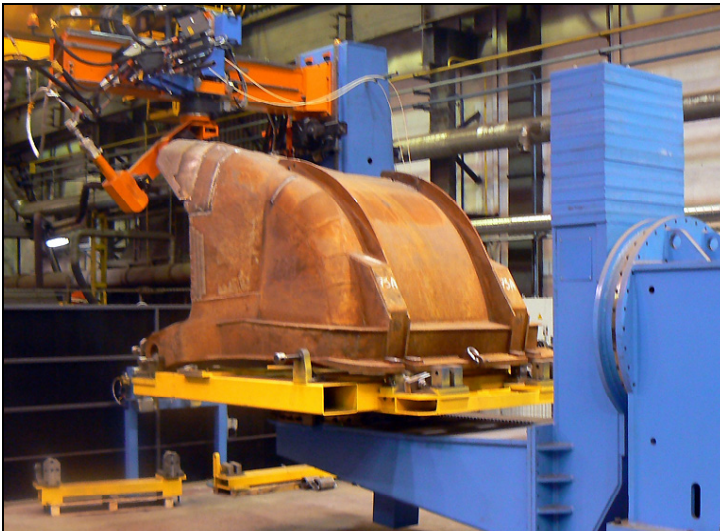
Czerpak umieszczony jest pomiędzy tarczami pozycjonera o poziomej osi obrotu. Pozycjoner zainstalowany jest na stabilnym łożu maszynowym, które przechyłane jest przy pomocy drugiego obrotownika. Daje to możliwość pozycjonowania czerpaka w taki sposób, że spoiny będą wykonywane w pozycji podolnej. Robot natomiast zainstalowany jest na wysięgniku kolumny i może przejeżdżać w trzech kierunkach w osi XYZ (rys. 5).



Rys. 5. Wariant I — pozycjoner poziomy

WARIANT II

Czerpak zostanie położony na tarczy manipulatora przechylny-obrotowego w taki sposób, aby środek ciężkości czerpaka znajdował się w osi tarczy. Jednocześnie tarcza manipulatora i przyrząd mocujący nie mogą blokować dostępu w dojściu robota do spoin. Robot zostanie zainstalowany na przejeźdnym wysięgniku i podobnie jak w wariantcie pierwszym przemieszczał się będzie we współrzędnych XYZ (rys. 6).



Rys. 6. Wariant II — pozycjoner przechylny-obrotowy

Po wykonaniu symulacji komputerowych pracy stanowiska wg wariantu I i II wybrano wariant II z następujących względów:

- mniejsza powierzchnia stanowiska,
- prostsze fundamentowanie,
- brak konieczności wykonywania wykopu pod pozycjoner przechylny.

Wybór tej wersji wymagał jednak wykonania oprzyrządowania uwzględniającego odpowiednie wyważenie czerpaka na pozycjonerze i przeprowadzenie obliczeń komputerowych środka ciężkości.

3. Opis koncepcji docelowej stanowiska zrobotyzowanego

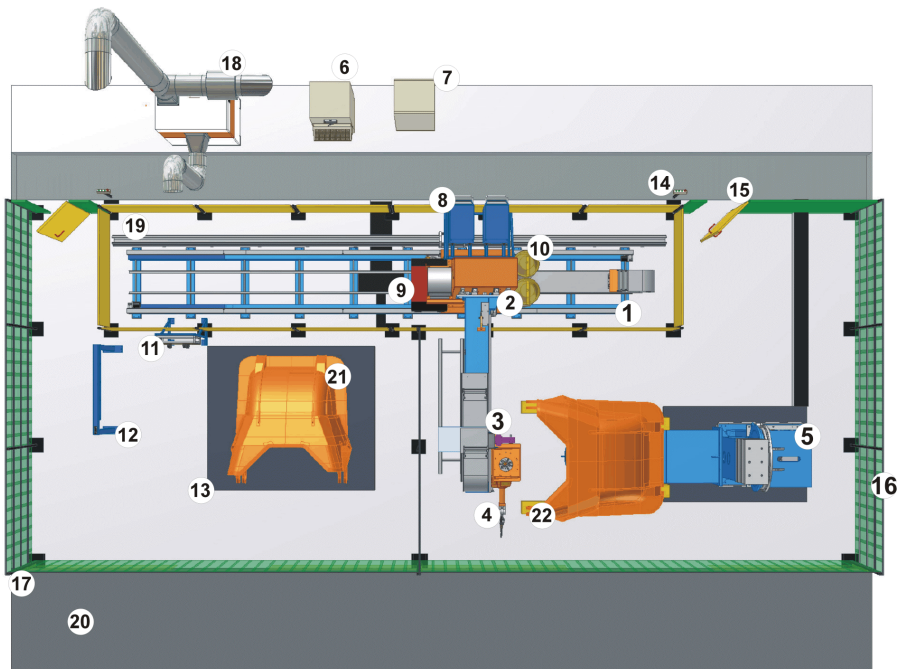
Robot spawalniczy ROMAT 320 podwieszony jest na poziomej jezdni QVE o długości przejazdu 2 m. Jezdnia QVE zamocowana jest na poprzecznej jezdni VVE o zakresie przejazdu 2 m. Jezdnia VVE umieszczona jest na wózku jezdni LVEb 50 000 N (o długości przejazdu 8000 mm).

Obszar pracy robota podzielony jest na dwa stanowiska pracy. Każde ze stanowisk (rys. 7) jest wyposażone w zabezpieczenia fotoelektryczne oraz pulpit „start” umożliwiające łatwe uruchamianie programów.

Na stanowisku po lewej stronie umieszczone jest oprzyrządowanie służące do mocowania trzech typów czerpaków do cięcia tlenem lub plazmą. Na stanowisku po prawej stronie umieszczony jest pozycjoner przechylny-obrotowy WPEK-DP-KP 75000N.

Pozycjoner WPEK-DP-KP 75000N umożliwia manipulowanie elementem spawanym w dwóch osiach. Na stanowisku zrobotyzowanym zastosowanych jest pięć różnych technologii:

- 1) spawanie tandem,
- 2) spawanie jednodrutowe,
- 3) napawanie,
- 4) cięcie tlenem,
- 5) cięcie plazmą.

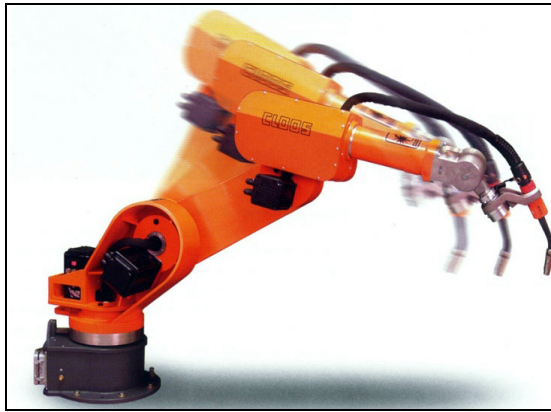


- | | |
|--|--|
| 1 - Jezdnia LVEB 50 000N - 8 m. | 12- Stojak z magazynkiem na uchwyt do cięcia tlenem. |
| 2 - Jezdnia pionowaVVE - 2 m. | 13- Przyrząd do mocowania czerpaka na stanowisku cięcia. |
| 3 - Jezdnia pozioma QVE - 2 m. | 14- Pulpit do uruchamiania programów. |
| 4 - Robot spawalniczy ROMAT 320. | 15- Drzwi wejściowe na stanowisko. |
| 5 - Pozycjoner WPEK-DP-KP-75000 N. | 16- Wygrozdzenie stanowiska zrobotyzowanego. |
| 6 - Szafa sterownicza ROTROL II. | 17- Bariera fotoelektryczna. |
| 7 - Szafa pośrednicząca. | 18- Urządzenie fitro-wentylacyjne 4000 m3/h. |
| 8 - Urządzenia spawalnicze QUINTO 603. | 19- Kanał odciągowy. |
| 9 - Plazma MAX 200. | 20- Droga transportowa. |
| 10- Pojemniki z drutem. | 21- Czerpak 4000 I na stanowisku do cięcia. |
| 11- Stacja zaworów do cięcia tlenem. | 22- Czerpak 4000 I na stanowisku do spawania. |

Rys. 7. Zrobotyzowane stanowisko do spawania czerpaków

3.1. Opis wybranych podzespołów wchodzących w skład zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego (3)

Robot spawalniczy ROMAT 320 (rys. 8) posiada konstrukcję opartą na płaskich przegubach obrotowych. Standardowo ma sześć stopni swobody: trzy osie podstawowe służą do zgrubnego, a trzy osie ręki do precyzyjnego pozycjonowania uchwytu spawalniczego. Napęd poszczególnych osi robota stanowią serwo silniki prądu zmiennego. Napęd z silników na osie przekazywany jest za pomocą przekładni zębatych. Zastosowany system pomiarowy i regulacyjny zapewnia precyzyjne pozycjonowanie i dokładne odtworzenie drogi spawania. Dodatkowy komputer zabezpieczający kontroluje prędkości robota w trybie programowania i testowania. Udźwig robota wynosi 15 kg. Przestrzeń robocza ma kształt sferyczny o średnicy 4200 mm i wysokości 2500 mm.



Rys. 8. Robot ROMAT 320

Szafa sterownicza (rys. 9) posiada budowę modułową. W skład przedstawionego stanowiska wchodzi szafa sterownicza, przeznaczona do sterowania stanowiskami zrobotyzowanymi posiadającymi do 18 osi swobodnie programowanych. W tylnej części szafy sterowniczej zabudowany jest układ chłodzenia pasywnego umożliwiający poprawną pracę układu sterowania w temperaturze od 5 do 45°C przy maksymalnej wilgotności do 80%.

Programowanie robota spawalniczego odbywa się za pomocą przenośnego pulpitu programowania (rys. 10) wyposażonego w 10" kolorowy, dotykowy wyświetlacz LCD. Komunikacja między układem sterowania i użytkownikiem odbywa się poprzez interfejs graficzny. Polecenia języka programowania robota „CAROLA” przedstawione są za pomocą piktogramów. Język ten pozwala na używanie następujących grup poleceń: programowanie punktów i dróg przejazdu, zadawanie list parametrów spawania w trybie „online” i „offline”, wygładzanie punktów i dróg spawania, programowanie w trzech systemach koordynacyjnych, wieloprogramowość, zadawanie punktu centralnego narzędzia (i jego zmiana w czasie wykonywania programu), wyświetlanie informacji na ekranie, powtarzanie frag-

mentów programu, zmiana prędkości w trybie CP, system wyjść i wejść cyfrowych, interpolację kołową i części okręgu, technikę podprogramów i procedur, równoległe przesunięcie zaprogramowanych punktów, oscylacje uchwytu spawalniczego, definicję figur zakosowania, generację punktów za pomocą rozkazu STORPOS, wygładzanie parametrów spawania, nadzór procesu spawania itd.

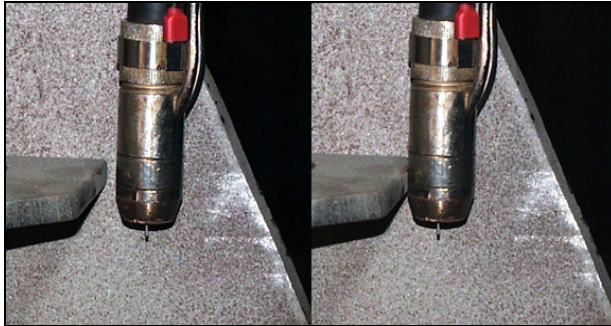


Rys. 9. Szafa sterownicza ROTROL



Rys. 10. Przenośny pulpit programowania

Sensor dotykowy (rys. 11) służy do znalezienia początku spoiny oraz kompensacji tolerancji podzespołu. Robot wykonuje ruch szukania. Przy kontakcie z podzespołem zamyka się obwód prądowy i ruch robota zostaje zatrzymany. Znaleziony wektor przesunięcia pomiędzy zaprogramowanym i rzeczywistym położeniem podzespołu wykorzystywany jest do modyfikacji przebiegu programu.



Rys. 11. Sensor dotykowy

Sensor laserowy służy do szukania początku i końca spoiny, śledzenia złącza spawanego, określenia objętości spoiny. Zasada działania sensora laserowego polega na skanowaniu powierzchni podzespołu za pomocą promienia lasera. Kamera odbiera odbite od powierzchni podzespołu refleksy światła. Kurtyna świetlna w kształcie trapezu omiata powierzchnię podzespołu o szerokości od 5 do 65 mm. Sterownik sensora porównuje zeskanowany obraz z zapamiętanym wzorcem. Ustalone rezultaty pomiaru sterownik przesyła do układu sterowania robota.

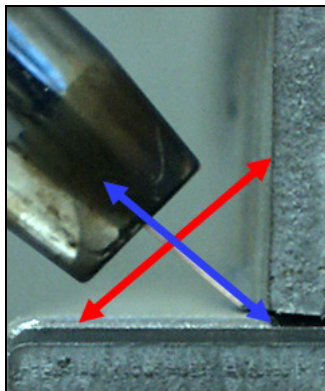
Sensor prądowy (rys. 12) służy do korekty położenia uchwytu spawalniczego przy wykonywaniu następujących typów spoin:

- spoiny zakładkowe o boku $b >$ niż 10 mm,
- spoiny doczołowe ukosowane na „V”,
- spoiny pachwinowe,
- spoiny wielowarstwowe.

Funkcjonowanie sensora prądowego opiera się na pomiarze prądu spawania podczas ruchu zakosowego palnika spawalniczego. W wyniku analizy prądu spawania przez układ pomiarowy sensora, otrzymujemy następujące kierunki korekty: w lewo, w prawo, wysokość „+”, wysokość „-”.

Wyposażenie do spawania metodą TANDEM. Przy metodzie tandem dwa niezależne łuki spawalnicze jarzą się w jednym jeziorku. Druty są rozdzielone potencjałowo i łuki spawalnicze sterowane są niezależnie przez dwa źródła prądu. Podstawową zaletą metody TANDEM jest duża wydajność procesu. Podstawowymi składnikami wyposażenia do spa-

wania metodą TANDEM są dwa źródła prądu: GLC 603 QUINTO oraz specjalny palnik spawalniczy. Zastosowane urządzenia spawalnicze umożliwiają osiągnięcie maksymalnych parametrów spawania 645 Amper/44 Volt przy 60% ED.



Rys. 12. Sensor prądowy

Centralne urządzenie filtrowentylacyjne składa się z części filtracyjnej z automatycznym oczyszczaniem filtra oraz części wentylatorowej. Ujęte zanieczyszczenia przechodzą z prądem powietrza przez instalację rurową do urządzenia, gdzie zostają zatrzymane na powierzchni filtrów nabojoych z membraną teflonową.

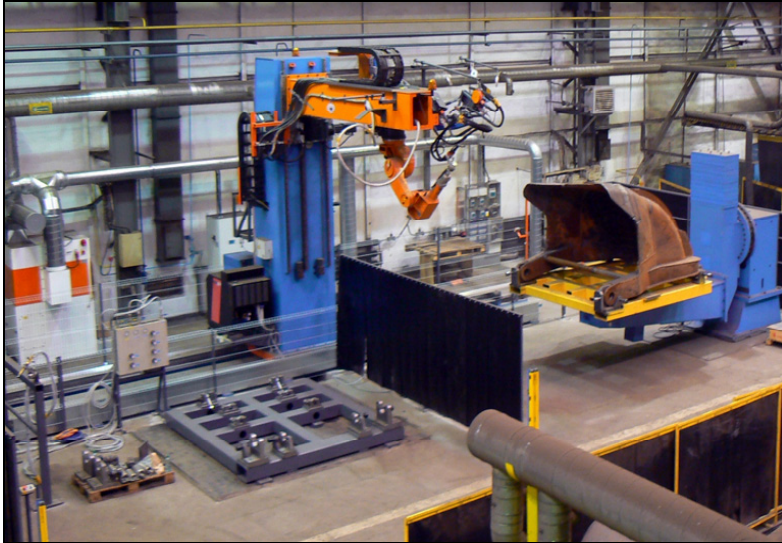
Oczyszczone powietrze zostaje odprowadzone na zewnątrz urządzenia. Filtry nabojoye oczyszczane są automatycznie impulsami sprężonego powietrza poprzez dysze rotacyjne. Warstwa zanieczyszczeń opada do zbiornika osadowego. Centralne urządzenie ssąco-filtrujące zawiera filtry nabojoye z membraną teflonową o skuteczności filtracji cząstek stałych ponad 99,9%.

Urządzenie do cięcia plazmą typ MAX 200 służy do cięcia wszystkich metali takich jak: stal, aluminium, mosiądz, miedź. Prąd cięcia jest bezstopniowo regulowany w zakresie 40 do 200 A, dzięki czemu można uzyskać optymalną jakość przecinanych krawędzi. Jako gaz plazmowy służy sprężone powietrze, N₂, O₂ lub Ar-H₂. Jako gaz osłonowy może służyć powietrze, N₂ lub CO₂.

System programowania „offline” ROBO-PLAN pozwala na utworzenie na komputerze PC nowego lub dopasowanie posiadanego programu dla robota przemysłowego ROMAT. Programowanie odbywa się bez przerywania produkcji.

Oprogramowanie umożliwia analizę możliwości wykonania i analizę obciążenia stanowiska, a także przybliżone ustalenie całkowitego czasu trwania produkcji przed rozpoczęciem inwestycji. Dane geometryczne (w formacie 3-D) przyrządów i podzespołów mogą być łatwo zaimportowane do systemu ROBO-PLAN i odpowiednio pozycjonowane w zamodelowanym stanowisku zrobotyzowanym. Intuicyjny interfejs obsługi z funkcjami umieszczonymi w rozwijanych menu gwarantuje krótki czas wdrożenia oprogramowania stano-

wiska zrobotyzowanego oraz zwiększenie czasu produkcyjnego przez znaczną redukcję czasu programowania na stanowisku zrobotyzowanym i umożliwia spawanie na stanowisku zrobotyzowanym podzespołów produkowanych w małych i dużych seriach (rys. 13).



Rys. 13. Wdrożone zrobotyzowane stanowisko do spawania czerpaków w BOT KWB „Bełchatów” SA

4. Efekty uzyskane w wyniku wdrożenia stanowiska

Zastosowanie zrobotyzowanego stanowiska do spawania czerpaków spowodowało uzyskanie efektów wymiernych i niewymiernych.

Do efektów należy zaliczyć:

- 1) Wyeliminowanie szkodliwych i uciążliwych warunków pracy w czasie regeneracji czerpaków przy wykonywaniu operacji:
 - cięcia tlenem,
 - spawania metodą MAG,
 - napawania drutem rdzeniowym,
 - cięcia plazmowego.Był to podstawowy cel wdrożenia — ochrona zdrowia pracowników.
- 2) Poprawa jakości regeneracji:
 - zapewnienie powtarzalności geometrycznej regenerowanych czerpaków,
 - poprawa jakości spawania i napawania czerpaków.
- 3) Efekty wymierne (tab. 2):

TABELA 2

Efekty ekonomiczne wprowadzenie zrobotyzowanego stanowiska do spawania czerpaków

Rodzaj koparki	Ilość czerpaków, szt.	Regeneracja ręczna		Regeneracja zrobotyzowana	
		przeciętny czas regeneracji, h/szt.	koszt, zł	przeciętny czas regeneracji, h/szt.	koszt, zł
SchRs 4600	170	86	1 052 640,00	47	575 280,00
SchRs 4000	110	87,5	693 000,00	49	388 080,00
SRs 2000	185	51	679 320,00	30	399 600,00
Razem, zł			<u>2 424 960,00</u>		<u>1 362 960,00</u>
Efekty roczne, zł					<u>1 062 000,00</u>

LITERATURA

- [1] Poradnik inżyniera Spawalnictwo — praca zbiorowa
- [2] *Turek B., Szyszka R., Siennicki A.*: Zrobotyzowane napawanie naroży koparek. III Międzynarodowy Kongres Górnictwo Węgla Brunatnego 22–24 kwietnia 2002
- [3] Wohlgenant M.: Der Praktiker 09.03 (D) — Effizienter ROMAT — Robotereinsatz mit TANDEM-Technik in der Radladerproduktion